

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE GEOGRAFÍA E HISTORIA



TESIS DOCTORAL

**Operativa del transporte de mercancías por carretera y
formación de clústeres logísticos.
TRANSOPE : un modelo basado en agentes**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Aitor Salas Peña

Directores

Juan Carlos García Palomares
Blanca Rosa Cases Gutiérrez

Madrid

© Aitor Salas Peña, 2022

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE GEOGRAFÍA E HISTORIA



TESIS DOCTORAL

Operativa del transporte de mercancías por carretera y formación de clústeres logísticos.
TRANSOPE: un modelo basado en agentes.

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Aitor Salas Peña

DIRECTORES

Juan Carlos García Palomares
Blanca Rosa Cases Gutiérrez

Operativa del transporte de mercancías por
carretera y formación de clústeres logísticos.
TRANSOPE: un modelo basado en agentes

Tesis doctoral

Autor: Aitor Salas Peña

Directores: Dr. Juan Carlos García Palomares y Dra. Blanca Rosa Cases Gutiérrez

Programa de doctorado de Geografía | Facultad de Geografía e Historia

Julio 2022



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

AGRADECIMIENTOS

Afirma el gran Humberto Eco que la realización de una tesis “puede vivirse como un juego, como una apuesta, como una búsqueda del tesoro. (...), como un desafío (...)” (1992, p. 266). Nada más cierto en mi caso, puesto que este largo recorrido de casi cinco años me ha brindado la oportunidad de investigar en torno a un sector, el del transporte de mercancías por carretera, que requiere de apuestas decididas desde todos los ámbitos, también desde el académico, ante una situación actual de extraordinaria vulnerabilidad. La “búsqueda del tesoro” a través de la investigación, pues, nos seguirá guiando mientras seamos capaces de asumir el desafío. Por todo ello, vaya mi primer agradecimiento a todos los hombres y mujeres del transporte, de los que tuve la ocasión de aprender tanto y con los que tan buenos momentos compartí durante mi actividad profesional en ese sector y, especialmente, a mi familia de Gexa.

A mi codirectora, Blanca Rosa Cases Gutiérrez, quiero agradecerle que aceptara el reto de formarme en una nueva metodología ofreciéndome decididamente su tiempo y su ayuda desde el primer día. Ella me abrió las puertas de la Facultad de Informática de la EHU/UPV, donde pude conocer a otros profesores e investigadores de los que extraje experiencias tremendamente positivas. Siempre recordaré nuestras largas charlas en el despacho y en la cafetería, que saltaban de los algoritmos a la filosofía en no pocas ocasiones, y de las que disfruté enormemente. Del mismo modo, me gustaría agradecer a mi codirector Juan Carlos García Palomares su buen hacer, su trato amable y sus buenos consejos, sobre todo en el último tramo de este trabajo, sin los cuales nunca hubiera podido llegar hasta aquí. Gracias a él pude conocer a otros compañeros del departamento de Geografía de la Facultad de Geografía e Historia de la UCM, como Borja Moya Gómez, con quien en varias ocasiones pude intercambiar pareceres que me ayudaron a orientarme en mi “búsqueda del tesoro”. Gracias, Borja. Y gracias de nuevo, Juan Carlos, por darme la oportunidad de formar parte del grupo de investigación t-GIS, al que me gustaría poder aportar algo más de lo realizado hasta ahora.

Un agradecimiento muy especial va dirigido a todo el equipo de Fundación Guitrans Fundazioa, y en particular a Mari Carmen Izaguirre, a Amaia Larreta y a Pili Ubillos, quienes siempre se mostraron dispuestas a aportarme información y a facilitarme las cosas con la mayor de las simpatías. Sin embargo, si hay una persona a la que tengo que agradecer especialmente su colaboración, paciencia y entrega esta es Iñaki Cepeda Soreasu, responsable de relaciones institucionales y acuerdos de colaboración de Fundación Guitrans Fundazioa, quien desde mi primera visita me prestó decididamente su apoyo invirtiendo una cantidad de tiempo y esfuerzo en la realización de la encuesta que yo nunca seré capaz de agradecer lo suficiente. De todas aquellas charlas que empezaban en la oficina y proseguían tomando café en el Aratz nació, entre otras cosas, un acuerdo de colaboración entre Fundación Guitrans Fundazioa y los grupos de investigación t-GIS de la UCM y CVPD de la EHU/UPV para la promoción de investigaciones relacionadas con el mundo del transporte de mercancías, pero más importante que todo eso fue el comienzo de una buena amistad, ese el verdadero tesoro. Gracias de todo corazón, Iñaki.

Quiero agradecer, asimismo, la colaboración de todos aquellos y aquellas transportistas y operadores que dedicaron una parte de su apretado tiempo para responder a la encuesta

TRANSOPE, muchos de ellos y ellas con el convencimiento de que a través de la investigación sobre el transporte de mercancías por carretera pueden aportarse soluciones a un sector por muchos olvidado. Gracias por vuestra confianza.

De todo el mundo es sabido que encarar la realización de una tesis significa embarcarse en una tarea absorbente, significa zarpar y, a veces, pasar largo tiempo en alta mar sin volver a puerto. Por ello, en estas líneas quiero agradecer el apoyo de todas las personas que han estado a mi lado en este camino y me han dado su apoyo a través de su cariño y su amistad. Gracias a Pablo e Isa por darme cuartelillo en Madrid cada vez que tenía que ir a la Complu, y a Martintxu, Hulua, Japsi y David, por dejarme acompañarlos al cole. Gracias a mis amigos de Tudela por ser tan buena gente, y especialmente a mi amigo Manuel, quien nunca dejó de darme ánimos ni de cumplir con el ritual de los juevintxos. A mis compañeros y compañeras del IESO El Cierzo de Ribaforada, que con su ayuda y buen rollo han hecho que sea mucho más llevadero compaginar trabajo e investigación durante estos tres años. A Nere y Ainhoa, que siempre se han mostrado dispuestas a presentarse en la defensa para apoyarme. A mi cuadrilla de Irun, que siempre me cargaban de energía cada vez nos juntábamos. A mis hermanos, con los que siempre he podido contar para lo que fuera. Pero, sobre todo, quiero darte las gracias a ti, Mertxe, por tu paciencia, por haberme soportado todo este tiempo a mitad de gas, por todo lo que me has apoyado. Eta zuei ere, Eneko eta Mattin, barkatu, bihotzak, hainbeste denbora ordenagailuaren aurrean egoteagatik, galdutako denbora berreskuratuko dugu.

Por último, quiero acordarme de tres personas muy especiales para mí: eskerrik asko Aita, eskerrik asko Amona, hubierais disfrutado un motón con todo esto, de verdad. Sin embargo, hay una persona que sí podrá disfrutarlo y es a esa persona a la que quiero dedicarle todo este trabajo: Ama, gracias por ser como eres y por ayudarme tanto, eskerrik asko bihotz-bihotzez.

Declaración de autoría y originalidad de la tesis	
Agradecimientos	
Índice	
Lista de figuras	
Lista de tablas	
Lista de acrónimos	
Resumen / Abstract	

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	22
1. Motivación e interés de la investigación.....	22
2. Preguntas de investigación	24
3. Objetivos de la investigación	27
3.1. Objetivo general	27
3.2. Objetivos específicos	27
4. Estructura de la tesis	31
CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	35
1. Introducción	35
2. La organización de los agentes dentro de los sistemas TMC	36
2.1. Evolución de las cadenas de transporte	36
2.2. Las cadenas de subcontratación de transporte	39
2.3. Los agentes implicados	44
2.4. El intercambio de información y conocimiento entre agentes TMC.....	47
2.5. El papel de las CST en la economía global	50
2.6. La organización espacial de los agentes TMC: los clústeres logísticos.....	51
2.6.1. El carácter espacial de los clústeres.....	52
2.6.2. Colaboración entre empresas dentro de los clústeres	53
2.6.3. El aprendizaje y la transferencia de conocimiento en los clústeres.....	54
3. Empleo de encuestas en Geografía del transporte.....	55
3.1. La necesidad de obtener datos individualizados	55
3.2. Las encuestas en las investigaciones sobre transporte de mercancías.....	58
3.3. Empleo de cuestionarios en la investigación de clústeres logísticos	61
3.4. La investigación de las cadenas de subcontratación a través de encuestas	62
4. Modelos basados en agentes: un nuevo enfoque para el análisis en Geografía del transporte.....	63
4.1. La irrupción de los ABM en la Geografía del transporte	63
4.2. Modelos de transporte anteriores a los enfoques basados en agentes	65

4.2.1. Modelos agregados	66
4.2.1.1. Los modelos basados en viajes.	66
4.2.1.2. Ejemplos de trabajos realizados con el modelo FSM.	69
4.2.2. Modelos desagregados	71
4.2.2.1. Modelado basado en la actividad.	72
4.2.2.2. Microsimulación	74
4.3. Modelos basados en agentes	76
4.3.1. Primeros ABM aplicados al transporte de mercancías.	77
4.3.2. Hacia un mayor realismo en los modelos	79
4.4. El uso de modelos en Geografía	82
4.4.1. ¿Es recomendable utilizar modelos en la Geografía del Transporte?.....	84
4.4.2. Hacia la integración de ABM y GIS en el estudio de los sistemas de transporte....	87
4.4.3. Algunos ejemplos de acoplamiento ABM/GIS	88
4.4.4. Nuevos horizontes para la Geografía del transporte y la movilidad	91
5. Conclusiones.....	93
5.1. Conclusiones respecto a la organización de los sistemas TMC.....	93
5.2. Conclusiones respecto al uso de encuestas en la Geografía del transporte	94
5.3. Conclusiones respecto a los modelos ABM	95
CAPÍTULO 3. EL ÁREA DABB: UN ENTORNO IDÓNEO PARA UN ESTUDIO DE CASO.....	99
1. Introducción	99
2. Particularidades del área DABB	99
3. ¿Por qué el área DABB?: su ubicación en el Arco Atlántico	102
4. El sector del transporte de mercancías en el área DABB	104
5. Conclusiones.....	107
CAPÍTULO 4. FUNDAMENTOS METODOLÓGICOS	109
1. Introducción	109
2. La encuesta TRANSOPE a profesionales del TMC	110
2.1. Diseño de la encuesta	110
2.2. Delimitación del área de estudio	111
2.3. Objetivos.....	111
2.4. Ficha técnica	112
2.5. Tratamiento y presentación de los datos	117
2.6. Conclusiones.....	119
3. TRANSOPE: simulando la formación de clústeres TMC a partir de la subcontratación	119
3.1. Enfoque del diseño	120

3.2. Composición del modelo	123
3.2.1. Descripción y objetivos	123
3.2.2. Los agentes	124
3.2.3. Las variables de los agentes	128
3.2.4. El territorio	134
3.2.5. Interacciones entre agentes	136
3.2.6. La toma de decisiones: selección de proveedores.....	138
3.3. Conceptos de diseño	141
3.3.1. Tiempo.....	142
3.3.2. Aprendizaje.....	144
3.3.3. Transferencia de conocimiento	144
3.3.4. Clústeres logísticos	147
3.4. Puesta en marcha	148
3.4.1. Verificación y calibración	148
3.4.2. Planificación de escenarios.....	150
3.4.3. Elección de indicadores	152
4. Conclusiones.....	154
CAPÍTULO 5. LA ENCUESTA TRANSOPE A PROFESIONALES DEL TMC	157
1. Introducción	157
2. Datos preliminares.....	158
2.1. Estructura por sexo, edad y lugar de procedencia.....	159
2.2. Formación académica y experiencia.....	160
2.3. Especialización de la actividad	163
2.3.1. Especialización de los operadores de tráfico	163
2.3.2. Especialización de los transportistas autónomos	165
3. Las cadenas de subcontratación	168
3.1. Categorías de los actores.....	168
3.2. Asignación de cargas.....	170
3.3. Cadenas de subcontratación	174
3.3.1. Cadenas de subcontratación desde la perspectiva de los operadores de tráfico	174
3.3.2. Cadenas de subcontratación desde la perspectiva de los transportistas autónomos	179
4. Criterios de selección.....	182
4.1. Ranking de criterios	183
4.2. Análisis cruzado de criterios de selección.....	186

4.3. Correlación entre los criterios de selección	188
5. Creación de valor	189
5.1. Motivación	190
5.2. Experiencia	191
5.3. Procesos comunicativos.....	192
5.4. Sobrecarga de trabajo.....	192
5.5. Resumen	193
6. Procedimientos de trabajo	194
6.1. Procedimientos de los operadores de tráfico	194
6.2. Procedimientos de los transportistas autónomos	199
7. Colaboración.....	205
7.1. Ámbito territorial preferente.....	205
7.2. Colaboración entre empresas TMC y transportistas autónomos del entorno	206
8. Conclusiones.....	210
CAPÍTULO 6. FORMACIÓN DE REDES Y CLÚSTERES LOGÍSTICOS: ANÁLISIS DEL MODELO	215
1. Introducción	215
2. Simulando la subcontratación en operaciones TMC.....	216
2.1. Distribución espacial de los agentes.	216
2.2. Escenarios de análisis	217
2.3. Ajustes de salida	220
2.4. Descripción del experimento	223
2.4.1. Repeticiones	225
2.4.2. Puesta en marcha	225
3. Desarrollo y resultados	228
3.1. Análisis de la actividad	229
3.1.1. Participación de los agentes en las CST	229
3.1.2. Dinámica de la contratación	234
3.1.3. Autoorganización de los agentes en el espacio	241
3.1.3.1. Proximidad y centralidad	241
3.1.3.2. Preferencias de colaboración en función de la zonalidad.....	252
3.1.3.3. Distribución de roles en el sistema TMC.....	255
3.2. Formación de clústeres logísticos a partir de la difusión del conocimiento	261
3.2.1. Del aprendizaje de los agentes a la difusión espacial del conocimiento.....	261
3.2.2. Localización de entornos TMC con alta concentración de conocimiento.....	264
3.2.3. La interacción de agentes en los clústeres logísticos: propuesta de clasificación	272

4. Conclusiones	283
CAPÍTULO 7. APLICACIÓN DEL MODELO: EL ÁREA DABB COMO ESTUDIO DE CASO	286
1. Introducción	286
2. Acoplamiento de ABM y GIS en el área DABB.....	286
2.1. Base de datos GIS	286
2.2. Integrando GIS en TRANSOPE: TransopeGIS	288
2.3. Los agentes TMC operando en el terreno	289
2.4. Localización de clústeres en el área de estudio	292
3. Los clústeres TMC en la articulación territorial del área DABB.....	295
3.1. Parámetros de la simulación.....	295
3.2. Indicadores de comportamiento de los agentes TMC	296
3.3. La difusión del conocimiento en DABB	304
3.4. Organización espacial de los clústeres logísticos	307
3.5. Clasificación de los agentes TMC mediante <i>k</i> -nearest neighbor.....	311
4. Conclusiones.....	317
8. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	320
1. Conclusiones.....	320
1.1. Conclusiones relacionadas con las preguntas y objetivos específicos de investigación	320
1.2. Conclusiones generales	330
2. Limitaciones y futuras líneas de investigación	333
2.1. Limitaciones de la investigación	333
2.2. Posibles líneas futuras de investigación.....	334
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	338
10. ANEXOS.....	369
10.1. Código del modelo TRANSOPE aplicado en NetLogo	369
10.2. Coeficientes de fiabilidad de la encuesta TRANSOPE	377
10.3. Cuestionario de la encuesta TRANSOPE dirigido a los transportistas autónomos	380

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1.1. Esquema de la tesis: relación entre preguntas de investigación (PI), objetivos específicos (OE) y capítulos (C).

Figura 1.2. Esquema metodológico de la tesis por bloques de contenidos.

Capítulo 2

Figura 2.1. Relación de cadenas de transporte dentro de una cadena de suministro (Ramstedt, 2008, p. 13).

Figura 2.2. Posibilidades de transporte directo (T) en función de diferentes operaciones de subcontratación (S), donde EXP = expedidor y DEST = destinatario.

Figura 2.3. Recurso a la contratación ocasional de PST no habituales dependiendo del volumen de trabajo y de las características de los envíos.

Figura 2.4. Comparativa entre varios modelos de transporte respecto a los tipos de agentes considerados.

Figura 2.5. Cadena de comunicación entre colaboradores durante una operación de transporte de mercancías por carretera (Salas, Cases y García-Palomares, 2019).

Figura 2.6. Procedimiento para la elaboración de una encuesta de transporte (Richardson *et al.*, 1995, p. 5).

Figura 2.7. Marco de análisis de los sistemas de transporte (McNally, 2000, p. 3).

Figura 2.8. FSM: Modelo clásico de transporte en cuatro pasos (Ortúzar y Willumsen, 2011, p. 60).

Figura 2.9. Marco bidimensional para la construcción de modelos de transporte (Florian *et al.*, 1988, p. 416).

Figura 2.10. Estructura del sistema BASGOED (De Jong *et al.*, 2011, p. 5).

Figura 2.11. Arquitectura de la plataforma TRANSIMS (Smith *et al.*, 1995, p. 1).

Figura 2.12. Elementos generales de la microsimulación (Gilbert y Troitzsch, 2005, p. 58).

Figura 2.13. Estructura del ABM TAPAS (Holmgren *et al.*, 2012, p. 4).

Figura 2.14. Esquema del modelo FREMIS (Cavalcante, 2013, p. 36).

Figura 2.15. Esquema simplificado de los agentes e infraestructuras en el eje del Sena (Démare *et al.*, 2017, p. 60).

Figura 2.16. Ejemplo de interfaz gráfica integrando ABM y SIG en un estudio de planificación urbana (Cantergiani, 2017, p. 94).

Figura 2.17. Intersección de áreas de investigación (adaptado de Crooks, 2018).

Capítulo 3

Figura 3.1. Localización del área DABB en la Comunidad Autónoma de Euskadi.

Figura 3.2. Los trece municipios que conforman el área DABB y sus principales arterias de comunicación por carretera.

Figura 3.3. Principales ejes de comunicación de la UE (fuente: CPMR, Atlantic Arc Commission, 2022).

Figura 3.4. Planificación de las vías de comunicación y parques logísticos en la Comunidad Autónoma de Euskadi a partir de las Directrices de Ordenación del Territorio (fuente: DOT, 2020).

Figura 3.5. Peso demográfico y presencia de establecimientos TMC por municipio en términos relativos en el año 2021 (fuente: EUSTAT, 2021).

Figura 3.6. Distribución del cociente de localización de la actividad 4941-Transporte de Mercancías por Carretera (CNAE-2009) en los municipios del área DABB y zonas de actividad TMC (fuente: EUSTAT, 2021).

Capítulo 4

Figura 4.1. Diversos enfoques de diseño de modelos basados en agentes.

Figura 4.2. Fases de construcción del modelo TRANSOPE.

Figura 4.3. Ejemplos de cadena de subcontratación en TRANSOPE, donde S es subcontratación, OL es operador logístico, ET es empresa de transporte y TA es transportista autónomo.

Figura 4.4. Los agentes implicados en el ámbito de estudio de TRANSOPE.

Figura 4.5. Separación mínima y máxima entre áreas y su traslado a las distancias entre agentes.

Figura 4.6. Representación de CST con diferentes niveles de complejidad

Figura 4.7. Interacción directa e indirecta en TRANSOPE.

Figura 4.8. Decrecimiento de A_j por efecto de la reducción de la disponibilidad.

Figura 4.9. Comportamiento de ϕ_j ante el aumento de δ y C_c .

Figura 4.10. Comportamiento de S_{ij} en función del valor de aprendizaje K .

Figura 4.11. Relación entre conceptos del modelo TRANSOPE.

Figura 4.12. Esquema de la interacción en TRANSOPE.

Figura 4.13. Entornos de alta concentración de actividad de transporte.

Figura 4.14. Fases en la verificación del modelo (adaptado de Ngo y See, 2012).

Figura 4.15. Proceso de calibración de un modelo (adaptado de Crooks *et al.*, 2019).

Figura 4.16. Tipos de CST en TRANSOPE.

Figura 4.17. Resumen de los indicadores del modelo propuestos.

Capítulo 5

Figura 5.1. Estructura de los operadores de tráfico y transportistas autónomos por sexo.

Figura 5.2. Distribución de operadores de tráfico y transportistas autónomos por edades.

Figura 5.3. Pirámide comparativa de edad en los dos grupos.

Figura 5.4. Distribución comparativa de la formación académica en los dos grupos.

Figura 5.5. Distribución porcentual según la formación académica.

Figura 5.6. Pirámide comparativa de años de experiencia en el sector para los dos grupos.

Figura 5.7. Correlación entre años de experiencia de los operadores y años de permanencia en una misma empresa.

Figura 5.8. Especialización de los operadores en función del volumen transportado.

Figura 5.9. Especialización de los operadores en función del ámbito comercial del tráfico.

Figura 5.10. Vista en proporción de la especialización de los operadores en función del tipo de mercancía.

Figura 5.11. Transportistas autónomos en relación con las labores de conducción.

Figura 5.12. Transportistas autónomos en relación con las labores de conducción.

Figura 5.13. Especialización de los transportistas autónomos por tipo de vehículo.

Figura 5.14. Vista en proporción de los tipos de vehículo y combinaciones de diferentes tipos.

Figura 5.15. Vista en proporción de los destinos más habituales de los transportistas autónomos.

Figura 5.16. Dedicación de los transportistas autónomos a un solo cliente.

Figura 5.17. Distribución de operadores según la actividad de su empresa.

Figura 5.18. Recurso por parte de los operadores de tráfico a diferentes proveedores de transporte.

Figura 5.19. Cargas recibidas por los operadores según el tipo de cliente que las asigna: Comparativa entre respuestas válidas y respuestas erróneas normalizadas.

Figura 5.20. Cargas asignadas por los operadores según el tipo de proveedor que las recibe: Comparativa entre respuestas válidas y respuestas erróneas normalizadas.

Figura 5.21. Cargas recibidas por los transportistas autónomos según el tipo de cliente que las asigna: Comparativa entre respuestas válidas y respuestas erróneas normalizadas.

Figura 5.22. Grafo que representa el peso de cada agente en el conjunto del sistema de TMC.

Figura 5.23. Operaciones en las que mi cliente es el cliente directo y mi proveedor es el propio conductor.

Figura 5.24. Frecuencia de operaciones en modelos organizativos A, B y C por tipo de operador.

Figura 5.25. Operaciones en las que mi cliente es un intermediario y mi proveedor es el propio conductor (sea de mi empresa o autónomo).

Figura 5.26. Frecuencia de operaciones en modelos organizativos D, E y F por tipo de operador.

Figura 5.27. Operaciones en las que mi cliente es un intermediario y mi proveedor no es el conductor, sino una empresa de transporte.

Figura 5.28. Frecuencia de operaciones en modelos organizativos G, H y I por tipo de operador.

Figura 5.29. Operaciones en las que mi cliente es el expedidor y mi proveedor es una empresa de transporte.

Figura 5.30. Frecuencia de operaciones en modelos organizativos J, K y L por tipo de operador.

Figura 5.31. Operaciones en las que mi cliente es el expedidor y mi proveedor es una empresa de transporte intermediaria.

Figura 5.32. Frecuencia de operaciones en modelos organizativos M, N y Ñ por tipo de operador.

Figura 5.33. Operaciones en las que mi cliente es el cliente directo (expedidor o destinatario).

Figura 5.34. Frecuencia de operaciones en modelos organizativos A, B y C por tipo de transportista.

Figura 5.35. Operaciones en las que mi cliente es un intermediario entre el cliente directo y yo mismo.

Figura 5.36. Frecuencia de operaciones en modelos organizativos D, E y F por tipo de transportista.

Figura 5.37. Operaciones en las que hay un intermediario entre mi cliente y el cliente directo.

Figura 5.38. Frecuencia de operaciones en modelos organizativos G, H y I por tipo de transportista.

Figura 5.39. Operaciones en las que hay dos intermediarios entre mi cliente y el cliente directo.

Figura 5.40. Frecuencia de operaciones en modelos organizativos J, K y L por tipo de transportista.

Figura 5.41. Importancia dada a cada criterio de selección según tipo de operador.

Figura 5.42. Importancia dada a cada aspecto del desempeño profesional según tipo de transportista.

Figura 5.43. Valoración dada por los transportistas autónomos a diferentes aspectos del desempeño de sus clientes, según tipo de transportista.

Figura 5.44. Criterios de selección de proveedores de transporte según la importancia dada por los operadores de tráfico: Comparativa entre proveedores procedentes de bolsas de carga y el resto.

Figura 5.45. Valoración de la motivación por parte de los dos grupos de encuestados: Frecuencias relativas.

Figura 5.46. Valoración de la experiencia por parte de los dos grupos de encuestados: Frecuencias relativas.

Figura 5.47. Valoración de los procesos comunicativos por parte de los dos grupos de encuestados: Frecuencias relativas.

Figura 5.48. Valoración del nivel de sobrecarga en el trabajo por parte de los dos grupos de encuestados: Frecuencias relativas.

Figura 5.49. Número de viajes gestionados por un operador en una jornada.

Figura 5.50. Número de compañeros con los que un operador se coordina diariamente.

Figura 5.51. Procedimientos de gestión de pedidos por parte de los operadores de tráfico.

Figura 5.52. Frecuencia de utilización de diferentes medios de comunicación por parte de los operadores de tráfico en sus comunicaciones con clientes.

Figura 5.53. Frecuencia de utilización de diferentes medios de comunicación por parte de los operadores de tráfico en sus comunicaciones con transportistas autónomos y conductores.

Figura 5.54. Frecuencia de comunicaciones entre operadores de tráfico y el resto de agentes dependiendo del tipo de mensaje.

Figura 5.55. Valoración de dificultades en el establecimiento de comunicación entre operadores de tráfico y otros agentes.

Figura 5.56. Número de viajes realizados por un transportista autónomo en un mes.

Figura 5.57. Ranking de tareas realizadas por los transportistas autónomos al recibir un pedido.

Figura 5.58. Motivos de rechazo de viajes por parte de los transportistas autónomos según su frecuencia.

Figura 5.59. Modalidades de facturación por grupos de transportistas autónomos.

Figura 5.60. Frecuencia de utilización de diferentes modalidades de comunicación por parte de los transportistas autónomos en los contactos con sus clientes.

Figura 5.61. Frecuencia de comunicaciones entre transportistas autónomos y el resto de agentes dependiendo del tipo de mensaje.

Figura 5.62. Valoración de dificultades en el establecimiento de comunicación entre los transportistas autónomos y sus clientes.

Figura 5.63. Preferencia de colaboración de los operadores de tráfico según el ámbito de procedencia del colaborador.

Figura 5.64. Preferencia de colaboración de los transportistas autónomos según el ámbito de procedencia del colaborador.

Figura 5.65. Niveles de respuesta a las preguntas O.E2 y T.E2.

Figura 5.66. Conectividad entre empresas TMC del área DABB de acuerdo con las respuestas de los operadores de tráfico.

Figura 5.67. Conectividad entre empresas TMC y transportistas autónomos del área DABB de acuerdo con las respuestas de operadores de tráfico y transportistas autónomos.

Capítulo 6

Figura 6.1. Representación de una CST integrada por los tres tipos de agente en TRANSOPE.

Figura 6.2. Distribución de los agentes en TRANSOPE durante todas las simulaciones.

Figura 6.3. Esquema de los parámetros y valores de los escenarios.

Figura 6.4. Fases de desarrollo del grafo resultante de cada simulación.

Figura 6.5. Interfaz en TRANSOPE al inicio de una simulación.

Figura 6.6. Interfaz en TRANSOPE al término de una simulación.

Figura 6.7. Participación de los ET y TA en escenarios con baja disponibilidad de viajes.

Figura 6.8. Participación de los ET y TA en escenarios con alta disponibilidad de viajes.

Figura 6.9. Curva de Lorenz para cada tipo de agente y escenario.

Figura 6.10. Frecuencias relativas de contratación por jornada.

Figura 6.11. Evolución de los contratos en función de la distancia entre clientes y proveedores.

Figura 6.12. Representación de métricas locales de centralidad por cada escenario.

Figura 6.13. Centralidad geográfica de los agentes para todos los escenarios.

Figura 6.14. Correlación de métricas de centralidad para todos los escenarios.

Figura 6.15. Métricas normalizadas de distancia y de centralidad por cada escenario.

Figura 6.16. Matriz de correlación entre las métricas.

Figura 6.17. Contratación de ET por parte de los OL en función del área.

Figura 6.18. Contratación de TA por parte de las ET en función del área.

Figura 6.19. Contratación de TA por parte de las ET en función de la zona.

Figura 6.20. Distribución de roles en el escenario 0.

Figura 6.21. Distribución de roles de agentes según su capacidad de asociación.

Figura 6.22. Distribución de los valores de aprendizaje de los agentes por zonas y escenarios.

Figura 6.23. Histograma de los valores de conocimiento por escenarios. La media aritmética de cada escenario se expresa mediante una línea de puntos.

Figura 6.24. Formación de clústeres logísticos a partir de la transferencia de conocimiento.

Figura 6.25. Distribución de celdas con p -value < 0.1 y ajuste FDR por zonas y escenarios.

Figura 6.26. Compilación de clústeres TMC y ubicación de agentes.

Figura 6.27. Relaciones de dependencia entre clústeres y localizaciones aisladas en función de la contratación realizada y la contratación recibida.

Figura 6.28. Detalle de las relaciones de dependencia entre clústeres en función de la contratación realizada y la contratación recibida.

Capítulo 7

Figura 7.1. Integración entre GIS y TRANSOPE.

Figura 7.2. Distribución de agentes TMC en el área DABB según tipo.

Figura 7.3. Ejemplo de código en Netlogo sobre cómo asignar coordenadas y atributos a agentes desde un shapefile.

Figura 7.4. Localización de áreas de concentración de establecimientos de transporte en el área DABB.

Figura 7.5. Clústeres de transporte en el área DABB según los tres niveles de clasificación.

Figura 7.6. Curva de Lorenz para cada tipo de agente y escenario del área DABB.

Figura 7.7. Clústeres de transporte en el área DABB según los tres niveles de clasificación.

Figura 7.8. Evolución de los contratos en función de la distancia entre clientes y proveedores.

Figura 7.9. Centralidad de grado de los agentes del DABB, según tipo de escenario.

Figura 7.10. Distribución de la centralidad de grado para transportistas autónomos y empresas de transporte.

Figura 7.11. Centralidad de cercanía de los agentes del DABB, según tipo de escenario.

Figura 7.12. Centralidad de intermediación de los agentes del DABB, según tipo de escenario.

Figura 7.13. Zonas con índice de asociación espacial I de Moran con alta significancia ($p \leq 0.05$) por escenarios.

Figura 7.14. Clústeres y transmisión de conocimiento en la DABB.

Figura 7.15. Ajuste de k para cada conjunto de datos de entrenamiento.

Figura 7.16. Matriz de confusión binaria.

Figura 7.17. Matrices de confusión para los diferentes escenarios.

Figura 7.18. Curvas ROC para cada uno de los escenarios.

LISTA DE TABLAS

Capítulo 2

Tabla 2.1. Ventajas y desventajas de las encuestas web (adaptado de Richardson y Lawton, 2013).

Tabla 2.2. Niveles de complejidad en un sistema de transporte basado en agentes, adaptado de Wise *et al.* (2016).

Capítulo 3

Tabla 3.1. Cociente de localización de la actividad 4941-Transporte de Mercancías por Carretera (CNAE-2009) por municipios, frente a los totales de Gipuzkoa y de la Comunidad Autónoma de Euskadi (fuente: EUSTAT, 2021)

Capítulo 4

Tabla 4.1. Estructura de los dos tipos de cuestionario.

Tabla 4.2. Distribución de la muestra por tamaños y municipios.

Tabla 4.3. Relación de proporcionalidad entre datos reales y muestra en cuanto al número de empresas y respuestas recogidas por municipio.

Tabla 4.4. Categorías de agentes dentro de cada grupo de encuestados.

Tabla 4.5. Principales rasgos de los tipos de agentes de TRANSOPE.

Tabla 4.6. Ejemplo de distribución de kilómetros facturables durante una semana de trabajo.

Tabla 4.7. Zonificación del territorio en TRANSOPE.

Tabla 4.8. Alteración de valores de variables en cada CST.

Tabla 4.9. Alteración de valores de variables en cada cambio de jornada.

Capítulo 5

Tabla 5.1. Distribución estimada de 10 cargas recibidas por los operadores de tráfico.

Tabla 5.2. Distribución estimada de 10 cargas asignadas por los operadores de tráfico.

Tabla 5.3. Distribución estimada de 10 cargas recibidas por los transportistas autónomos.

Tabla 5.4. Valoración de la importancia de los criterios de selección de proveedores de transporte por parte de los operadores de tráfico, ordenados según promedio.

Tabla 5.5. Valoración de los transportistas de los aspectos de su desempeño profesional, ordenados según promedio.

Tabla 5.6. Ranking de valoración de importancia de criterios de selección en relación con la máxima exigencia de las variables confianza, competitividad, disponibilidad y proximidad.

Tabla 5.7. Matriz-resumen de correlación lineal entre las variables que intervienen en la selección de proveedores.

Tabla 5.8. Grado de importancia dado por cada grupo profesional a cada factor: Frecuencias relativas agrupadas en tres rangos.

Tabla 5.9. Tipos de mensajes entre operadores de tráfico y sus proveedores y clientes en función de la información ofrecida o solicitada.

Tabla 5.10. Tipos de mensajes entre transportistas autónomos y sus clientes en función de la información ofrecida o solicitada.

Capítulo 6

Tabla 6.1. Distribución de los agentes por zonas geográficas.

Tabla 6.2. Detalle de los nueve escenarios recreados en el modelo.

Tabla 6.3. Proporción de agentes según su tipo.

Tabla 6.4. Relación entre las variables de aptitud.

Tabla 6.5. Operaciones diarias según la situación del mercado de transporte.

Tabla 6.6. Operaciones y contratos según la situación del mercado del transporte.

Tabla 6.7. Porcentajes de participación de las empresas de transporte y los transportistas autónomos en las 30 simulaciones realizadas con cada escenario.

Tabla 6.8. Coeficiente de Gini para cada tipo de agente y escenario.

Tabla 6.9. Agentes más influyentes en el modelo TRANSOPE.

Tabla 6.10. Métricas globales de distancia por escenarios.

Tabla 6.11. Métricas globales de centralización por escenarios. En negrita se destacan los escenarios que presentan mayor variabilidad en cada métrica.

Tabla 6.12. Niveles de conectividad en una red compleja (Guimera y Amaral, 2005).

Tabla 6.13. Distribución de los valores de aprendizaje de los agentes por zonas y escenarios.

Tabla 6.14. Índices I de Moran global para todos los escenarios de modelo.

Tabla 6.15. Valores de conocimiento acumulado e I local de Moran por zonas y escenarios.

Tabla 6.16. Superficie con asociación espacial significativa ($p\text{-value} < 0.05$) por escenarios y zonas.

Tabla 6.17. Composición y pesos de salida y entrada de los clústeres y localizaciones aisladas

Tabla 6.18. Matriz OD con los pesos medios globales de los clústeres y localizaciones aisladas.

Tabla 6.19. Contrataciones realizadas y recibidas entre clústeres, en porcentajes.

Tabla 6.20. Indicadores de tamaño, actividad y conectividad de los clústeres y localizaciones aisladas. Entre paréntesis se muestra si el valor es superior, inferior o igual al promedio (solo en el caso de los clústeres).

Capítulo 7

Tabla 7.1. Distribución de agentes en los clústeres para cada una de las clasificaciones.

Tabla 7.2. Detalle de los seis escenarios a analizar en TransopeGIS.

Tabla 7.3. Tipos de agentes y valores medios de participación y aprendizaje por cada clúster.

Tabla 7.4. Matriz OD con los pesos medios globales de intercambio de operaciones entre clústeres TMC en el área DABB para el escenario 6.

Tabla 7.5. Descripción de las variables independientes o predictoras.

Tabla 7.6. Medidas extraídas a partir de la matriz de confusión. Los valores oscilan entre 0 y 1, donde 1 significa el valor óptimo de desempeño del clasificador.

Tabla 7.7. Importancia de las variables predictoras en la clasificación de los agentes TMC.

Tabla 7.8. Intervalos de confianza para la prueba de McNemar.

LISTA DE ACRÓNIMOS

ABM	<i>Agent based-models</i> . Modelos basados en agentes
CST	Cadenas de subcontratación de transporte
DABB	Área de estudio formada por las comarcas de Donostialdea y Bidasoa Beherea
DEST	Destinatario de mercancías
ET	Empresa de transporte
EXP	Expedidor de mercancías
GIS	<i>Geographic Information Systems</i> . Sistemas de información geográfica
ML	Machine Learning
OL	Operador logístico
PST	Proveedor de servicios de transporte
TA	Transportista autónomo
TMC	Transportes de mercancías por carretera

Resumen / Abstract

RESUMEN

“Los transportes se detienen (a causa de la intemperie o por huelgas) y toda la vida económica se pone en letargo” (Émile Mérenne, 1995, p. 3).

Tal como afirma Mérenne, las actividades del transporte son cruciales en nuestro modo de vida, puesto que articulan la economía global mediante redes de flujos que permiten la movilidad de las personas y el intercambio de bienes y servicios. Dentro de estas actividades el transporte de mercancías por carretera (en adelante TMC) constituye un sector clave, cuya importancia en la articulación de los sistemas de distribución de bienes no ha dejado de aumentar en los últimos tiempos debido principalmente a la intensificación de los hábitos de consumo. El sector TMC conforma además un sistema complejo en el que toman parte multitud de empresas con diferentes funciones y tamaños, las cuales interactúan entre sí prestando servicios e intercambiando información y conocimiento a través de redes de colaboración organizadas en el territorio.

La tesis que aquí se presenta con el título “Operativa del transporte de mercancías por carretera y formación de clústeres logísticos. TRANSOPE: un modelo basado en agentes” analiza el modo en que dichos agentes, tomados aquí como empresas TMC, colaboran entre sí a través de relaciones contractuales formando cadenas de subcontratación con el fin de completar operaciones de transporte. A partir de la formación de estas cadenas se va tejiendo toda una red de colaboraciones entre agentes de diferentes tipos, que derivan en la creación de entornos especialmente activos en el intercambio de servicios de transporte y conocimiento. Denominamos a estos entornos clústeres logísticos.

De tal modo, esta investigación se marca como objetivo general el estudio de la formación y dinámica de estos clústeres logísticos mediante el análisis de las colaboraciones que tienen lugar entre tres tipos de agentes TMC: operadores logísticos, empresas de transporte y transportistas autónomos. Para ello, se creó un modelo de entrenamiento basado en agentes (ABM) en un entorno virtual, al que se denominó TRANSOPE, en el que se simuló la interacción entre agentes de los tres tipos mediante la formalización de contrataciones y el intercambio de conocimiento. Para caracterizar a los agentes y el tipo de colaboraciones que estos acostumbran a mantener, se elaboró una encuesta dirigida a los profesionales del TMC, cuyo nivel de repuesta fue lo suficientemente significativo como para alimentar el modelo con datos empíricos y justificar los criterios en base a los cuales los agentes toman sus decisiones, además de para obtener una imagen precisa acerca del estado del sector. Con el fin de aplicar el modelo a un entorno geográfico concreto, la tesis tomó como estudio de caso el área Donostialdea-Bidasoa Beherea (en adelante DABB), localizada en el sector oriental de la provincia de Gipuzkoa (Euskadi), ya que, por su ubicación estratégica próxima a la frontera con Francia e insertada en el eje de comunicaciones atlántico europeo, esta zona presenta una concentración relevante de actividad TMC que la hace idónea para la implementación del modelo TRANSOPE, gracias al acoplamiento de ABM y Sistemas de Información Geográfica (GIS).

Otros objetivos específicos de esta tesis tienen que ver con el encaje entre métodos novedosos de investigación en el ámbito de los transportes de mercancías, como el empleo de modelos ABM

y su unión con GIS, y enfoques teóricos cada vez con mayor repercusión en estudios de Geografía humana, como los enfoques “bottom-up” o las redes sociales complejas. Asimismo, un propósito fundamental de este estudio consiste en abrir vías de cooperación entre la investigación universitaria y el mundo empresarial con el fin de profundizar en los mecanismos que rigen los modos de colaboración entre agentes TMC e investigar acerca del impacto que las cadenas de subcontratación y la difusión del conocimiento derivado de estas tienen en la organización espacial del sector.

Los resultados obtenidos corroboraron la complejidad de las estructuras de colaboración entre agentes TMC, que se caracterizan por su acusada jerarquización frente a otros tipos de colaboración más horizontal, a causa de los diferentes niveles en la capacidad de acción y decisión. La transferencia de conocimiento juega un papel decisivo en la conformación de entornos dinámicos de actividad del sector, dado que los clústeres logísticos se forman como consecuencia del establecimiento de relaciones de contratación diarias que evolucionan a medida que el aprendizaje de los agentes que toman parte en los procesos operativos da paso al intercambio de información y conocimiento con otros agentes, y que se ven fuertemente condicionadas por factores tales como los desequilibrios entre oferta y demanda de servicios de transporte.

Posteriormente, la aplicación del modelo TRANSOPE al área DABB permitió confirmar que no solo las estructuras de colaboración están intensamente jerarquizadas, sino también la articulación espacial del sistema, compuesto por entornos diferentes con roles diversos, entre los que destaca la posición de liderazgo de los clústeres logísticos. Sin embargo, el empleo de clasificadores *Machine Learning* aplicado a agentes reales que operan en ese entorno sirvió para determinar que la mera ubicación en un clúster logístico no garantiza a un agente TMC su participación en las cadenas de subcontratación.

Por último, el empleo del modelo de entrenamiento TRANSOPE demostró la utilidad de este tipo de metodologías para representar sistemas de colaboración complejos en espacios virtuales e identificar los factores que intervienen en la formación y la dinámica de entornos activos TMC en diferentes escenarios. La aplicación posterior de este modelo a un territorio real, integrado por agentes auténticos caracterizados de modo individualizado, a través del acoplamiento de ABM y GIS demostró el enorme potencial de análisis que esta metodología ofrece a los estudios geográficos en el futuro.

ABSTRACT

"Transport stops (because of bad weather or strikes) and all economic life goes into lethargy"
(Émile Mérenne, 1995, p. 3).

As Mérenne states, transport activities are crucial in our way of life, since they articulate the global economy through networks of flows that allow the mobility of people and the exchange of goods and services. Among these activities, Road Freight Transport (henceforth RFT) is a key sector, whose importance in the articulation of goods distribution systems has been increasing in recent times, mainly due to the intensification of consumer habits. The RFT sector is also a complex system involving a multitude of companies with different functions and sizes, which interact with each other by providing services and exchanging information and knowledge through collaborative networks organized in the territory.

The thesis presented here, *"Spatial dynamics in Road Freight Transport operations and formation of logistics clusters. TRANSOPE: an agent-based model"*, analyses the way in which these agents, taken here as RFT companies, collaborate with each other through contractual relationships forming subcontracting chains in order to complete transport operations. From the formation of these chains, a whole network of collaborations between agents of different types is woven, leading to the creation of environments that are particularly active in the exchange of transport services and knowledge. We call these environments logistics clusters.

Thus, the general objective of this research is to study the formation and dynamics of these logistics clusters by analysing the collaborations that take place between three types of RFT agents: logistics operators, transport companies and self-employed carriers. For this purpose, an agent-based training model (ABM) was created in a virtual environment, called TRANSOPE, in which the interaction between agents of the three types was simulated through the formalization of contracts and the exchange of knowledge. In order to characterize the agents and the type of collaborations they usually maintain, a survey was carried out among RFT professionals, whose level of response was significant enough to feed the model with empirical data and justify the criteria on the basis of which the agents make their decisions, as well as to obtain an accurate picture of the state of the sector. In order to apply the model to a specific geographical environment, the thesis took as a case study the Donostialdea-Bidasoa Beherea area (henceforth DABB), located in the eastern sector of the territory of Gipuzkoa (Basque Country), since, due to its strategic location close to the border with France and inserted in the European Atlantic communication axis, this area presents a relevant concentration of RFT activity that makes it suitable for the implementation of the TRANSOPE model, thanks to the coupling of ABM and Geographic Information Systems (GIS).

Other specific objectives of this thesis have to do with the fit between novel research methods in the field of freight transport, such as the use of ABM models and their coupling with GIS, and theoretical approaches with increasing impact in human geography studies, such as bottom-up approaches or complex social networks. Likewise, a fundamental purpose of this study is to open ways of cooperation between university research and the business world in order to delve into the mechanisms governing the modes of collaboration between RFT agents and to investigate

the impact that subcontracting chains and the dissemination of knowledge derived from them have on the spatial organization of the sector.

The results obtained corroborated the complexity of the collaboration structures between RFT agents, which are characterized by their marked hierarchy compared to other types of more horizontal collaboration, due to the different levels of action and decision-making capacity. Knowledge transfer plays a decisive role in shaping dynamic environments of activity in the sector, given that logistics clusters are formed as a consequence of the establishment of daily contracting relationships that evolve as the learning of the agents taking part in the operational processes gives way to the exchange of information and knowledge with other agents, and which are strongly conditioned by factors such as the imbalances between supply and demand of transport services.

Subsequently, the application of the TRANSOPE model to the DABB area confirmed that not only the collaboration structures are highly hierarchical, but also the spatial articulation of the system, composed of different environments with different roles, among which the leading position of the logistics clusters stands out. However, the use of Machine Learning classifiers applied to real agents operating in this environment helped to determine that the mere location in a logistics cluster does not guarantee a RFT agent's participation in subcontracting chains.

Finally, the use of the TRANSOPE training model demonstrated the usefulness of this type of methodology to represent complex collaborative systems in virtual spaces and to identify the factors involved in the formation and dynamics of active RFT environments in different scenarios. The subsequent application of this model to a real territory, composed of authentic agents characterized in an individualized way, through the coupling of ABM and GIS demonstrated the enormous potential for analysis that this methodology offers to geographic studies in the future.

Capítulo 1. Introducción

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1. Motivación e interés de la investigación

El transporte de mercancías ha jugado históricamente un papel de crucial relevancia en el devenir de las sociedades humanas y en la articulación del espacio. Como recordaba Mérenne (1995), esta actividad ha sido considerada desde siempre de gran importancia estratégica tanto a nivel global como en el desarrollo económico local y regional, cuya lógica de organización espacial, sus limitaciones de localización y sus impactos sobre otras actividades le son propias. Hoy en día, esa importancia, lejos de disminuir, ha seguido creciendo espoleada por la revolución de las tecnologías de la información y la comunicación y por la consolidación de la sociedad global de consumo.

Como parte fundamental integrada dentro de la organización global del transporte y la distribución de bienes, los sistemas de transporte de mercancías por carretera (sistemas TMC en adelante) presentan una serie de singularidades en cuanto a su organización espacial, su funcionamiento y su composición, dado que su operatividad y eficiencia depende de la colaboración entre multitud de empresas de muy diferentes tamaños y funciones, primordialmente a escala local y regional.

Sin embargo, en contraste con la trascendencia de los sistemas TMC es justo reconocer que la Geografía del Transporte no cuenta con una abundante producción científica acerca de sus procesos organizativos y del impacto espacial de los mismos, menos aun cuando el enfoque de investigación es desagregado o “desde abajo hacia arriba”, donde las motivaciones particulares de cada agente, modeladoras de su comportamiento y de la capacidad de influir en otros agentes, constituyen el punto de partida del análisis. Por ello, este trabajo fijará su atención en la participación de tales agentes, identificados con empresas de transportes de mercancía por carretera (empresas TMC en adelante) de diferentes tamaños y funciones, en operaciones de transporte a través de la interacción que tiene lugar entre ellos y con el territorio en el que desarrollan su actividad.

Por otra parte, la identificación y análisis de estructuras locales y regionales de colaboración entre empresas TMC como son los clústeres logísticos cuenta, en cambio, con excelentes investigaciones doctorales realizadas durante la última década en las que, desde diferentes disciplinas académicas, se combinan diversos enfoques y metodologías de análisis. Así, Rivera (2014) investigó, entre otros aspectos, los beneficios derivados de la concentración de empresas TMC en clústeres logísticos con la ayuda de datos procedentes de entrevistas y el empleo de modelos, acentuando el papel de la colaboración entre empresas como clave en el éxito de estos agrupamientos. Por su parte, Démare (2016) emplea un modelo basado en agentes y grafos dinámicos para analizar a diferentes escalas los flujos de mercancías que articulan un sistema de transportes, prestando especial atención a la interacción entre actores de transporte e

infraestructuras. Más recientemente, Beckers (2019) emplea la teoría de redes para analizar la formación de clústeres logísticos en Bélgica a través de microdatos relativos a relaciones comerciales entre empresas, si bien estos se expresan de manera agregada para demostrar el diferente impacto espacial de las interacciones. Todas estas investigaciones han aportado gran valor al estudio de los clústeres logísticos y han servido de base para afrontar esta tesis.

De tal modo, el reto que se plantea en esta investigación no es otro que dotar a la ciencia geográfica de nuevo conocimiento alrededor de la formación y dinámica de los clústeres logísticos, de los patrones de comportamiento y colaboración de los agentes que los componen y de sus procesos de articulación espacial. Para afrontar esta tarea, el enfoque metodológico empleado se fundamenta en la consideración de las acciones, características y decisiones de los diferentes tipos de agentes integrantes de los sistemas TMC como base para la entender sus modos de interacción entre ellos mismos y con el territorio y, por tanto, para explicar la formación y dinámica de los clústeres logísticos. Tales interacciones pueden ser diseñadas y simuladas mediante el uso de modelos basados en agentes (ABM por sus siglas en inglés), los cuales permiten igualmente la creación de diferentes escenarios de desenvolvimiento de la acción.

Pero ¿cuál es entonces la naturaleza de estas interacciones entre agentes TMC?, ¿dónde se halla su interés científico? La principal innovación que aporta esta investigación respecto a modelos anteriores reside en que el análisis de la colaboración entre agentes se realiza mediante la simulación de la contratación, es decir, la formalización de relaciones contractuales entre diferentes tipos de agente con el fin de realizar una misma operación de transporte, lo que genera una cadena de subcontratación de transporte (CST en adelante). El recurso a la subcontratación está muy extendido en el sector TMC, lo cual implica no solo la creación de vínculos operativos entre empresas sino también transferencia de información y conocimiento. La realización de un número determinado de operaciones de transporte, llevadas a cabo en contextos concretos de necesidades de mercado y oferta de servicios de transporte, tendrá como resultado la formación de una red compleja de colaboraciones que servirá para poder identificar los factores que intervienen en el proceso de formación y en el funcionamiento de los clústeres logísticos.

Por otro lado, la colaboración entre universidad y empresa, de la que esta investigación es una buena prueba, constituye otro importante punto de interés, ya que el conocimiento derivado de la misma, ya sea en lo referido a su enfoque y metodología o en lo relativo a sus resultados, puede ayudar al desarrollo de políticas de ámbito privado dirigidas a promocionar la cohesión y a aumentar la competitividad de entornos especializados en el sector TMC. Además, la mejora de la colaboración entre la universidad y la administración responsable de las políticas públicas de transporte, traducida en una mayor fluidez en el intercambio de información, podría generar en el futuro interesantes proyectos beneficiosos para el sector.

Por último, esta investigación, humildemente y en la medida de sus posibilidades, pretende poner en el centro del escenario de estudio a las personas, hombres y mujeres que en sus puestos de trabajo, sea sobre el asiento de un camión, sea frente a un ordenador en una oficina, toman decisiones, se arriesgan y aprenden cada día para que las tiendas dispongan de ropa para vender y a los supermercados nos les falten alimentos en sus estanterías, para que las fábricas puedan seguir produciendo bienes y estos lleguen a los consumidores, para que los regalos lleguen a

tiempo y para que, en definitiva, el ingenio humano venza a la distancia y, con ello, nuestras necesidades, tanto las básicas como las que no lo son, sean satisfechas en el menor tiempo posible. Este trabajo está dedicado en parte a todos ellos y ellas.

2. Preguntas de investigación

En relación con las razones que han motivado esta investigación y con el interés que este trabajo pudiera despertar en el ámbito de la ciencia geográfica se exponen a continuación las siguientes preguntas de investigación (PI):

PI 1. ¿En qué punto se encuentra la investigación sobre clústeres logísticos en lo referente a su papel en la dinámica espacial de los sistemas de transporte?

Trataremos de dar respuesta a esta cuestión acudiendo a aquellos estudios que han abordado este tema más recientemente, si bien el número de trabajos donde nuestro objeto de estudio se contempla desde una perspectiva espacial no es demasiado amplio. Además, pondremos especial atención en aquellas aportaciones en las que el análisis de clústeres logísticos se realice desde la perspectiva de agentes.

PI 2. ¿Qué agentes toman parte en los sistemas de transporte de mercancías por carretera a escala local y regional y de qué modo interactúan entre sí y con el territorio?

Salvo algunas excepciones, la mayor parte de las investigaciones sobre la organización interna de los sistemas TMC existentes hasta la fecha abordan la cuestión desde una óptica agregada, sin llegar a considerar la toma de decisiones de los actores que los integran como argumentos decisivos en su comportamiento y evolución. Cada uno de estos actores tiene motivaciones, necesidades y limitaciones particulares relacionadas con su categoría y función dentro del sistema, por lo que su caracterización resulta indispensable para comprender el modo en que se interrelacionan. En consecuencia, la capacidad operativa de los agentes que intervienen en los sistemas TMC pide ser analizada desde un enfoque desagregado basado en agentes, donde además puedan estudiarse sus modos de interrelación y los impactos que esta pueda generar en la organización espacial del sector, en ámbitos locales o de tamaño medio.

PI 3. ¿Qué papel juegan las cadenas de subcontratación de transporte (CST) en la articulación de los sistemas de transporte locales y regionales?

Con el fin de comprender y analizar las relaciones existentes entre empresas TMC es necesario evaluar la validez de las cadenas de subcontratación como estructuras contractuales básicas que relacionan a varios agentes alrededor de una sola operación de

transporte. Esta pregunta aporta un aspecto novedoso en la investigación de sistemas de transporte, puesto que centra su atención en las relaciones de colaboración que preceden a la generación de flujos materiales. Como hipótesis se plantea que estas conexiones contractuales entre agentes crean vínculos que pueden extenderse a otros colaboradores, derivando en la formación de complejas redes de colaboración asociadas a comportamientos espaciales de diversa índole.

PI 4. ¿Cuáles son las variables que intervienen en la selección de proveedores de transporte?, ¿qué factores influyen en la dinámica de las cadenas de subcontratación?

La necesidad de estudiar el funcionamiento de las cadenas de subcontratación conlleva identificar y clasificar las motivaciones que hacen que unos agentes colaboren preferentemente con otros. De tal modo, la identificación de estos criterios de selección es clave para comprender la dinámica del sistema y para establecer patrones de comportamiento que ayuden a crear predicciones acerca de su evolución futura. No obstante, la escasez de estudios específicos acerca de qué criterios resultan más determinantes en la subcontratación de colaboradores y qué factores afectan a esa elección hace precisa la elaboración de un cuestionario dirigido a profesionales del transporte.

PI 5. ¿Qué impacto pueden llegar a tener el aprendizaje y la transmisión del conocimiento en la articulación territorial del sector del transporte?

En este estudio pretendemos investigar acerca de la relevancia del conocimiento como elemento catalizador en la formación de entornos preferenciales de actividad en sistemas de transporte locales y regionales. En tal sentido, trataremos de validar la hipótesis de la existencia de una correlación positiva entre formación de clústeres y difusión espacial de conocimiento. La existencia de comunicación e intercambio de información entre agentes agrupados espacialmente ha sido documentada por varios autores (Paelinck, 2004; van der Heuvel *et al.*, 2012; Sheffi *et al.*, 2019). Sin embargo, la simulación de su difusión a partir del establecimiento de cadenas de subcontratación entre agentes es aún un campo escasamente explorado.

PI 6. ¿Cómo colaboran internamente los agentes que integran un clúster logístico?, ¿cómo colaboran entre sí los clústeres logísticos?, ¿qué nivel de complejidad resulta de dicha colaboración y del intercambio de conocimiento?, ¿cómo se traduce esto en el territorio?

El estudio de las relaciones entre agentes TMC y clústeres presenta tres principales focos de interés. En primer lugar, es necesario investigar acerca de los factores rectores de la dinámica interna de los clústeres con el fin de comprender su potencial de actividad. Por otro lado, debemos conocer qué rol asume cada clúster en el conjunto de la red y si existen diferentes intensidades de colaboración entre ellos y de qué tipo. Por último, un aspecto

clave de la investigación radica en identificar el impacto que la complejidad de la red de colaboraciones entre clústeres genera en la organización del sistema TMC. La simulación bajo diferentes escenarios podrá arrojar luz sobre el modo en que se organiza el sistema.

PI 7. ¿Qué puede aportar a la ciencia geográfica la simulación de fenómenos espaciales tales como la formación de clústeres logísticos a partir de modelos teóricos basado en agentes?

El empleo de modelos en Geografía se ha extendido en los últimos tiempos, en buena parte impulsado por la incorporación de innovadoras herramientas de simulación y análisis a nuestra disciplina. Una de estas metodologías es la constituida por la modelización basada en agentes, que permite estudiar la interacción de los actores de un proceso en función de una serie de reglas de comportamiento. Los modelos, una vez diseñados, pueden simular en un “campo de entrenamiento” el desarrollo del fenómeno espacial que pretenden representar bajo condiciones diversas. Posteriormente, estos modelos necesitan ser validados mediante su aplicación basada en datos empíricos.

PI 8. ¿Es posible estudiar la formación de clústeres logísticos integrando la teoría de grafos, el análisis de redes sociales complejas basadas en agentes y los procesos de difusión espacial?

Esta pregunta se plantea partiendo de la hipótesis de que un sistema TMC evoluciona hasta conformar una red compleja de nodos y arcos, donde los nodos son los agentes y los arcos son las relaciones de subcontratación. Sin embargo, los atributos y propiedades de todos los agentes no son iguales y, por tanto, su papel en la red difiere en función de aquellos. En este trabajo trataremos de demostrar que este rasgo propio de las redes complejas no se desarrolla únicamente como una estructura ajena al espacio en el que se asienta, sino que la permeabilidad entre ambos sistemas permite la interacción con el territorio, creando entornos con mayor potencial de intercambio de conocimientos y entornos menos favorecidos.

PI 9. ¿De qué modo pueden ayudar los métodos y resultados de la investigación a la gestión del transporte de mercancías en el ámbito profesional?

El transporte de mercancías ha registrado en los últimos tiempos avances notables en cuanto a su eficiencia y versatilidad, algunos de ellos gracias al aumento investigaciones universitarias que utilizan modelos matemáticos para optimizar y mejorar el uso de recursos. En lo referente a las modalidades de colaboración y al intercambio de conocimiento entre empresas, en cambio, las aportaciones desde el ámbito universitario hacia el mundo profesional del transporte son más bien escasas. Por ello, para contestar a esta cuestión nos centraremos tanto en el potencial que presenta la metodología empleada como en las cadenas de subcontratación como objeto de estudio en la articulación de las relaciones entre los agentes y el territorio. El dinamismo y complejidad que resulta de la combinación de las CST en un espacio dado abre la posibilidad de emplear

nuevas herramientas de simulación y predicción, que serán tratadas en el transcurso del presente estudio.

3. Objetivos de la investigación

3.1. Objetivo general

El objetivo general de esta tesis no es otro que *estudiar la formación y dinámica de los clústeres logísticos en los sistemas de transporte de mercancías por carretera*. Para analizar estas estructuras enfocaremos la investigación desde una perspectiva de agentes mediante la modelización de una red de colaboraciones entre agentes de tres diferentes tipos. En esencia, los modelos basados en agentes permiten simular fenómenos en los que un número determinado de individuos o actores interactúan entre sí y con el medio físico en función de una serie de reglas de comportamiento. Por ello, para investigar la formación de clústeres se recurrirá a la simulación de cadenas de subcontratación entre clientes y proveedores de transporte, entendidas como aquellas estructuras de contratación que implican a más de dos empresas en la realización de una operación de transporte.

Asimismo, para alcanzar el objetivo general trataremos de identificar los factores que intervienen de manera más decisiva en el desarrollo de los clústeres logísticos bajo diferentes situaciones, empleando para ello varios escenarios hipotéticos en los que la actividad del transporte podría darse. Para ello se empleará un modelo teórico basado en la información aportada por los propios profesionales del transporte de mercancías por carretera a través de una encuesta, denominada TRANSOPE, que permitirá obtener una primera aproximación al fenómeno de la formación de clústeres logísticos, implementándolo en un espacio ficticio de entrenamiento. La posterior aplicación del modelo alimentado con datos empíricos correspondientes a un entorno con alta densidad de empresas de transporte, el área Donostialdea-Bidasoa Beherea (en adelante “área DABB”), en el este de la provincia de Gipuzkoa, será utilizado como método de validación.

3.2. Objetivos específicos

El objetivo general, además, introduce una serie de objetivos específicos (OE) en los que se concretan las pretensiones de investigación con las que parte este trabajo. Son los siguientes:

OE 1. Crear un marco teórico en torno a los sistemas TMC, al empleo de sistemas basados en agentes en Geografía del Transporte y a su aplicación al estudio de los clústeres logísticos.

La búsqueda de referentes en la literatura académica sobre el tema en el que se pretende profundizar constituye siempre el primer paso de toda investigación científica. En nuestro caso, es fundamental indagar acerca del papel que la literatura otorga a las cadenas de subcontratación en el funcionamiento de los sistemas TMC. La complejidad y diversidad de estos sistemas es aún un objeto incipiente de estudio, a pesar de lo cual existen algunos

trabajos que deben servir como base teórica para ahondar en este tema. Asimismo, el creciente empleo de métodos desagregados dentro del ámbito de la investigación del transporte de mercancías y su evolución hacia la construcción de modelos basados en agentes merece una especial atención en la revisión de la literatura. El empleo de esta metodología combinada con Sistemas de Información Geográfica (GIS por sus siglas en inglés) y el análisis de redes sociales complejas supone en sí un campo de investigación de suficiente entidad como para ocupar toda una tesis. En este trabajo, sin embargo, trataremos de dar cuenta del estado de la cuestión recopilando toda la información disponible hasta el momento de la publicación de este estudio.

OE 2. Obtener información veraz acerca de los modos y pautas de colaboración que los profesionales del transporte de mercancías de carretera emplean en el desarrollo diario de su actividad.

El sector TMC presenta numerosas singularidades en su organización y en sus modos de colaboración que deben ser incorporadas a la modelización de cadenas de subcontratación. Sin estas informaciones las simulaciones adolecerían de la veracidad necesaria para ser validadas. Por esta razón, uno de los objetivos específicos de esta tesis consiste en la obtención de datos de la actividad de los agentes TMC a través de la elaboración de una encuesta. Esta adquiere mayor relevancia habida cuenta de la falta de referencias en la literatura científica acerca de las estructuras de contratación entre agentes TMC.

OE 3. Diseñar un modelo ABM para analizar las implicaciones espaciales derivadas de la colaboración contractual entre agentes TMC bajo diferentes escenarios.

Uno de los principales motivos que justifica el emprendimiento de este trabajo radica en la escasa atención que las cadenas de subcontratación han suscitado hasta el momento como objeto de estudio en la investigación de los sistemas de transporte de mercancías por carretera. Igualmente, la práctica inexistencia de literatura académica dedicada al análisis espacial de las redes generadas por las relaciones de colaboración mediante subcontrataciones muestra un vacío en el estudio de los pasos iniciales de la formación de las estructuras de colaboración entre empresas TMC, lo cual brinda una inmejorable oportunidad de aportar un nuevo enfoque en la investigación de los sistemas TMC.

Este análisis se llevará a cabo mediante el diseño de un modelo ABM, donde un número n de agentes de diferente tipo serán emplazados aleatoriamente en el terreno e interactuarán mediante colaboraciones contractuales estructuradas como CST, creando de tal modo una red que será objeto de estudio bajo diferentes condiciones.

OE 4. Investigar acerca de la transferencia de conocimiento como factor en la formación de los clústeres logísticos, en su dinámica y en su interrelación.

En esta tesis pretendemos simular la capacidad de los agentes TMC de aprender de cada operación en la que toman parte y de transferir lo aprendido transformándolo en conocimiento, tanto operacional como organizacional, a otros agentes de su entorno. De tal modo, analizaremos la relación entre la acumulación de conocimiento en ciertas zonas derivada de la actividad de los agentes y la formación de clústeres logísticos, entendidos como entornos dinámicos de actividad y colaboración. Del mismo modo que en el objetivo anterior, no se conocen precedentes de este tipo de modelización en la literatura científica, por lo que su implementación puede aportar nuevas orientaciones en la investigación sobre clústeres logísticos.

OE 5. Establecer una metodología válida para el estudio de clústeres logísticos a partir de la integración de modelos ABM, GIS y el análisis de redes sociales complejas.

Otro de los grandes objetivos que esta tesis pretende alcanzar consiste en facilitar a las investigaciones futuras recursos metodológicos eficaces e innovadores dirigidos al estudio de fenómenos espaciales como los sistemas de transporte o, más específicamente, los clústeres logísticos. La metodología que proponemos cuenta con algunas referencias importantes existentes en la literatura en cuanto al acoplamiento de ABM y GIS. Sin embargo, la metodología empleada aquí incorpora la posibilidad de introducir procesos bioinspirados de difusión espacial que permiten simular la interacción agente-territorio, como la transferencia de conocimiento al entorno de un agente TCM, y su posterior análisis.

OE 6. Aplicar el modelo teórico y la metodología empleada a un estudio de caso real.

La representación simplificada de los fenómenos espaciales a través de modelos ayuda a identificar patrones de funcionamiento y umbrales de desempeño del sistema analizado, ofreciendo de tal modo una información de gran valor sobre su dinámica. Sin embargo, estos modelos se componen de agentes ficticios emplazados aleatoriamente en un espacio virtual en el que interactúan, lo que limita su veracidad si no son alimentados con datos contrastados y aplicados a entornos reales. La aplicación del modelo teórico a un área real empleando datos empíricos conecta directamente con los principios epistemológicos de la Geografía, que asumen la necesidad de referirse a los fenómenos espaciales como producto de la naturaleza cambiante de las interacciones entre el espacio y el ser humano.

Por este motivo, es necesario un ámbito territorial para la aplicación del modelo teórico donde la presencia de agentes TMC sea especialmente significativa. El territorio escogido para ello es el área DABB, integrado por las comarcas de Donostialdea y Bidasoa-Beherea, en el este de la provincia de Gipuzkoa (Euskadi).

OE 7. Crear vínculos de colaboración sólidos entre el ámbito empresarial del sector TMC y la investigación universitaria.

Una de las metas fundamentales perseguidas en esta tesis es la búsqueda de una colaboración productiva entre empresa privada e investigación universitaria. En la comunicación y retroalimentación positiva entre los dos ámbitos radica buena parte del éxito de toda iniciativa encaminada a aportar nuevo conocimiento al estudio de los sistemas de transporte. Es por ello por lo que en este trabajo se plantea como prioritario el establecimiento de fórmulas de cooperación con la asociación de transportistas guipuzcoanos *Guitrans*, a través de la *Fundación Guitrans Fundazioa*, con el fin de encontrar puntos de interés común dirigidos a promover la mejora y la innovación en el sector TMC.

En la figura 1.1. podemos comprobar las relaciones entre preguntas de investigación, objetivos específicos y capítulos de la tesis. A pesar de que todos los elementos están relacionados entre sí de alguna manera u otra, en este esquema se identifican las relaciones más significativas entre aquellos elementos que puedan resultar de interés al lector o lectora con el fin de facilitar la búsqueda de información.

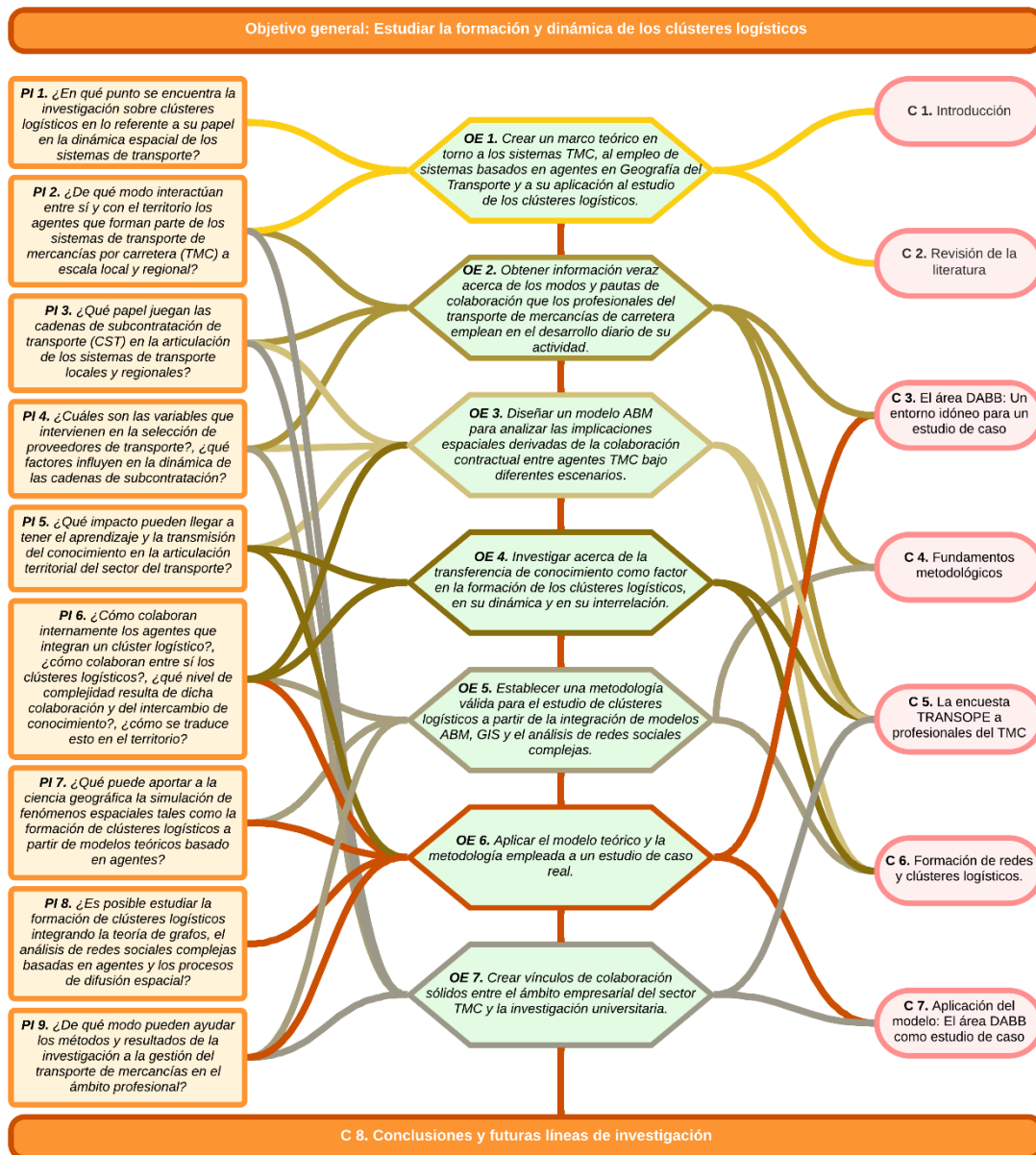


Figura 1.1. Esquema de la tesis: relación entre preguntas de investigación (PI), objetivos específicos (OE) y capítulos (C).

4. Estructura de la tesis

El presente trabajo se divide en siete capítulos. En el primero de ellos se refiere a la introducción del tema de estudio, incluyendo la motivación y el interés científico de la investigación. A continuación, se exponen las preguntas de investigación y los objetivos, tanto el general como los objetivos específicos. Por último, se expone la estructura de la tesis capítulo a capítulo.

El segundo capítulo está dedicado al estado del arte, donde se dedicará una especial atención a la evolución de los modelos basados en agentes y su aplicación al análisis de fenómenos

espaciales. Además, la literatura dedicada al estudio de clústeres logísticos será revisada en detalle, especialmente aquellos trabajos más recientes.

La caracterización del área DABB como entorno potencialmente idóneo para un estudio de caso será expuesta de modo breve en el capítulo 3, así como los motivos de su elección y otros datos que pudieran ser de interés.

El cuarto capítulo se dedica a los fundamentos metodológicos de la tesis, componiéndose de dos partes bien diferenciadas. En la primera se presenta la encuesta TRANSOPE dirigida a profesionales del transporte de mercancías por carretera, donde se introducen los aspectos generales de realización la misma y su ficha técnica. La segunda parte de este capítulo se dedica al diseño del modelo basado en agentes TRANSOPE, que simulará la conformación de CST en un espacio ficticio para su posterior análisis.

El quinto capítulo se corresponde con los resultados de la encuesta, fruto de la colaboración con *Fundación Guitrans Fundazioa*, que han sido íntegramente publicados en "Salas-Peña, A. (2021). *Encuesta TRANSOPE a profesionales del transporte de mercancías por carretera de Gipuzkoa*. Fundación Guitrans Fundazioa: Donostia-San Sebastián", a excepción de la ficha técnica, que está integrada en el capítulo anterior.

En el sexto capítulo se analizan los resultados derivados de la implementación del modelo TRANSOPE. En primer lugar, se establecen diferentes escenarios de análisis para posteriormente realizar las simulaciones en cada uno de ellos. A continuación, se obtendrán datos sobre el comportamiento de los agentes y la dinámica y estructura de las redes de colaboración resultantes. Por último, se analizarán los roles de los agentes y los diferentes tipos de clústeres surgidos de la simulación.

La validación del modelo TRANSOPE mediante su aplicación a nuestro estudio de caso ocupa el capítulo 7. Para ello será necesario integrar, en primer lugar, el modelo y la base de datos GIS donde figuran los agentes reales que operan en el área DABB. Posteriormente, se realizará una nueva simulación para estudiar el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones del mercado de transporte. Por último, se tratará de identificar los clústeres logísticos, sus roles y potenciales en la red mediante *machine learning* y el empleo del clasificador de *k*-nn.

Finalmente, las conclusiones y discusión sobre los resultados ocuparán el octavo capítulo. En ellas trataremos de contrastar las preguntas y objetivos de la investigación con los resultados de la misma. Asimismo, se ofrecerán unas conclusiones generales y se expondrán las limitaciones encontradas en el desarrollo de la tesis y sus posibles líneas futuras de investigación.

Para finalizar, en la figura 1.2. se muestra el esquema metodológico de la tesis organizado según bloques de contenidos. El marco teórico se corresponde con la revisión de la literatura (capítulo 2); el marco metodológico está integrado por los capítulos 4 y 5; el marco práctico de análisis del modelo se detalla en el capítulo 6 y, por último, el estudio de caso se corresponde con la descripción del área DABB (capítulo 3) y con la aplicación del modelo a esa área (capítulo 7).

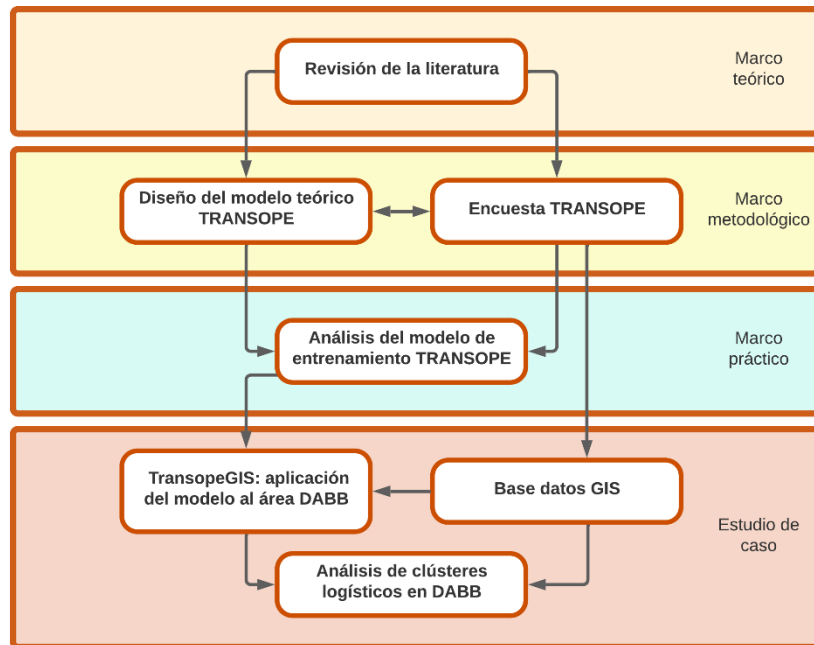


Figura 1.2. Esquema metodológico de la tesis por bloques de contenidos.

Capítulo 2. Revisión de la literatura

CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

1. Introducción

Es un hecho incontestable que la investigación sobre los sistemas de colaboración entre empresas suscita cada vez más interés en la literatura especializada. Así, son numerosos los académicos que sostienen que, a través de estas empresas, como si fuera un fluido que las une y las separa en diferente medida debido a la complejidad de las relaciones a las que están sometidas, el conocimiento se difunde actuando como elemento catalizador principal de la red. Tanto el aprendizaje como la transferencia del conocimiento ocupan, por tanto, un lugar central dentro de las investigaciones dedicadas al análisis de redes de colaboración. Sin embargo, el estudio de estos flujos inmateriales que acompañan en mayor o menor medida a las actividades económicas de las empresas plantea a su vez interrogantes acerca de los enfoques más adecuados y las metodologías más idóneas que permitan alcanzar sus objetivos. Por tal razón, la literatura busca nuevos modos de aproximarse a la comprensión de las estructuras de colaboración entre empresas y a los impactos que estas generan en el espacio, principalmente a un nivel local y regional.

Uno de estos enfoques lo constituyen los modelos basados en agentes, que han experimentado una aceptación significativa por parte de las investigaciones geográficas especialmente en la última década. El éxito de este enfoque “desde abajo hacia arriba” o “bottom-up” se debe a las posibilidades que ofrece en cuando a la simulación de fenómenos sociales y espaciales complejos, lo cual, sumado a la rápida evolución de métodos y herramientas digitales de desarrollo, así como a la integración de diferentes sistemas como ABM y GIS, ha derivado en la producción de una gran cantidad de modelos en diversos ámbitos temáticos que pueden ser contrastados, validados y mejorados por otros investigadores e investigadoras. Por otra parte, el método de encuestas, si bien no representa una novedad metodológica, sigue resultando vital como fuente de información para el análisis de comportamientos sociales y espaciales de agentes. En efecto, las encuestas son a menudo el único método que permite caracterizar a los agentes que toman parte en las redes de colaboración o identificar los factores que les impulsan a tomar unas decisiones frente a otras dentro del ámbito de sus prácticas operativas en el sector TMC.

De tal modo, este capítulo se dedicará a la revisión de la literatura referente tanto a aspectos teóricos como aspectos metodológicos. En primer lugar, repasaremos el modo en que la literatura aborda la organización de las empresas o agentes en el marco de los sistemas de colaboración del sector TMC. Nos detendremos en las estructuras básicas de colaboración contractual más usuales en el sector, como son las cadenas de subcontratación de transporte, y trataremos de dar una visión global y espacial de su impacto en la dinámica operativa del transporte de mercancías. A continuación, se abordará una revisión acerca del empleo del método de encuestas en las investigaciones sobre transporte, prestando especial atención a las

relaciones de colaboración entre empresas en ámbitos espaciales de concentración de empresas logísticas. Por último, se desarrollará ampliamente el enfoque ABM y su aplicación a los estudios geográficos mediante el desarrollo de modelos y, más detalladamente, a la investigación de los sistemas de transporte.

2. La organización de los agentes dentro de los sistemas TMC

2.1. Evolución de las cadenas de transporte

Toda transacción comercial, ya sea a nivel local, regional o internacional, implica la realización de una serie de actividades que posibilitan el flujo físico de los bienes materiales que son objeto de la misma. Considerando dicho flujo como resultado de una necesidad determinada de abastecimiento en un contexto de eliminación de barreras al comercio y de creciente división del trabajo entre empresas y países (Liedtke, 2009), las cadenas de transporte podrían definirse en su acepción más simple, según Ramstedt (2008), como el movimiento de productos o bienes desde un productor hasta su cliente. Rodrigue (2017), por su parte, considera las cadenas de transporte como “una serie de actividades logísticas que organizan modos y terminales tales como los sistemas de transporte ferroviario, marítimo y por carretera, con el fin de lograr la continuidad de la cadena de suministro cumpliendo una serie de etapas (...)” (p. 208). Efectivamente, este movimiento físico de materiales implica necesariamente la existencia de una serie de recursos y de infraestructuras de transporte para su ejecución. Sin embargo, el factor que hace posible el movimiento de materiales desde un lugar a otro no son tanto los modos de transporte ni las redes de comunicación como los agentes que toman parte en las operaciones de transporte. Así, cada agente dentro de cada actividad u organización involucrada en dichas operaciones tiene un rol asignado, el cual conlleva un conjunto definido de responsabilidades y una determinada capacidad de decisión (Holmgren *et al.*, 2010). De acuerdo con su asignación de responsabilidades y con el objetivo común de realizar la operación de transporte según las condiciones acordadas, cada agente implicado toma sus decisiones, teniendo cada una de ellas un impacto determinado en el resto de agentes de la cadena (Rühl *et al.*, 2013). Sin embargo, además del objetivo general cada agente o tomador de decisiones tiene a su vez una serie de objetivos específicos (Rühl y Bolze, 2016) que tratará de conciliar con el objetivo común y con el resto de objetivos de los demás agentes.

Las cadenas de transporte se refieren, pues, a operaciones de movimiento físico de mercancías que tienen un origen y un destino concretos separados por una distancia δ , que utiliza uno o varios modos de transporte y en las que participa un número variable de agentes. Sin embargo, para que una cadena de transporte entre en funcionamiento es necesario que previamente se produzca una serie de pasos:

- 1- *Demanda de suministro*. En esta fase el cliente receptor realiza una solicitud de suministro de mercancía a su proveedor, indicándole en la misma las condiciones de entrega y demás parámetros de la operación (tipo y cantidad de material, tipo de embalaje, modalidad de estiba, normas de seguridad, horario y lugar de descarga, etc...). Estas condiciones seguirán vigentes durante toda la operación, por lo que la adecuada

transmisión de este conjunto de instrucciones a lo largo de la cadena de transporte resulta de vital importancia para el correcto desarrollo de la misma (Salas *et al.*, 2019).

2- *Selección del modo de transporte.* La decisión sobre el modo de transporte corresponde a criterios compartidos entre el expedidor y el cliente-receptor (Ben-Akiva y de Jong, 2013), aunque mayormente estará condicionada por las necesidades de este último. No obstante, de acuerdo con Reis (2014), existe un conjunto de variables generales, como son la fiabilidad, el tiempo de tránsito, la flexibilidad y el precio, y una serie de variables específicas de cada operación, que son tenidos en cuenta en la elección del modo de transporte. Zgonc *et al.* (2019), por su parte, analizan la distancia como un factor influyente en transportes intermodales que combinan carretera y ferrocarril.

3- *Selección del proveedor de servicio de transporte.* Una vez determinado el modo o modos de transporte se produce la elección del servicio de transporte, aunque, como sugieren Meixell y Norbis (2008), hoy día es cada vez más frecuente que estas dos fases se den simultáneamente gracias a la subcontratación de proveedores servicios integrales como *third party* o *fourth party logistic*, quienes llegan incluso a decidir sobre el modo de transporte (Solakivi y Ojala, 2017). No obstante, es necesario apuntar que el servicio de transporte puede ser proporcionado por cuenta propia del expedidor de la mercancía en vez de ser subcontratado externamente, existiendo a este respecto diferencias notables dependiendo de la región, la longitud del trayecto y del sector económico del expedidor, especialmente en Europa (Stojanović, 2017).

De acuerdo con esta última circunstancia podemos establecer que existen dos tipos de cadenas de transporte posibles. Por un lado, aquellas en las que el servicio de transporte es privado o por cuenta propia, es decir, “el movimiento por parte de una empresa de su propio personal o carga sin ninguna transacción financiera asociada” (EU, 2019, p. 46). Esto significa que empresa propietaria de la mercancía realiza el servicio de transporte con sus propios medios, lo cual puede ofrecer ventajas en cuanto a la flexibilidad del servicio o la fiabilidad en la entrega, especialmente para aquellas operaciones con peso variable, pero en distancias cortas o entornos urbanos (Cruz, 2010; Gavaud *et al.*, 2011). En cambio, de acuerdo con Cruz (2013), los costes variables crecen cuanto mayor es la distancia del porte, lo cual hace desaconsejable este tipo de cadena de transporte para largas distancias. Además, las restricciones y responsabilidades legales aumentan cuanto mayor es la masa máxima autorizada (MMA) del vehículo. Así, con arreglo al Reglamento 165/2014 de la Unión Europea relativo al uso de tacógrafos en el transporte por carretera, obliga a los vehículos con MMA superior a 3500 kg. a disponer de dicho dispositivo para el control de actividades del vehículo y de su conductor, el cual debe pertenecer a la empresa propietaria del vehículo siempre que transporte algún tipo de mercancía. Este hecho invalida, al menos parcialmente, la posibilidad sugerida en otros trabajos (Stojanović, 2017) de subcontrataciones de conductores en servicios de transporte por cuenta propia.

Por otro lado, el segundo tipo cadenas de transporte tiene lugar cuando las empresas recurren a proveedores externos para realizar sus envíos. El *Glossary for transport statistics* (EU, 2019) define esta modalidad como “transporte remunerado de personas o bienes en nombre de terceros” (p. 46). En efecto, la subcontratación es un proceso de cesión de ciertas funciones de

una empresa hacia un proveedor (Scott *et al.*, 2011), quien las maneja en su nombre bajo su entera responsabilidad (Rinsler, 2010) a cambio de una remuneración o precio acordado. En el caso del transporte, la decisión de una empresa de externalizar sus envíos puede estar motivada por la “necesidad de reducir costes fuera del proceso de producción por medio de estrategias como la reducción de stocks y almacenes, o la búsqueda de economías de escala (...)” (Ministerio de Fomento, 2013, p. 9). Sin embargo, autores como Jharkaria y Shankar (2007) y Rinsler (2010) aluden no solo a la reducción de costes sino también a la capacidad de los proveedores de hacer valer su especialización y experiencia en ámbitos en los que sus clientes carecen de recursos como una de las principales razones de la externalización de los servicios. Asimismo, como consecuencia de este proceso las empresas que externalizan sus servicios de transporte pueden concentrar su actividad en sus actividades nucleares (Jharkaria y Shankar, 2007; Rinsler, 2010), posibilitando así la creación de mayor valor en la cadena de transporte (Hsiao *et al.*, 2010).

Desde los años 80 los servicios de transporte realizados por terceros se han ido imponiendo paulatinamente al transporte realizado por cuenta propia. Stojanović (2017) constata la tendencia constante hacia la externalización en Europa durante las dos últimas décadas, pese a repuntes circunstanciales del transporte por cuenta propia durante 2008 y 2009, coincidiendo con el comienzo de la crisis económica. Sin embargo, los datos demuestran que, si bien el transporte por cuenta propia se mantuvo estable entre 2005 y 2014, la brecha entre ambos tipos de transporte se ha ahondado en los últimos cuatro años, pasando de un 32,29 % del total de toneladas transportadas (Stojanovic, 2017) al 28,3 % (Eurostat, 2019). Además, el comportamiento de estos dos tipos de transporte difiere en relación con el tipo de mercancía transportada y a la distancia del porte. A partir de los trabajos desarrollados sobre esta cuestión en Francia por Gavaud *et al.* (2011) y Cruz (2013), se desprende que el transporte por cuenta propia tiene mayor presencia en mercancías con poco valor añadido y en distancias cortas, al estar relacionado con operaciones de tipo rutinario o regular donde la proximidad entre expedidor y destinatario juega un papel clave. Igualmente, Jaafar y Rafiq (2005) en su estudio sobre la implantación de ambas modalidades de servicio de transporte en el Reino Unido, destacan la resistencia de los productores minoristas a externalizar sus envíos frente a la tendencia general mostrada en otros sectores productivos de dejar el control de sus operaciones de transporte en manos de terceros.

La externalización de las necesidades de transporte de las empresas es, pues, un fenómeno cada vez más generalizado en todos los ámbitos de la economía global. Su impacto en las cadenas de suministro es cada vez más decisivo debido a la creciente especialización y personalización del servicio que ofrecen los proveedores de transporte (Jharkaria y Shankar, 2007; Marasco, 2008). De tal manera, uno de los rasgos más definitorios de los sistemas modernos de transporte es su creciente complejidad, lo que posibilita que, de acuerdo con Ramstedt (2008), varias cadenas de transporte integradas por agentes externos con diferentes funciones y ámbitos de actuación forman una cadena de suministro (figura 2.1).

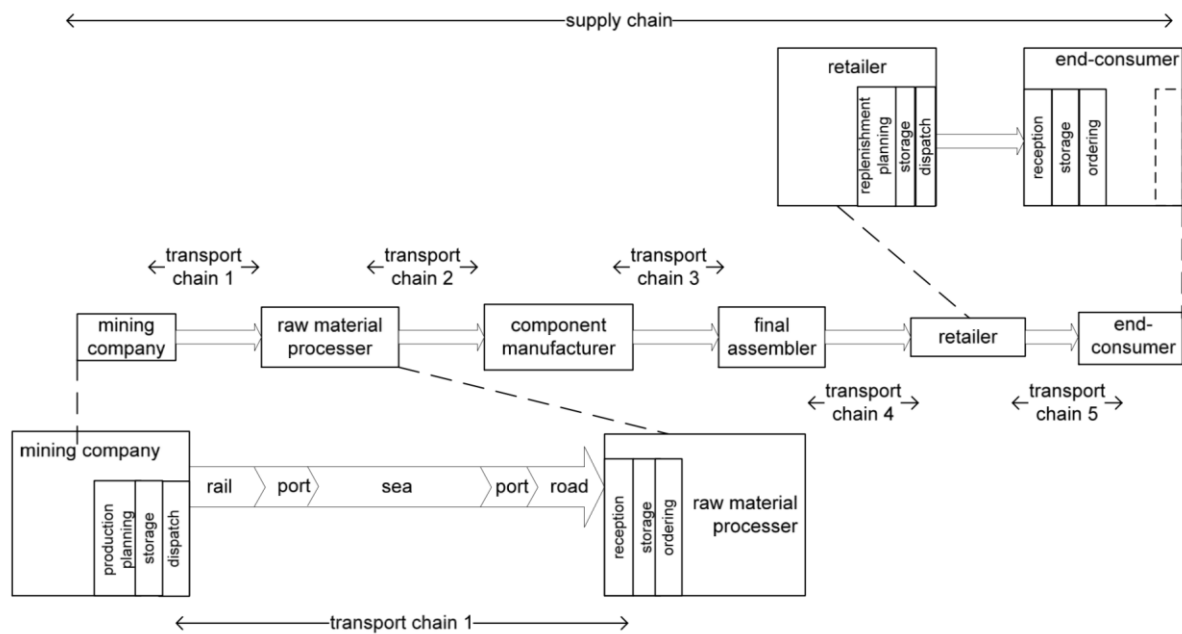


Figura 2.1. Relación de cadenas de transporte dentro de una cadena de suministro (Ramstedt, 2008, p. 13).

Por este motivo se hace necesario ofrecer un marco conceptual que integre el concepto de cadena de subcontratación con otros conceptos referentes a estructuras logísticas de mayor rango tales como las cadenas de transporte y las cadenas de suministro, dentro del contexto organizativo y espacial de los sistemas de transporte de mercancías. A todo ello se dedicará el siguiente punto.

2.2. Las cadenas de subcontratación de transporte

La relación contractual surgida entre un cliente y un proveedor como producto de un acuerdo entre ambas partes para la prestación de un servicio solicitado por el primero en el marco del desempeño de su actividad económica es lo que se conoce como una subcontratación. A este respecto, Gilley y Rasheed (2000) matizan que una subcontratación es el resultado de la decisión por parte de una empresa de no internalizar determinado proceso o servicio, lo cual conlleva que, para que sea considerado como tal, la empresa debe tener también la opción de realizar dicho proceso internamente. Esta definición puede ser aceptable para actividades claves o centrales de la empresa contratadora, pero en el caso de procesos complementarios como el transporte, la subcontratación no solo es posible, sino que además puede ser muy beneficiosa (Barthelemy, 2003).

En este sentido, la subcontratación se comporta de manera diferente en cada sector debido a las características del mercado, del territorio en el que se realice y de la propia actividad. Por lo que respecta a las cadenas de subcontratación de servicios TMC, su conformación siempre genera una cadena de transporte, cuyo fin es completar una operación de transporte determinada.

Además de esto, es necesario resaltar una serie de rasgos peculiares que hacen de este tipo de cadenas un sistema verdaderamente complejo:

1) *Alargamiento de las CST.* Las operaciones de transporte son diseñadas a partir de una orden de transporte emitida por un cliente a su proveedor de servicio de transporte (PST), en la que se expresan datos como el origen, destino, características de la mercancía y horarios de recogida y entrega (Ackermann *et al.*, 2011). Dichas operaciones encierran estructuras de colaboración entre agentes de diferentes clases que se van conformando secuencialmente, y cuya longitud final a menudo no está determinada desde su inicio, lo que significa que el número de agentes que integran una CST puede variar incluso para operaciones de transporte idénticas. De tal manera, una vez cerrada una operación de subcontratación de servicio de transporte entre un contratador y un PST, esta puede volver a reproducirse entre el PST (esta vez como contratador) y otro PST externo a él, y así sucesivamente, siendo variable el número de agentes participantes en la CST dependiendo de factores tales como la distancia a cubrir, la naturaleza de la mercancía o el precio del servicio (figura 2.2). Así, a partir de los resultados de la encuesta ECHO realizada en Francia en 2004, Gavaud *et al.* (2011) identifican cadenas de un PST, dos PST y tres PST o más, si bien el tipo de CST más representado es el de un solo proveedor.

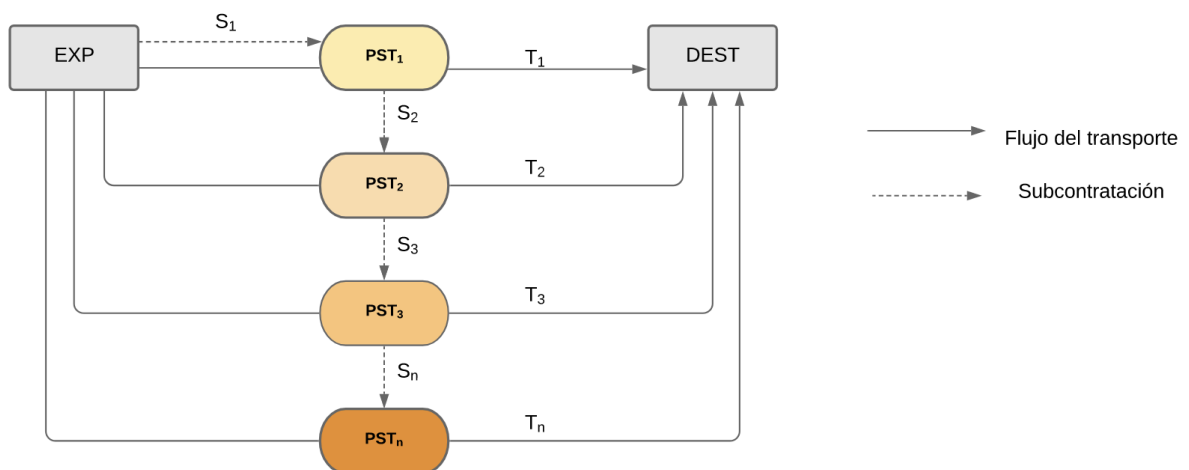


Figura 2.2. Posibilidades de transporte directo (T) en función de diferentes operaciones de subcontratación (S), donde EXP = expedidor y DEST = destinatario.

Las razones que pueden impulsar al PST₁ a no decantarse por la opción T₁ y derivar a otro PST el desempeño del servicio de transporte pueden ser de tres tipos: *i*) no posee medios propios, esto es, se dedica a labores de intermediación logística, lo cual significa que está obligado a subcontratar servicio de transporte; *ii*) dispone de medios propios pero no disponibles en el momento de realizar T₁, o *iii*) dispone de medios propios disponibles para realizar T₁ pero opta por no emplearlos por las características del contrato (precio, tipo, tamaño o peso de la mercancía, destino, etc...). Estas circunstancias pueden reproducirse para el resto de subcontrataciones de PST, si bien la primera de ellas es poco

usual que se reproduzca más allá de la primera subcontratación debido a su escasa operatividad.

2) *Estructura jerarquizada*. A diferencia de los nuevos modos de “subcontratación transformacional” o de colaboración horizontal, en los que las estructuras jerarquizadas son sustituidas por redes de actores organizacionales acopladas holgadamente (Schilling y Steensma, 2001; Hätönen y Eriksson, 2009), los agentes que toman parte en las operaciones de transporte mantienen el modelo clásico jerarquizado en la toma de decisiones (Davidsson *et al.*, 2008; Holmgren *et al.*, 2012) como resultado de la estructura vertical imperante en las cadenas de subcontratación. En el caso de las CST, las condiciones de transporte fijadas por el contratador se trasladan al PST₁ y de este al siguiente en la cadena, y así sucesivamente en función de la longitud de la cadena de subcontratación, respondiendo cada PST ante su contratador y postergándose hasta el último PST la asignación del transporte efectivo. Este tipo de organización presenta tres aspectos relevantes: *i*) La responsabilidad en el cumplimiento de las condiciones iniciales del transporte permanece invariable para todos los agentes de la CST durante el transcurso de la operación, si bien *ii*) el margen de beneficio decrece en cada nivel de subcontratación, puesto que el precio de referencia es el precio de partida acordado entre contratador y PST₁, mientras que *iii*) la mayor parte de los costes y trabajo efectivo de la operación son asumidos por el último PST de la cadena, quien tiene el cometido de realizar el transporte físico con medios de tracción propios. Así, de esta estructura organizativa se deriva que el PST que más tiempo y medios invierte en la operación es quien menor beneficio obtiene al final de la misma.

3) *Diversidad de tipos de contratación*. Las colaboraciones entre clientes y PST reflejan diferentes grados de estabilidad y compromiso contractual en todos los niveles de las CST. De acuerdo con Stojanović (2012), los acuerdos entre las partes pueden ir desde un contrato puntual hasta contratos a largo plazo o incluso alianzas estratégicas. De tal manera, Rinehart *et al.* (2004) distinguen tres tipos de acuerdos posibles en relación con el modo en que se organiza la colaboración entre agentes: *a*) acuerdos ocasionales regulados por el mercado, generados gracias a ventanas de oportunidad y basados en el precio o en la dinámica del servicio, en los que el cliente contrata una o varias veces a un PST en función de su competitividad; *b*) acuerdos basados en la relación de colaboración, en los que la prioridad es cómo desempeñar mejor la tarea por encima de la dinámica del mercado, pudiendo ser de tipo informal, centrados en actividades puntuales, o incluso dar lugar a alianzas, entendidas como relaciones cooperativas a largo plazo formalmente acordadas entre al menos un PST y un cliente (Brekalo y Albers, 2015); *c*) acuerdos dominados por un actor principal que tiene el control de las operaciones, donde el objetivo final es la integración vertical de todos los agentes que toman parte en ellos. Aunque la decisión del contratador de optar por un tipo de colaboración concreto siempre busca la obtención de algún tipo de ventajas, existen diferencias sustanciales entre ellas. Si, por un lado, de acuerdo con Daugherty (2011), las relaciones estrechas de colaboración facilitan la fluidez de la información y el aprendizaje, la innovación y la mejora del servicio, por otro lado, los acuerdos ocasionales permiten a los contratadores

recurrir al mercado de PST con costes más competitivos, aunque ello suponga una mínima transferencia de información y menores niveles de confianza (Rinehart, 2004).

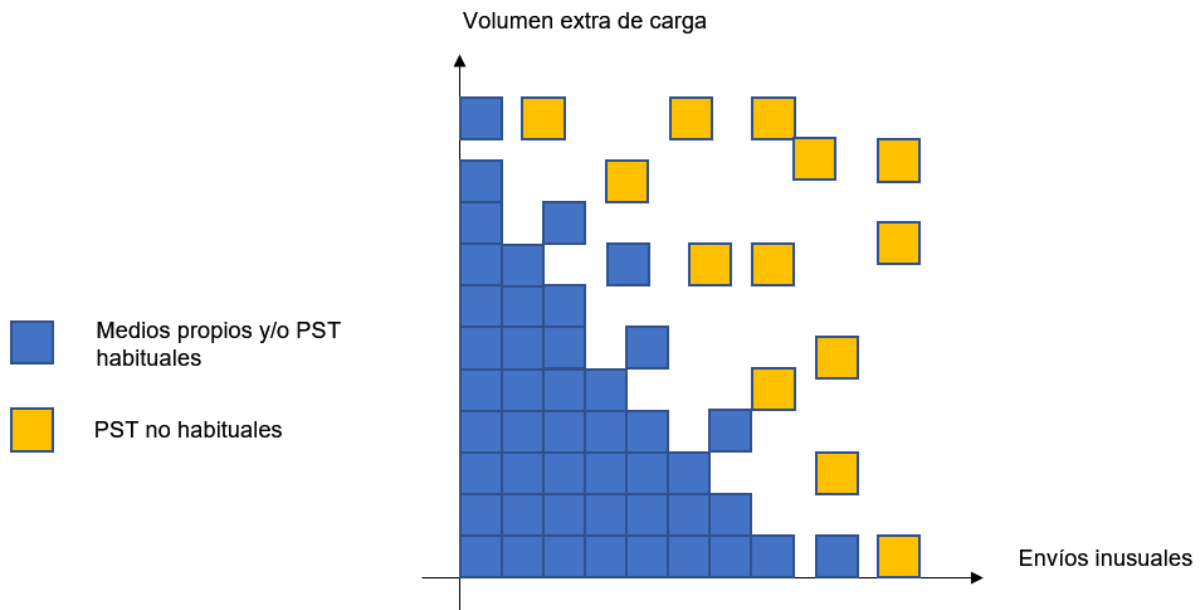


Figura 2.3. Recurso a la contratación ocasional de PST no habituales dependiendo del volumen de trabajo y de las características de los envíos.

En este sentido, la proliferación de mercados de transporte electrónicos o bolsas de carga y vehículos (Ihde, 2002; Figliozzi *et al.* 2004; Wang *et al.*, 2007; Nandiraju y Regan, 2008; Marasco, 2004; Ackermann *et al.*, 2011) ofrecen la posibilidad a los contratadores de recurrir a PST no habituales cuando el volumen de trabajo excede su capacidad de carga con medios propios o PST habituales o cuando las características de los envíos (destinos, vehículo con características especiales, tipo de mercancía...) pueden resultar poco interesantes para la empresa que recibe las órdenes de carga (Ackermann *et al.*, 2011). Así, las ventajas de este sistema son abundantes, tal como sugiere Marasco (2004), ya que los contratadores acceden a un mercado con enorme potencial de transporte a menor costo debido a la competitividad del sector, y los PST acceden a grandes mercados de carga de complicado acceso por otros medios, reduciendo así sus costes de gestión comercial. Esto, sin embargo, puede resultar engañoso, dado que el mercado suele mostrar altos índices de desequilibrio entre la oferta de cargas y la demanda por parte de PST. Además, a este problema hay que añadir el de la opacidad en la que se desarrollan algunas de estas operaciones, ya que tanto el carácter jerárquico de las CST como la discreción comercial de las contrataciones a menudo impiden saber a un cliente en cualquier posición de la cadena si su PST subcontratará a otro proveedor para realizar la operación o empleará sus propios medios de transporte.

4) *Especialización de los agentes intervinientes.* La creciente competitividad existente entre las empresas que ofrecen servicios a otras empresas beneficia hoy día a todo tipo de clientes, quienes se aprovechan así de nuevas fuentes de capacidades y conocimiento

(Hätönen y Eriksson, 2008). Esta competitividad está muy presente en el sector de la logística y el transporte, uno de cuyos efectos más notables es la especialización relacionada con la capacidad de innovación (Daugherty *et al.*, 2011). Además, de acuerdo con Sheffi (2012), dicha especialización se ve favorecida y retroalimentada por la concentración espacial de actividades, conocimientos y habilidades relacionadas con el sector. En este sentido, Hsiao (2010) propone cuatro niveles de especialización basándose en la innovación de servicios y la división cualitativa del trabajo, agrupando los dos primeros en actividades de ejecución: *i*) transporte y almacenamiento y *ii*) empaquetamiento y etiquetado; y los dos últimos en niveles de planificación: *iii*) planificación y control logístico (stocks, inventarios, distribución, etc...), y *iv*) gestión total de la red de abastecimiento y distribución. Sin embargo, la especialización de los proveedores tanto de servicios logísticos como de transportes puede observarse tanto verticalmente, en lo que respecta a la división de tareas (Hsiao, 2010; Brekalo y Albers, 2015), como horizontalmente, en lo referente a la personalización o customización de los servicios prestados al contratador (Cho *et al.*, 2008; Zailani *et al.*, 2017) en función de necesidades de abastecimiento especiales, de la naturaleza de las mercancías o del cumplimiento de normativas de seguridad y/o medioambientales. Esta circunstancia, por tanto, es la que determina de qué manera interactúan entre sí agentes de diferentes especies y con diferentes ámbitos de actuación (Démare *et al.*, 2017). De tal modo, teniendo en cuenta los factores mencionados más arriba y la división intrasectorial del trabajo fruto de la especialización, las CST son configuradas secuencialmente hasta la asignación final del porte a un PST con capacidad de tracción real. En el punto 4.1.2. se tratarán ampliamente los aspectos derivados de la acción de los agentes intervinientes en las CST y de la interacción entre ellos.

5) *Desigual impacto de la fricción de la distancia.* Toda operación de transporte une dos puntos geográficos separados entre sí por una distancia δ . El objeto de estas operaciones no es otro que superar dicha distancia (Rodrigue, 2017), en la que además concurren factores espaciales físicos y humanos tales como el relieve, las infraestructuras o las divisiones administrativas. La intervención de este factor tiene un impacto determinado en las relaciones tiempo-distancia y coste-distancia, lo que se conoce como fricción de la distancia (Gregory *et al.*, 2009). Sin embargo, dicha fricción puede presentar un impacto muy variable dependiendo del nivel de decisión en el que se encuentre la gestión de un transporte determinado. Estos niveles de decisión se identifican con las perspectivas estratégica, táctica y operativa relativas a la planificación y gestión del transporte (Florian *et al.*, 1988), que hacen referencia a una jerarquía de toma de decisiones distribuida en una escala temporal de largo, medio y corto plazo respectivamente (Crainic y Laporte, 1997). En relación con la fase operativa, los agentes responsables del transporte efectivo, previamente a la puesta en marcha de las cadenas de transporte, aceptan o rechazan operaciones de transporte en función de una serie de criterios de índole geográfico (Salas-Peña, 2021), que cobran mayor importancia cuanto mayor es la distancia a recorrer: *i*) ubicación de las instalaciones de carga, *ii*) localización del medio de transporte efectivo, *iii*) rutas de acceso al lugar de descarga, en función de la fricción de la distancia, y *iv*) zonas de actividad logística próximas al lugar de descarga. Esto es debido a que, en gran parte de las operaciones TMC, el precio del transporte solo cubre el trayecto desde

el punto de carga hasta el lugar de descarga, lo cual obliga a los PST a optimizar sus recursos escogiendo los envíos a lugares donde existan más posibilidades de un transporte de retorno rentable a sus bases. Por otro lado, más allá de estas consideraciones, es un hecho comprobado que las actividades económicas tienden a concentrarse en espacios concretos buscando beneficiarse de economías de aglomeración (Porter, 1998). En este sentido, efectos derivados de la proximidad geográfica entre empresas tales como el intercambio de conocimiento, la cultura de trabajo común o los vínculos de colaboración basados en la confianza favorecen la creación y el afianzamiento de más y mejores relaciones contractuales entre empresas localizadas en entornos dinámicos como los clústeres logísticos (Rivera *et al.*, 2016).

En definitiva, como puede extraerse de las líneas precedentes, las cadenas de transporte formadas por empresas externas proveedoras de servicios de transporte son claves para analizar y comprender la organización de la distribución espacial de bienes en el actual funcionamiento de la economía global. En el siguiente punto se describen los tipos de agentes más habituales en las CST y el modo en que son seleccionados para formar parte de las operaciones de transporte.

2.3. Los agentes implicados

Las CST presentan diferentes niveles de complejidad en relación con el número, tipo y rol de los actores que intervienen en ellas. Sus características, estructura y funcionamiento dependerán de la naturaleza de la operación de transporte que se ha de realizar y de la relación establecida entre sus participantes como resultado de una secuencia de decisiones. De tal manera, desde un enfoque basado en agentes, autores como Roorda *et al.* (2010) constatan que en todos los sistemas de transporte de mercancías toma parte un número determinado de actores que controla su propia gestión sin que al mismo tiempo ninguno de ellos controle ni conozca completamente el proceso de toma de decisiones del resto. Sin embargo, los agentes, además de ser autónomos, también muestran capacidad de reacción y aprendizaje ante los cambios que ocurren en su entorno, pueden tomar decisiones proactivas y relacionarse con otros agentes en función de ellas (Wooldridge y Jennings, 1995). Asimismo, los actores interactúan entre sí de muy diversos modos y en diferentes sentidos e intensidades, afectando de tal manera al funcionamiento del sistema (Salas *et al.*, 2019). Por ello, para comprender dichas interacciones sustentadas en la toma de decisiones es preciso conocer y determinar, tal y como sugieren Ramstedt y Woxenius (2006), la libertad de acción de los agentes que intervienen en ellas desde un enfoque descentralizado. Esto será posible a partir de la caracterización de los agentes que pueden formar potencialmente parte de las CST, de la descripción precisa de sus tareas, atributos y limitaciones y del examen de su capacidad de aportar valor a la cadena por medio del desempeño de sus funciones. En la figura 2.4 podemos comprobar el grado de diversidad existente respecto a la consideración del rol que juegan los diferentes agentes implicados en las operaciones de transporte, comparando la composición de varios modelos ABM disponibles en la literatura.

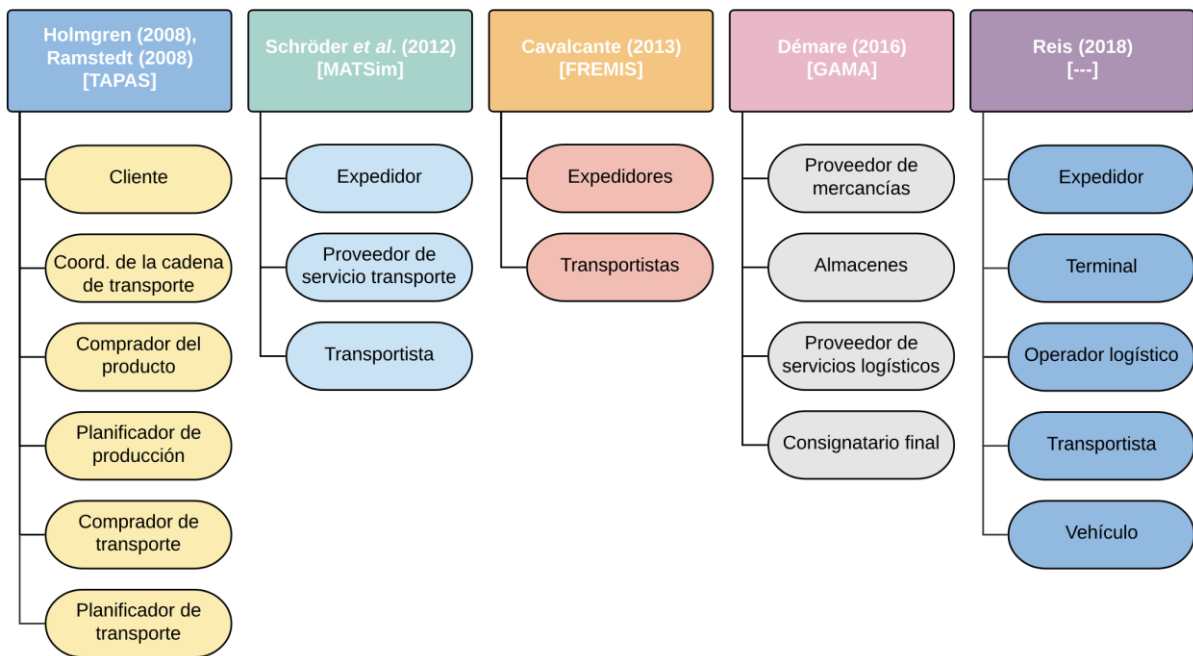


Figura 2.4. Comparativa entre varios modelos de transporte respecto a los tipos de agentes considerados.

Los actores que intervienen en operaciones de transporte y logística son numerosos y heterogéneos (Démare *et al.*, 2019). En efecto, dependiendo del tipo de operaciones de transporte de mercancías que se pretenda modelizar las CST pueden contar con varios tipos de agentes de acuerdo con diferentes niveles de actuación. Por ejemplo, Hsiao *et al.* (2010) observa cuatro niveles de tareas logísticas subcontratables dentro de la industria alimentaria, desde desempeños a nivel operativo como el transporte o el almacenamiento hasta desempeños logísticos integrales a nivel táctico y estratégico. García *et al.* (2012), en su estudio sobre la operativa logística en la industria del vino, identifica igualmente diferentes niveles de actuación en los que toman parte agentes tales como el transitario o *freight forwarder*, el importador o el distribuidor de mercancías. En Davidson *et al.* (2008), Ramstedt (2008) y Holmgren *et al.* (2012) se exponen sendos modelos basados en la plataforma TAPAS (Transportation And Production Agent-based Simulation), donde se observa una diferenciación entre un nivel de simulación de toma de decisiones y otro de simulación física, en los que toman parte agentes cardinales tales como el planificador de producción (expedidor), el planificador de transporte (transportista) y el cliente final, y agentes intermediarios como el comprador del producto y el comprador de transporte (transitario), todos ellos coordinados por el planificador de la cadena de transporte. Baidur y Viegas (2011), por su parte, proponen un modelo donde se analizan las decisiones de subcontratación de expedidores de mercancía a empresas TMC o a operadores integrales de transporte, distinguiendo para ello tres niveles de incidencia: Nivel contractual, nivel físico y nivel normativo. El modelo se analiza la interacción entre estos niveles a través de la simulación de operaciones de transporte entre dos regiones en las que operan un número concreto de agentes con roles específicos.

Sin embargo, la complejidad de las CST requiere de modelos más detallados que distingan agentes y roles en relación con su posición en la cadena. Así, Bok y Tavasszy (2018) recuerdan que en

algunos casos un mismo agente, entendido como una empresa, puede ejercer diferentes roles en una operación de transporte. En su modelo proponen la participación de cinco tipos de agentes que en algunos casos pueden asumir más de un rol, como sugiere la bipolaridad entre, por ejemplo, productores/expedidores y destinatarios u operadores logísticos y transportistas. Además, en su propuesta incluyen como quinto agente a los responsables de políticas de transporte responsables de decisiones sobre infraestructuras, inversiones o cuestiones medioambientales.

Schröder *et al.* (2012), por su parte, elaboran una propuesta desarrollada a través de la plataforma MATSim, en la que además del expedidor entran en juego, como agentes fruto de la externalización de las tareas logísticas, un proveedor de servicio de transporte (transitario) y un transportista, que toman decisiones obligados por una relación contractual en función de los requerimientos y necesidades del expedidor expresados en el contrato, así como de un conocimiento y unas capacidades determinadas para cumplir con la tarea acordada. Cavalcante (2013), basándose en el modelo FREMIS (Freight Market Interactions Simulation) desarrollado por Roorda *et al.* (2010), aporta elementos interesantes asociados a la complejidad de los sistemas de transporte de mercancías al incluir las economías de escala y la compactación de envíos como factores de reducción de costes a la hora de seleccionar un transportista. Aunque solo contempla la participación de expedidores y transportistas en la estructuración del mercado de transporte, su modelo simula la interacción entre ellos a través de contratos de transporte ultimados de acuerdo con el precio y el nivel de servicio ofrecido, evaluando el expedidor el servicio recibido para posteriores operaciones, y tratando el transportista de rentabilizar sus decisiones operativas mediante el recorte de costes.

Por otro lado, Matteis *et al.* (2016) estructuran un modelo basado en agentes del lado de la demanda (expedidores, destinatarios) y agentes proveedores de transporte (3PL, transportistas) en el que se analiza la adaptabilidad de la estructura de PST a las preferencias y necesidades de la demanda y a las políticas de regulación del transporte de mercancías. Holguín-Veras y Sánchez-Díaz (2016) diseñan un modelo de transporte en ámbito urbano en el que, a diferencia de otras propuestas, se concede al destinatario un rol principal al entender que este tiene poder de influir en la obtención de mejoras en el tráfico de mercancías en aspectos tales como la frecuencia de reparto, los horarios, los destinos y el modo de transporte.

Finalmente, Démare (2016) y Démare *et al.* (2017) conforman un modelo implementado a través de la plataforma GAMA en el que, además del expedidor y el destinatario de la mercancía, incluyen agentes tales como el operador logístico, el planificador de transportes y el transportista. Además, el territorio, identificado por medio de las infraestructuras y espacios urbanos, actúa también como un agente más al mostrar un comportamiento determinado en función de una serie de atributos, cuyos valores se alteran como resultado de la interacción con el resto de agentes.

En definitiva, las funciones y roles que desempeña cada agente están determinados por el sistema de transporte en el que toman parte. Dicho sistema está siempre dominado por un objetivo general que todos los agentes comparten, si bien su heterogeneidad hace que estos persigan a

su vez metas particulares al tiempo que se ajustan a los requerimientos del mercado (Matteis *et al.*, 2016).

2.4. El intercambio de información y conocimiento entre agentes TMC

La difusión de conocimientos y habilidades dentro de los sistemas complejos inciden enormemente en la capacidad de autoorganización y adaptabilidad a nuevos escenarios. De acuerdo con Reagans y McEvily (2003) las redes interpersonales informales tienen un papel clave en la transferencia de conocimiento dentro de la dinámica operativa de una organización. De igual modo dicha transferencia de conocimiento, entendida esta como un subproceso de aprendizaje desarrollado a partir de una experiencia de otro individuo (Argote y Miron-Spektor, 2011), se considera fundamental para los procesos de aprendizaje, mejora y desarrollo ya que define la competitividad de cada organización. Siguiendo con el argumento de Reagans y McEvily (2003), se asume que para cada empresa esta transferencia conlleva un costo determinado en tiempo y dedicación, si bien en muchos casos la decisión de transferir conocimientos depende de cada individuo, al valorar esta la facilidad de la transferencia. La transferencia de conocimientos es un proceso discrecional que busca el camino de menor resistencia. Aquellos que transfieren pueden no hacerlo con todos los individuos, y los receptores a veces no son conscientes de haber recabado dicho conocimiento, ya que no se produce de manera explícita sino mediante observación. Según Argote y Miron-Spektor (2011, p. 1123) “la capacidad de aprender y adaptarse es fundamental para el desempeño y el éxito a largo plazo de las organizaciones”. Del mismo modo, continúan, “los contextos en los que los miembros confían entre sí (Levin y Cross, 2004) o se sienten psicológicamente seguros (Edmondson, 1999) promueven el aprendizaje organizacional” (Argote y Miron-Spektor, 2011, p. 1125).

Por tanto, la complejidad de la organización del transporte de mercancías no solo afecta a la circulación física de los materiales que se transportan entre un origen y un destino, sino también a la manera en que los agentes implicados en cada operación de transporte se relacionan e interactúan entre sí trasladándose información y conocimiento. Este flujo comunicativo está estrechamente relacionado con el tipo de estructura organizativa de la cadena operativa, y afecta igualmente a la capacidad de decisión de los agentes que la integran. Hasta la fecha, los estudios académicos relacionados con la interacción comunicativa se han centrado preferentemente en el ámbito de relaciones entre las cadenas de suministro y la provisión de servicios logísticos, vistos desde la óptica de empresas manufactureras (Mollenkopf *et al.*, 2000; Rinehart *et al.*, 2004; Jaafar y Rafiq, 2005; Cho *et al.*, 2008; Daugherty *et al.*, 2011; Leitner *et al.*, 2011; Brekalo y Albers, 2015) o partir de revisiones de la literatura (Crujssen *et al.*, 2007; Daugerthy, 2011; Akbari, 2018), mientras que el fenómeno de la articulación comunicativa entre agentes de transporte vinculados a una CST cuenta con escasas aportaciones hasta el momento (Salas *et al.*, 2019).

Pese a ello, la transferencia de información y conocimiento que tiene lugar alrededor de este tipo de relaciones interactivas resulta clave para entender el funcionamiento de las CST y modelar su comportamiento en escenarios diferentes. Dicha transferencia incide en el aprendizaje organizacional a diferentes niveles, en el que intervienen factores clave como la motivación y la experiencia. De acuerdo con Argote y Miron-Spektor (2011), el aprendizaje tiene su base en la

experiencia y su desarrollo tiene lugar en tres momentos: *i)* creación, *ii)* retención y *iii)* transferencia, todos ellos situados en el contexto de una organización que se sitúa a su vez en un entorno determinado. Sobre la base de este aprendizaje organizacional a nivel interno puede desarrollarse el intercambio de conocimiento entre agentes de diferentes entidades. De acuerdo con Scott *et al.* (2011), existen dos áreas fundamentales para gestionar las relaciones de subcontratación en cadenas de suministro, a saber, la supervisión del desarrollo de la operación y el control operativo. En esta última fase, donde la interacción entre agentes es más intensa, resulta crucial la confianza mutua para posibilitar el intercambio de información con el fin de reducir costes, siendo la reticencia de los contratadores a compartir información estratégica con los PST uno de los motivos por los que una subcontratación, en tanto que relación contractual basada en el cumplimiento de los objetivos que el contratador señala a su PST, puede generar problemas (Razzaque y Sheng, 1998). Del mismo modo, Tomkins (2001) considera la confianza como factor determinante en la calidad y cantidad de la información transmitida dentro de una colaboración contractual. Dicha confianza se labra de modo progresivo en diferentes etapas, siendo necesario adaptar el sistema de relaciones para satisfacer las necesidades de la colaboración. La confianza evoluciona igualmente entre clientes cargadores y PST a través de la intensificación de esfuerzos comunicativos (Brekalo y Albers, 2015).

Crujssen *et al.* (2007), por su parte, destacan la importancia del intercambio de información en el marco de la cooperación horizontal entre empresas de transporte, donde, además, distinguen dos tipos de informaciones: aquellas que son propiedad de las empresas para su uso y gestión interna, e informaciones compartidas, como las órdenes de transporte, que deben estar disponibles para los agentes involucrados en la colaboración. En un repaso de la literatura existente acerca de las colaboraciones en cadenas de suministro y logística, Daugherty (2011) identifica diferentes tipos de relaciones, entre las que destacan las colaboraciones *par-a-par* donde, además del intercambio de información operativa, el comportamiento de las colaboraciones entre empresas afecta a otras cuatro dimensiones más (extensibilidad, controles operativos mutuos, beneficios compartidos y planificación) (Hofer *et al.*, 2009). En relación con dicho intercambio de información relativa a una operación TMC, existe una serie de comunicaciones entre colaboradores directos que resultan necesarias para que la coordinación entre todos los agentes involucrados sea posible y la operación sea completada con éxito.

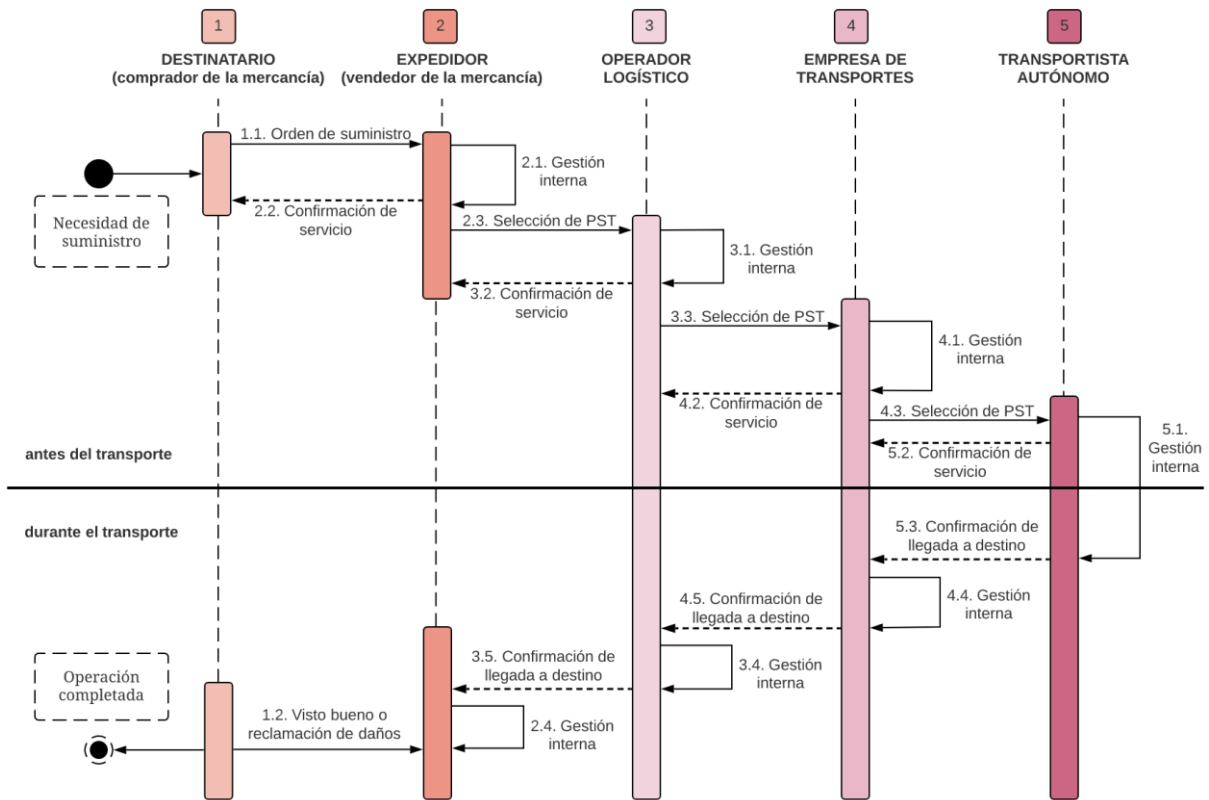


Figura 2.5. Cadena de comunicación entre colaboradores durante una operación de transporte de mercancías por carretera (Salas, Cases y García-Palomares, 2019).

De acuerdo con Salas *et al.* (2019), estas comunicaciones se establecen entre pares de agentes (figura 2.5), respondiendo a un tipo de estructura de colaboración jerárquica, en la que la información fluye de manera escalonada y la capacidad de decisión va decreciendo a medida que avanzamos en la CST. De tal modo, los autores distinguen hasta tres canales de comunicación en la estructura de una operación TMC: *i*) comunicaciones cliente-proveedor, *ii*) comunicaciones proveedor-cliente y *iii*) comunicaciones internas. Asimismo, se consideran dos momentos dentro de dicha estructura: las comunicaciones que preceden a la realización física del transporte y aquellos contactos enmarcados en la gestión operativa. Asimismo, en la figura 2.5 puede comprobarse cómo en el conjunto de ambas fases los dos agentes centrales (operadores logísticos y empresas de transportes) son los que copan mayor cantidad de comunicaciones y, por tanto, llevan el peso de la gestión efectiva de la operación. No obstante, la estructura vertical de estas comunicaciones puede limitar enormemente la efectividad del sistema al crear entre los agentes involucrados un flujo discontinuo de información en cuanto a su cantidad, calidad y temporalidad.

En relación con esta estructura vertical, Brekalo y Albers (2015) se refieren a las alianzas comerciales entre clientes cargadores y proveedores de servicios de transporte para subrayar el efecto ventajoso que estas relaciones tienen para el intercambio de información y conocimiento entre dichos colaboradores, la flexibilidad y adaptabilidad de los PST a las necesidades de los clientes y la interdependencia entre ambos respecto a los beneficios que la colaboración les proporciona. Sin embargo, según Rinehart *et al.* (2007), esta situación no es extensible a las situaciones regidas por el mercado, donde, debido a la gran competitividad existente entre

proveedores las colaboraciones pueden llegar a ser ocasionales y no estables o continuadas, lo que provoca que la información intercambiada sea escasa como consecuencia de un bajo nivel de confianza entre cliente y proveedor. Dargerthy *et al.* (2011), por su parte, entienden las estructuras jerárquicas como organizaciones centralizadas que limitan la capacidad de comunicación y el intercambio de nuevas ideas. Su estudio, desarrollado a partir de una encuesta a empresas de la República Popular China, demuestra que la innovación se relaciona mejor con la descentralización de las decisiones operativas logísticas que con estructuras verticales.

En definitiva, la investigación acerca de las estructuras comunicativas que acompañan a las operaciones de transporte cuenta con numerosas aportaciones en lo que se refiere a las relaciones entre empresas manufactureras y proveedores de transporte. En cambio, los flujos de información que se desarrollan en el entramado de empresas subcontratadas en el marco de dichas operaciones siguen siendo aún un ámbito poco atendido por la literatura.

2.5. El papel de las CST en la economía global

El concepto de cadena de transporte de mercancías fundamentado en la externalización de los servicios de transporte e incluso de la gestión total de las cadenas de suministro de las empresas productoras por parte de operadores logísticos, está íntimamente ligado a los procesos de fragmentación y relocalización de los procesos productivos a escala mundial (Méndez, 1997; Minian, 2009; Rodrigue, 2017). Desde los años 70, de acuerdo con Straube *et al.* (2010), la liberalización de los mercados, la reducción de costos de transporte y las mejoras en las tecnologías de la información y la comunicación han animado a las empresas a tomar parte en el proceso de internacionalización con vistas a expandirse a nuevos mercados y buscar la reducción de sus costos en los lugares con mayores ventajas competitivas. En efecto, autores como Jones y Kierzkowski (1990; 2000; 2005) sostienen que la separación física y geográfica de bloques de producción, antes integrados verticalmente, es posible gracias al progreso tecnológico y la transferencia de conocimiento en el sector servicios, además de la reducción de costes en ámbitos como la comunicación y los transportes, que ejercen de enlace entre diferentes segmentos de la producción. Igualmente, servicios como el transporte de mercancías se benefician de economías de escala puesto que los costes por unidad decrecen cuanto mayor es el volumen transportado (Jones y Kierzkowski, 2005).

En esta lógica productiva global, como sostienen van Biesebroeck y Sturgeon (2010) en un estudio referido a la industria de la automoción, la importancia de los proveedores de bienes intermedios ha ido ganando enteros desde mediados de los años 80 tanto a escala regional como internacional, aumentando de este modo la dependencia de los llamados servicios de enlace. Así, Jones *et al.* (2005) demuestran que el comercio mundial de piezas y componentes creció entre 1990 y 2000 casi un 50% por año más que el comercio global, siendo el mercado europeo el que mayor incremento mostró, muy por delante del mercado asiático y de la zona NAFTA, y que este modelo de producción segmentada necesita ser coordinado convenientemente por medio de servicios de enlace subcontratados. Además, Rodrigue *et al.* (2017) afirman que la globalización de la producción no es posible sin la globalización del comercio, y que la convergencia espacio-tiempo facilitada por las mejoras tecnológicas experimentadas desde los años 70 ha posibilitado

la fragmentación de la producción y la contribución del creciente comercio internacional a la reducción de costos, ampliando de ese modo la interdependencia entre territorios conectados por flujos de capital, bienes y servicios. Sin embargo, de acuerdo con Whitford y Potter (2007), la fragmentación espacial de la producción a escala global y sus enormes efectos sobre el comercio internacional plantean la cuestión de la delicada coexistencia de este modelo con economías externas dinámicas localizadas en entornos locales, en los que la proximidad geográfica entre empresas, instituciones y comunidades que intervienen e interactúan en ellos ejerce como un fuerte catalizador de ventajas comparativas. Así, la pervivencia de estos entornos dependerá de la capacidad de resistencia y adaptación de sus actores a la lógica espacial del capitalismo global (Méndez, 1997; Yeung, 2002), cuyas consecuencias espaciales fueron identificadas por algunos autores con la desterritorialización del crecimiento económico (Storper, 2004).

En este contexto de inestabilidad, la geografía económica evolutiva ha propuesto en los últimos tiempos diferentes modelos para explicar el comportamiento y la progresión de las regiones productivas, distritos industriales o clusters locales en función de su evolución en el tiempo (Boschma y Lambooy, 1999; Boschma y Frenken, 2006; Martin, 2010; Martin y Sunley, 2006 y 2015). Así, de conformidad con Martin (2010, p. 31), “la emergencia de nuevas industrias locales puede no deberse al azar o a accidentes históricos, sino que es estimulada o posibilitada, al menos en parte, por la pre-existencia de recursos, competencias, destrezas y experiencias heredadas de trayectorias locales previas y patrones de desarrollo económico”. Este concepto de dependencia de la trayectoria histórica o *path dependence*, prosigue Martin (2010), debe ser considerado menos como una inercia o continuidad de lo anterior y más como una evolución producto de la superposición de nuevas normas, procedimientos o técnicas, de la conversión de actividades, formas o funciones, o de la recombinación y redefinición de una actividad a base de utilizar nuevos recursos o propiedades. Asimismo, la idea de resiliencia regional, a pesar de haber sido considerada por algunos autores más como reajuste que como adaptación y renovación de las estructuras productivas (Hassink, 2010), resulta de interés desde el enfoque evolutivo propuesto por Boschma (2015), puesto que conecta la dependencia de la trayectoria histórica de las regiones productivas con su capacidad de hacer frente a impactos externos en su estructura y dinámica desarrollando nuevas trayectorias de crecimiento por medio del involucramiento de los agentes económicos, las instituciones y las redes de conocimiento.

Sin embargo, no solo las regiones industriales sino también ciertas regiones especializadas en servicios, sobre todo aquellas cuya actividad principal gira en torno al comercio de mercancías, han sido analizadas desde un enfoque evolutivo. Este es el caso del trabajo de Jacobs y Noteboom (2011) sobre las regiones portuarias del delta del Rin-Escalda, donde emplean el concepto de *ventana de oportunidad* para describir dinámicas innovadoras locales derivadas de los requerimientos de los clientes ante ciertos vacíos o carencias del mercado, en las que las políticas de las instituciones locales y regionales juegan un papel crucial.

2.6. La organización espacial de los agentes TMC: los clústeres logísticos

En completa relación con el punto anterior, la actividad del transporte se organiza espacialmente siguiendo pautas que obedecen a una lógica de búsqueda de mayores ventajas y máximo

beneficio (Sheffi, 2010). Por ello, la localización estratégica de las actividades económicas y el análisis de las ventajas que genera su aglomeración en espacios que reúnen unas características determinadas ha sido siempre un tema central para la geografía económica (Méndez, 1997; Frenken y Boschma, 2015; Rodrigue *et al.*, 2017). Desde que Marshall (1920) explorara los beneficios derivados de la proximidad geográfica de empresas que pertenecen a un mismo sector o a una misma cadena de suministro, las ventajas que ofrece la vecindad empresarial han sido analizadas en diferentes ámbitos de actividad económica. A situaciones ventajosas como el intercambio de conocimiento, la especialización eficiente de proveedores y el desarrollo de entornos locales con mano de obra especializada (Sheffi, 2010), pueden añadirse otras externalidades ligadas a las economías de aglomeración, como la dotación de medios y el acceso a mercados locales (Rosenthal y Strange, 2004). Sin embargo, la introducción de un marco conceptual para el análisis de clústeres provisto por el economista Michael Porter (1998; 2000) situó a la investigación en entornos geográficos dinámicos, donde las empresas compiten y se complementan entre sí al tiempo que cooperan con instituciones locales para generar mayores ventajas y riqueza (Chhetri *et al.*, 2014), incrementando así su productividad, su ritmo de innovación y estimulando la creación de nuevas empresas (Sheffi, 2010).

2.6.1. El carácter espacial de los clústeres

Un clúster es, pues, un concepto puramente geográfico (Paelinck, 2004) que comúnmente se relaciona en la literatura con procesos de aglomeración o concentración espacial (Kumar *et al.*, 2016). De acuerdo con Sheffi (2013), el éxito de los clústeres se debe a dos modos principales de interrelación entre los agentes o empresas que se localizan en ellos: la interrelación vertical en los clústeres conecta empresas que mantienen relaciones comerciales (Sheffi, 2013), donde las empresas que se trasladan a ellos buscan obtener ventajas de las economías de escala y aglomeración (Chhetri *et al.*, 2014), y la interacción horizontal, que tiene lugar entre empresas del mismo segmento de producción (Sheffi, 2013) que colaboran en su desempeño tratando de identificar y aprovechar oportunidades favorables de negocio (Crujissen, 2007).

Todas estas circunstancias favorables pueden trasladarse a la concentración espacial de empresas logísticas, entendiendo el concepto de logística como el proceso organizativo y operacional que trata de optimizar el flujo de materiales y provisiones hacia un cliente, y que extiende su lógica al resto de proveedores e incluso al cliente final (Christopher, 2010), promoviendo de tal modo dinámicas de asociación entre ellos (Hesse y Rodrigue, 2004). Dicho proceso ha aumentado en complejidad al ir incorporando cada vez más tareas organizativas, como demuestra la proliferación de ofertas de servicios logísticos integrados third-party-logistics (Selviaridis y Spring, 2007) y más recientemente fourth-party-logistics (Saglietto, 2013). En esta línea, la aparición de economías de aglomeración y sinergias productivas entre este tipo de actividades logísticas está estrechamente ligada a su cercanía espacial y organizacional, tanto a nivel regional como a escala local (van den Heuvel *et al.*, 2012).

De tal modo, la concentración espacial de empresas logísticas en estrecha interacción es lo que denominamos clústeres logísticos (Hylton y Ross, 2017). Más específicamente, Rivera (2014) los define como “la concentración geográfica de empresas proveedoras de servicios logísticos, tales

como third-party-logistics (3PL-s), transportistas, proveedores de almacenaje o transitarios” (p. 19). Además, añade, en estos entornos pueden situarse otros tipos de servicios como empresas de empaquetado o talleres de mantenimiento. Así, mediante el intercambio de capacidades estas empresas buscan mejorar la atención a sus clientes (Sheffi, 2010). Abushaikha (2018), conforme a la definición original de clúster aportada por Porter (1998), destaca el papel de las instituciones locales en la dinámica de los clústeres logísticos y su relación con las empresas que en ellos operan. Esta necesidad de cooperación entre diferentes tipos de agentes es igualmente remarcada por van den Heuvel *et al.* (2013).

2.6.2. Colaboración entre empresas dentro de los clústeres

Por otro lado, la clusterización de actividades del transporte deriva en importantes ventajas potenciales para las empresas que se localizan en estos agrupamientos. Así, el intercambio de conocimiento y de fuerza de trabajo, así como la compartición de medios de transporte y almacenaje se cuentan entre las más reseñables (Hylton y Ross, 2017). Por su parte, Sheffi (2012), refiriéndose a ventajas de clústeres industriales extensibles a las concentraciones de empresas logísticas, centra las ventajas en aspectos tales como la confianza entre agentes que comparten experiencias vitales similares, el intercambio tácito de conocimiento en entornos informales de comunicación, la colaboración entre agentes que presentan las mismas necesidades y preocupaciones, el acceso a formación académica e investigación relacionada con las actividades dominantes en el clúster y, finalmente, la atracción a estos entornos de una base de proveedores que les dota de capacidad de interacción positiva con sus clientes. Boschma (2005), por su parte, no restringe el efecto beneficioso de la proximidad al aspecto puramente espacial, sino que analiza el impacto de cinco dimensiones de esta (cognitiva, organizacional, social, institucional y geográfica), los cuales intervienen en el aprendizaje interactivo y la innovación.

Además de estas ventajas, Rivera (2014) identifica cuatro beneficios básicos derivados de la concentración de empresas en clústeres logísticos a partir de 62 entrevistas dirigidas a actores logísticos o relacionados con el sector. El primero de estos beneficios es la colaboración operativa entre agentes, abierta en momentos puntuales a ámbitos tales como el almacenaje, equipamientos o personal, que crecen en la misma medida que lo hace el clúster, alimentando de tal modo una retroalimentación positiva entre las empresas. A continuación, la localización en los clústeres de servicios con valor añadido, como el procesamiento de las mercancías que se encuentran en los almacenes o los servicios de reparación y mantenimiento. En tercer lugar, los clústeres logísticos brindan oportunidades de promoción a empleados/as con aptitudes basadas en la acumulación de experiencia en el sector. Por último, la creación de empleo en diferentes niveles de actividad sustentada, por un lado, en las políticas públicas de promoción de este tipo de entornos dinámicos de actividad y, por otro, en la diversidad de empleos dependientes de la actividad logística. De tal modo, puede considerarse que el empleo generado por los clústeres logísticos goza de cierta estabilidad y además no es “deslocalizable”, ya que siempre existe una necesidad de transporte local.

Entendida como uno de sus activos más significativos, la colaboración entre empresas en un clúster logístico cuenta, sin embargo, con un escaso número de estudios empíricos sobre sus

mecanismos de interacción (van den Heuvel, 2013; Abushaikha, 2018). En este sentido, Sheffi *et al.* (2019), tras una detallada revisión de la literatura especializada, determinan que, si bien existe evidencia de que los clústeres logísticos son capaces de estimular el establecimiento de relaciones de colaboración operativa horizontal entre empresas, no se ha profundizado lo suficiente en la explicación de dicho proceso de interacción.

A pesar de ello, trabajos recientes han abordado este tema desde diferentes enfoques y metodologías de análisis. Empleando datos recabados a partir de un cuestionario dirigido a empresas del clúster logístico de Zaragoza, Rivera (2014) se plantea el papel que juegan la localización y el tamaño de las empresas en el establecimiento de relaciones de colaboración mediante el empleo de un modelo estructural de ecuaciones. A raíz de las respuestas de las empresas encuestadas, tanto logísticas como otras que prestan servicios a este sector, la autora llega a la conclusión de que estas mantienen mayores niveles de colaboración si son de mayor tamaño y están localizadas en clústeres. De tal modo, el tamaño y la localización funcionan como variables predictoras significativas. Por su parte, Beckers *et al.* (2018) y Beckers (2019) utilizan datos correspondientes a facturas entre clientes y proveedores de transporte para identificar la existencia de relaciones contractuales de colaboración y así detectar la presencia de comunidades o entornos de gran densidad de relaciones colaborativas. Para ello, emplean técnicas de análisis de redes sociales, calculando para cada agente de la red coeficientes de participación, tanto dentro de su propio entorno como con otros entornos (Guimerà y Amaral, 2005). Por último, Sheffi *et al.* (2019) describen los mecanismos que rigen la colaboración horizontal dentro de los clústeres logísticos a partir de una exhaustiva revisión de la literatura académica. En su trabajo demuestran que los clústeres logísticos favorecen el surgimiento de colaboraciones que generan un valor conjunto entre empresas con intereses comunes. Además, identifican otros tres mecanismos de colaboración dentro de estas aglomeraciones de empresas, como son la colaboración informal, generada a partir de la interacción social y el fomento de la confianza entre los colaboradores, la colaboración formal, consolidada a través de la firma de contratos, y el intercambio de información gracias a la posibilidad de contactos “cara a cara”, tanto formales como informales, que facilitan la transferencia de conocimiento.

2.6.3. El aprendizaje y la transferencia de conocimiento en los clústeres

En el sentido de lo expuesto anteriormente, tomando los trabajos pioneros de Marshall (1920) y Porter (1998) como fundamento teórico y apoyándose en estudios empíricos (Eriksson, 2011; Chhetri *et al.*, 2014; Rivera, 2014), la literatura sostiene mayoritariamente la idea de que la concentración espacial de empresas facilita el intercambio de conocimiento. Sin embargo, la mera proximidad geográfica no garantiza el desencadenamiento de este fenómeno, sino que es la inmersión de los agentes en redes locales la que permite el aprendizaje colectivo y la difusión del conocimiento (Giuliani, 2007). En esta misma línea, Malmberg (2003) afirma que las interacciones entre agentes en un entorno local permiten mucha mayor flexibilidad que interacciones a escala global, si bien la proximidad relacional no tiene por qué derivarse necesariamente de la proximidad geográfica. Igualmente, Phelps *et al.* (2012) insisten en la “importancia de examinar tanto las relaciones formales como las informales en diferentes niveles

de análisis para comprender mejor cómo las redes de conocimiento influyen en los resultados del conocimiento organizacional” (p. 1131).

De tal modo, surgen preguntas acerca de qué factores intervienen en la difusión del conocimiento (Giuliani y Bell, 2005) o cuál es su dinámica interna (Balland *et al.*, 2014). En relación con la primera, Giuliani (2007) centra su investigación en el papel jugado por las empresas en las redes de conocimiento e innovación en el interior de los clústeres. Lejos de ser aleatorio, la autora concluye que el conocimiento se difunde de manera selectiva e intencional, existiendo en el seno de los clústeres agentes con diferentes niveles de acumulación de conocimiento y, por tanto, con roles de diversa trascendencia, cuyo desigual efecto en la cohesión de las redes de conocimiento plantea el debate sobre la idoneidad de considerar la proximidad geográfica y la solidez de las redes de empresas como factores determinantes en la transferencia de conocimiento.

Por otro lado, la visión estática de la mayor parte de los estudios empíricos limita la capacidad de comprender el comportamiento del conocimiento respecto del factor proximidad (Balland *et al.*, 2014). Así, Notteboom (2004) plantea una evolución de los clústeres desde una etapa de exploración a otra de explotación, donde las redes centrales de transferencia de innovación y conocimiento puedan requerir una ampliación de los clústeres centrales hacia redes periféricas, y en los que los lazos de interacción pasarían diferentes niveles de consolidación y estabilidad de la red. No lejos de estas posiciones, Maskell *et al.* (2006) diferencian entre clústeres permanentes y clústeres temporales en relación con la transferencia de conocimiento, arguyendo que la distancia no es necesariamente limitadora de la transferencia de información, si bien las aglomeraciones permanentes proporcionan mejores condiciones para la aplicación de nuevas ideas e innovaciones y la transmisión boca a boca, frente a las transmisiones realizadas fuera de los clústeres dependientes de las tecnologías de la información y comunicación.

El modo en que las empresas se relacionan es, por lo tanto, determinante en la difusión de conocimiento. Así, de acuerdo con Coccia (2007), los canales o vínculos entre actores que activan mecanismos de transferencia de conocimiento pueden realizarse a través de contactos directos y explícitos como son las contrataciones. En este sentido, Blumenberg *et al.* (2009) sostienen que el intercambio de conocimiento, tanto explícito como tácito, influye muy positivamente en el desempeño de las relaciones de subcontratación. En resumen, pues, y en línea de todas estas posiciones, el establecimiento de relaciones contractuales de colaboración que se afianzan y se amplían evolucionando espacialmente, frente a la simple existencia de agrupaciones geográficas de empresas, se revela como uno de los principales factores que influyen en la transferencia de conocimiento dentro de los clústeres logísticos, y será analizado con detalle en los capítulos siguientes.

3. Empleo de encuestas en Geografía del transporte

3.1. La necesidad de obtener datos individualizados

Desde hace décadas la Geografía utiliza el método de encuestas para conocer y analizar los comportamientos y actitudes tanto de individuos como de colectivos y poblaciones extensas en

relación con la percepción y el uso que estos hacen del espacio. En este sentido, John W. Morris destacaba ya en 1950 el método de encuestas como particularmente valioso para la Geografía Humana por su capacidad de obtener una enorme cantidad de datos cualitativos en relación con las interacciones entre el hombre, sus actividades y el territorio, algo que difícilmente podía ser obtenido por otros medios. Su valor es todavía mayor cuando lo que se pretende analizar es la complejidad de las interacciones sociales basadas en actitudes y posicionamientos individuales (McLafferty, 2010). Así, de acuerdo con Grosvenor (1998), los datos cualitativos ofrecen una gran profundidad y amplitud, y la solidez de su cuantificación posterior depende de la calidad con la que se elaboren los cuestionarios, que deben revelar las actitudes y percepciones reales que tienen los encuestados sobre el objeto de estudio.

Igualmente influirá en el resultado final la estrategia de encuesta escogida, así como la metodología empleada en el procesamiento de los datos. En este sentido, según Secor (2010), partiendo del hecho de que los procedimientos del muestreo determinan en gran medida la fiabilidad de los resultados, las encuestas pueden no solo revelar las características de los sujetos de investigación sino también hallazgos estadísticamente válidos. En efecto, una orientación de las cuestiones planteadas hacia supuestos o situaciones hipotéticas en las que interviene la toma de decisiones de los encuestados puede generar ámbitos de respuesta inesperados. A este respecto, Ortúzar y Willumsen (2011) distinguen entre las respuestas que se refieren a las decisiones observadas en el encuestado o preferencias reveladas (PR) y aquellas donde las elecciones son hipotéticas o deseadas, también conocidas como preferencias declaradas (PD), si bien ambos tipos de respuesta pueden ser utilizados de manera complementaria en una encuesta, en lo que Louviere *et al.* (2000) denominan *enriquecimiento de datos*.

Por otro lado, los métodos de encuesta son diversos, desde la entrevista personal hasta los cuestionarios web, pasando por las encuestas telefónicas o las entrevistas realizadas cara a cara (McLafferty, 2010). En lo que respecta a la investigación geográfica, su evolución ha sido trepidante en los últimos tiempos. A principios de los años noventa, Feitelson (1991) abogaba en la revista *The Professional Geographer* por la mayor fiabilidad y menor coste de las encuestas enviadas por correo postal, mientras que, solo cinco años después, O'Lear (1996) ponía de manifiesto en la misma publicación el potencial metodológico de las encuestas a través de e-mail para el desarrollo de nuevos estudios geográficos.

En efecto, desde principios de los años 80, gracias al desarrollo de las encuestas asistidas por ordenador (CAI), y especialmente a partir de los últimos años 90, por medio de las encuestas a través de la red, las tecnologías de la información y la comunicación han revolucionado en las últimas décadas la recolección de datos en las ciencias sociales. Este método cuenta con importantes ventajas respecto a los métodos tradicionales que inciden significativamente en la relación calidad-coste de los resultados obtenidos (Bethlehem y Biffignandi, 2011), si bien las tasas de respuesta a cuestionarios web son a menudo menores que las obtenidas por otros métodos (Millar y Dillman, 2011; Sánchez-Fernández *et al.*, 2012) y cuestiones como la representatividad de la muestra, la calidad de los datos, el anonimato de los encuestados o ciertas incompatibilidades tecnológicas pueden suponer dificultades para la investigación (Alsnih, 2006).

Una cualidad definitoria de las encuestas web es la rapidez con la que se obtienen los resultados y la posibilidad de ser procesados inmediatamente. No obstante, Couper (2011) advierte de la necesidad de tener en cuenta los errores que este método puede producir en la inferencia estadística por el sesgo de no observación, fundamentalmente en relación con tres aspectos: la muestra, la cobertura y la falta de respuesta. El primer aspecto se refiere al modo de reclutar la población que ha de ser encuestada, por ejemplo, a través de invitaciones a visitantes a portales de internet o mediante listas de miembros de poblaciones determinadas. El sesgo debido a la cobertura de la encuesta se debe a dos factores: la proporción de población sin acceso a internet y la diferencia entre los que tienen acceso y los que no. Por último, el sesgo producido por la falta de respuestas, como en el aspecto anterior, responde a la tasa de no-respuesta y las diferencia entre respondedores y no respondedores. Además de estos sesgos debidos a la no observación de respuestas, existen problemas derivados del tratamiento y medición de los datos observados. Richardson y Lawton (2013), en su trabajo sobre la aplicación de las encuestas web al ámbito del transporte, enumeran las ventajas y desventajas de las encuestas web en relación con los tipos de errores mencionados, tal y como puede verse en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Ventajas y desventajas de las encuestas web (adaptado de Richardson y Lawton, 2013).

<i>Errores</i>	<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
Muestreo	Más datos a menor coste	No hay desventajas específicas
Cobertura	Depende del modo de acceso a la población potencial. El muestro aleatorio es el mejor.	Disponibilidad limitada de acceso a internet.
		Sistemas de seguridad y anti-virus pueden bloquear a potenciales respondedores
		Sesgo de algunos paneles de encuesta
Falta de respuesta	Responsabilidad limitada en las respuestas	Posibilidad de abandono de la encuesta durante la misma
	Temas de interés para determinados grupos	Bajas tasas de respuesta
	Autogestión del tiempo de respuesta	El procedimiento online puede generar discontinuidad en las respuestas
		La identificación puede desanimar a responder
Medición de resultados	Preguntas contextualizadas	Problemas de diseño de la encuesta
	Utilización de herramientas online para mapear las respuestas	Problemas para instruir a los respondedores en el manejo del cuestionario
	Corrección online de errores	

La cuestión del sesgo ha sido ampliamente debatida en las investigaciones sociales en las que se trata de analizar la subjetividad respecto a un tema o fenómeno concreto. Para algunos autores el método Q, mediante el cual se pide al encuestado que clasifique una serie determinada de enunciados sobre un tema concreto según su importancia siempre de acuerdo con su punto de vista, consigue resultados más fiables que los métodos R estándar (encuestas, escalas de Likert, entrevistas guiadas, etc...) al reducir el sesgo del investigador gracias a la consideración del propio marco de referencia del encuestado (Robbins y Krueger, 2000; Eden, Donaldson y Walker, 2005;

Danielson, 2009; Danielson *et al.*, 2012). Adicionalmente, métodos propios de R como las escalas de Likert ofrecen resultados numéricos más difíciles de interpretar que en Q (Ho, 2016), aunque estudios comparativos entre los dos métodos como el de ten Klooster *et al.* (2008) concluyen que para grandes poblaciones las escalas de Likert siguen siendo probablemente la mejor opción. Sin embargo, tal y como afirma Danielson (2009), es posible combinar las fortalezas de ambos métodos, diseñando un estudio basado en Q para posteriormente utilizar herramientas de medición propias de R, más ventajosas para analizar grandes volúmenes de datos estadísticos (Eyvindson *et al.*, 2014).

Finalmente, desde un enfoque de agentes la trascendencia del método de encuestas en la investigación geográfica es enorme, ya que permite caracterizar y georreferenciar a los actores desagregadamente, y así poder comprender e interpretar el impacto de las acciones individuales en el tiempo y en el espacio (Crooks *et al.*, 2019).

3.2. Las encuestas en las investigaciones sobre transporte de mercancías

Existe una gran variedad de ámbitos de análisis dentro del estudio de los sistemas de transporte que recurren al método de encuestas para acceder a volúmenes de información que no podrían hacerse visibles de otro modo. Por ejemplo, van Schinjdell y Dinwoodie (2000) y Karis y Dinwoodie (2005), en sendas investigaciones elaboran un cuestionario dirigido a las empresas de transporte holandesas para tratar de buscar en el desarrollo de la multimodalidad soluciones a las congestiones provocadas por el tráfico rodado de mercancías, en el primer caso, y para estudiar el impacto de la directiva europea de 2002 sobre regulación de los tiempos de conducción en dichas empresas, en el segundo. Gavaud *et al.* (2011) analizan los resultados de la encuesta ECHO (Guilbault, 2008) realizada a casi tres mil expedidores de mercancías en Francia en el año 2004 en la que se identifican más de nueve mil setecientas cadenas de transporte, en las cuales tomaron parte hasta veintisiete mil agentes en alguno de sus tramos. En concreto se centran en las operaciones de transporte por carretera, clasificando los envíos tanto en función de la cantidad y tipo de agentes intervinientes como en relación con las prestaciones dadas por los proveedores de servicios de transporte. En ambos casos estos datos se cruzan con los relativos al peso de las mercancías transportadas permitiendo singularizar las diferentes clases de subcontrataciones y estableciendo una relación directa entre el tamaño de los envíos y el control que las compañías ejercen sobre su tránsito. La enorme base de datos generada por esta misma encuesta sirvió a Ha y Combes (2016) para formular un modelo de generación y atracción de viajes.

Allen *et al.* (2012), por su parte, realizan una amplia revisión de métodos y técnicas de encuesta sobre estudios de transporte urbano de mercancías desarrollados en los últimos cincuenta años. De entre los 162 estudios analizados procedentes de 18 países diferentes, los autores extraen hasta doce técnicas de encuesta empleadas dependiendo del objeto y enfoque de análisis. Las técnicas más utilizadas en dichos estudios son las encuestas a establecimientos que envían o reciben transportes, las encuestas a operadores de transporte mercancías, las de observación de vehículos, las encuestas a conductores y las entrevistas en carretera. Los métodos de encuesta observados se concretan por su parte en tres: i) Las entrevistas cara a cara y encuestas

telefónicas, ii) las encuestas autocompletadas y iii) las encuestas autocompletadas con contacto inicial y recordatorio telefónico o en persona. Todos ellos muestran ventajas y desventajas en relación con aspectos tales como la carestía del estudio, la tasa de respuesta, la amplitud geográfica del área analizada o la profundidad de las respuestas obtenidas, si bien la encuesta por entrevistas parece ser el método que arroja mejores resultados en cuanto a calidad y cantidad.

En relación con la investigación de sistemas de planificación del transporte conformados por agentes individuales que operan dentro de organizaciones y empresas, las encuestas pueden arrojar mucha luz sobre el funcionamiento y la dinámica interna a diferentes escalas de actuación. En su amplio trabajo sobre la aplicación de encuestas a los estudios sobre transporte, Richardson *et al.* (1995) hacen referencia a la necesaria búsqueda de patrones que respondan a la toma de decisiones de los agentes respecto a cómo, dónde y por qué se producen las actividades de transporte (figura 2.6). De tal modo, esta toma de decisiones estará influida por multitud de factores relacionados tanto con su entorno laboral y profesional como con aspectos socioeconómicos y geográficos.

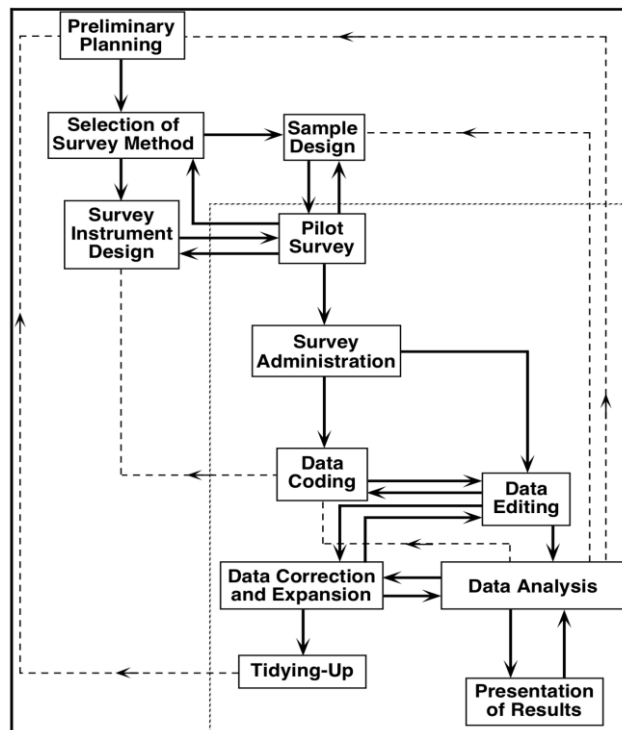


Figura 2.6. Procedimiento para la elaboración de una encuesta de transporte (Richardson *et al.*, 1995, p. 5).

Mención aparte merecen las encuestas centradas en extraer indicadores que permitan medir la interacción entre agentes. En trabajos como el de Huynh *et al.* (2006) se subraya la importancia de la confianza entre agentes para facilitar las interacciones en situaciones en las que no todos

ellos manejan el mismo tipo de información. Este componente se divide en individual, cuando se evalúa la experiencia propia de un agente respecto a otro, y social, cuando lo que se mide es la reputación de un agente en su entorno social. Para que las medidas de confianza y reputación puedan ser aplicadas a un MBA, estas deben proceder de varias fuentes, los agentes deben poder evaluar su propio nivel de confianza y las respuestas deben ser robustas. Los autores proponen para ello cuatro indicadores: *i*) Confianza de interacción (alude a experiencias pasadas), *ii*) confianza basada en roles, *iii*) reputación de testigos y *iv*) reputación certificada. En el mismo sentido Carter *et al.* (2002) consideran la reputación en relación con los roles que la sociedad asigna a cada agente. Wang y Singh (2006) por su parte, consideran que la confianza, desconfianza o incertidumbre entre agentes puede ser medida a través de evidencias que prueben si el comportamiento de otro agente es bueno, basándose en el dinamismo y la composición o conectividad como requisitos fundamentales de los sistemas multi-agente. Una importante acotación planteada por Herzig *et al.* (2010) reside en la diferenciación entre confianza inmediata y confianza disposicional, siendo la primera la confianza de *a* en *b* para realizar un cometido aquí y ahora, y la segunda la confianza de *a* en que *b* estará disponible y será capaz de llevar a cabo una potencial tarea en el futuro. Por su parte, en la clasificación propuesta por Pinyol y Sabater-Mir (2013) se observan cuatro dimensiones que intervienen en los modelos de confianza: *i*) la confianza o no en un agente, que origina un proceso de razonamiento del que se deriva una toma de decisión, *ii*) la dimensión cognitiva, que consigue explicar los razonamientos y decisiones desde la óptica emocional y motivacional, *iii*) la dimensión procedimental, que explica la manera en que se producen y se agregan las evaluaciones de los agentes, y *iv*) dimensión general, donde diferencian aquellos modelos generalistas de otros desarrollados en ámbitos específicos.

Finalmente, otro tipo de encuestas son aquellas organizadas por instituciones públicas de la Unión Europea dedicadas al control, regulación y fomento de la actividad del transporte de mercancías, en virtud del reglamento europeo 1172/98 *sobre la relación estadística de los transportes de mercancías por carretera* (Unión Europea, 1998). En Friedrich *et al.* (2003), por ejemplo, se recoge la metodología aplicada por el Kraftfahrtbundesamt (KBA) para el registro de las operaciones de transporte de mercancías por carretera en vehículos a partir de 3,5 MMA durante media semana. Los datos solicitados hacen referencia al tipo y volumen de mercancías transportadas, así como al origen y destino del transporte. En España, la Encuesta Permanente de Transporte de Mercancías por Carretera (EPTMC) tiene como objetivo investigar las operaciones de transporte para medir el nivel de actividad del sector, y además de información sobre las mercancías transportadas, recoge además datos relativos a los precios del transporte en diferentes modalidades y las características de los vehículos. La encuesta se realiza preferentemente a través de correo postal, si bien también es posible realizarla o, en caso de error, corregirla por vía telefónica, fax, correo electrónico o internet. Sin embargo, a pesar de los numerosos controles para limitar el sesgo de falta de respuesta y pese a tratarse de una encuesta oficial de obligada cumplimentación para las empresas que la reciben, en 2018 la tasa de respuesta no superó el 72,6% (Ministerio de Fomento, 2019). Este hecho puede servir como referencia para entender las a menudo mediocres tasas de respuesta en encuestas promovidas por entidades universitarias o de carácter privado.

3.3. Empleo de cuestionarios en la investigación de clústeres logísticos

La investigación acerca de los modos de colaboración entre empresas en el ámbito de los clústeres logísticos debe superar no pocas dificultades en la fase de recolección de datos debido a que, en la mayoría de los casos, se recurre a las propias empresas del sector para obtener este tipo de informaciones. Así, uno de los principales problemas a superar son las reticencias de algunas empresas a la hora de conceder entrevistas o cumplimentar cuestionarios por carecer de disponibilidad de tiempo. En otros casos, la falta de interés o la falta de confianza en la utilidad de la encuesta desaniman a los encuestados. Además, la delicadeza de las cuestiones que se abordan en estos estudios provoca que los encuestados muestren reticencias o directamente declinen contestar a los cuestionarios por razones de confidencialidad (Salas-Peña, 2021). De cualquier manera, si bien la literatura no es muy abundante, sí ofrece ejemplos significativos de investigaciones sobre clústeres logísticos fundamentadas en la información aportada por los agentes principales que operan en los mismos, es decir, las empresas.

Un método recurrente en la literatura es el uso de entrevistas con gerentes o personas con altos cargos de gestión en empresas logísticas. Así, para analizar el efecto del agrupamiento espacial en la competitividad entre empresas, Pekkarinen (2005) realiza entrevistas tanto a empresas logísticas como a las instituciones responsables de las políticas públicas de transporte en el Noroeste de Rusia, en la frontera con Finlandia. Sheffi (2012), por su parte, investiga el impacto del agrupamiento espacial en la colaboración entre empresas, tanto a nivel de servicios como de intercambio de conocimiento. Asimismo, Rivera (2014) y Rivera *et al.* (2016) emplean el método de entrevistas para identificar los beneficios derivados de la localización de empresas en clústeres logísticos. La recogida de información, realizada en varios clústeres logísticos de Europa, Asia y América, sigue las pautas de muestreo teórico de acuerdo con el método de Strauss y Corbin (1990). Los autores emplean en primer lugar entrevistas abiertas, en las que establecen categorías conceptuales que serán consolidadas en una segunda fase mediante entrevistas semiestructuradas.

Por otro lado, otras investigaciones han explorado el efecto de la proximidad en la creación de colaboraciones a través del diseño de cuestionarios. En el caso de van den Heuvel *et al.* (2012), el método empleado fue un cuestionario web contestado por los gerentes de 507 empresas logísticas situadas en los Países Bajos, de un total de 3991 establecimientos. Con el fin de determinar en qué medida pueden obtenerse ventajas de la concentración, las empresas fueron clasificadas en función de si se encontraban agrupadas en clústeres logísticos o no, así como en función de su tamaño relativo al número de empleados. El resultado mostró que las empresas localizadas en clústeres presentan una mayor satisfacción con su emplazamiento que aquellas diseminadas, debido principalmente a las externalidades derivadas del agrupamiento, como el acceso a servicios y la colaboración con otras empresas.

Finalmente, otro ejemplo de cuestionario podemos encontrarlo en Rivera (2014), quien diseña una encuesta dirigida a 1790 empresas con diferentes funciones dentro del ámbito operacional y geográfico del clúster logístico de Zaragoza, con el fin de determinar el impacto del tamaño de las empresas y de la localización de estas en clústeres logísticos en los niveles de colaboración y generación de valor añadido a su actividad. La encuesta, distribuida entre empresas

manufactureras, empresas de distribución o mayoristas, proveedores de servicios de transporte y servicios de consultoría y comunicación e información, obtuvo una tasa de respuestas válidas del 31%, que se rebajó al 25% tras eliminar los cuestionarios con respuestas incompletas o poco fiables.

3.4. La investigación de las cadenas de subcontratación a través de encuestas

Si la investigación acerca de los clústeres logísticos cuenta con un escaso número de estudios basados en la información aportada por las empresas, la atención prestada por la literatura a los sistemas de colaboración contractual o subcontratación entre empresas de transporte de mercancías es aún menor. De acuerdo con Albers y Brekalo (2015), las encuestas son muy necesarias para conocer los factores que intervienen en la formalización de relaciones horizontales entre empresas y, de tal modo, identificar los patrones que mueven a estas empresas a establecer colaboraciones o incluso alianzas entre ellas.

Algunos estudios disponibles en la literatura se aproximan a la cuestión desde el enfoque de las empresas manufactureras que adquieren servicios logísticos. Es el caso de Hsiao *et al.* (2010), quienes mediante una encuesta online dirigida tanto a empresas de los Países Bajos como de Taiwan tratan de analizar el proceso de decisión que estas siguen a la hora de subcontratar servicios de transporte en diferentes niveles de desempeño. Zailani *et al.* (2015), por su parte, profundizan en la cuestión diseñando una encuesta para analizar los factores que influyen a las empresas del sector de la electrónica de Malasia ante la decisión de externalizar servicios como la distribución, el almacenamiento, el manipulado y empaquetado o el inventario de sus productos.

Por otro lado, centrándonos únicamente en los criterios que las empresas observan en su proceso de selección de PST, Solakivi y Ojala (2017) analizan un conjunto de 23 encuestas realizadas desde principios de los años setenta del pasado siglo, la mayoría de las cuales parte del enfoque del expedidor de la mercancía, mientras que solo diez incluyen la perspectiva de los transportistas. Otro dato llamativo de esta revisión, al margen del reducido número de estudios de este tipo en un lapso tan prolongado, es el relativo descenso de publicaciones en las últimas dos décadas, registrándose un único trabajo en la segunda década del siglo XXI (Williams *et al.*, 2013). Finalmente, a partir de las informaciones recogidas los autores diseñan un método de encuesta agrupando los criterios de selección en cinco categorías: coste, calidad del servicio, oferta de servicios, comunicación con los clientes y aspectos medioambientales (Solakivi y Ojala, 2017).

Respecto al tipo de agentes participantes, es muy significativa la falta de encuestas que aborden el papel de los transportistas por cuenta propia en las cadenas de subcontratación (Stojanović, 2017). Las encuestas realizadas por los ministerios de transporte de los países miembros de la UE no son capaces por el momento de aportar suficiente información acerca de las estructuras de colaboración que se originan entre diferentes tipos de agentes de transporte o del rol que asume cada de ellos. Para tratar de salvar esta falta de datos, en Salas-Peña (2021) se plantea una encuesta donde se pretende obtener información amplia sobre la gestión y transferencia de información y conocimiento entre los diferentes agentes implicados en la práctica operativa de

los sistemas TMC, cuyo flujo se articula a través de los procesos de toma de decisiones que tienen lugar alrededor de las operaciones de transporte. La encuesta no busca únicamente indagar acerca de los modos habituales en que los agentes que toman parte en la estructura operativa del TMC actúan y se relacionan, sino también sobre sus interacciones cuando se ven obligados a tomar decisiones que pueden conllevar el surgimiento de nuevos escenarios. De tal modo, el encadenamiento de decisiones muestra una serie de propiedades que se repiten en cada operación de transporte. Estas propiedades son las siguientes:

1) *Conectividad limitada*. La estructura en cadena permite la transmisión de órdenes e información de un eslabón a otros, siendo poco habitual la transmisión de uno a varios, de varios a uno o de varios entre varios.

2) *Jerarquía*. Desde el demandante del servicio de transporte hasta el conductor del vehículo la cadena decrece en rango jerárquico obedeciendo a la lógica de la subcontratación.

3) *Capacidad de decisión*. Se presupone a cada eslabón o agente un margen de autonomía en la toma de decisiones limitado por el riesgo de fracaso de la operación y por su compromiso con el resto de agentes.

4) *Flujo de información y conocimiento*. Cada eslabón genera una cantidad C_i de información propia y recibe otra clase de información de sus eslabones inmediatos, creándose de tal modo un proceso de difusión a lo largo de toda la estructura.

5) *Falta de cohesión espacial*. El mayor agrupamiento espacial de actores y empresas no es proporcional a la colaboración y transferencia de conocimiento entre similares.

En consecuencia, el núcleo del funcionamiento operativo de la cadena de transportes lo constituyen las decisiones protagonizadas por sus actores, formando entre ellas una cadena de valor cuyo origen se sitúa en la orden de suministro realizada por el destinatario final al expedidor o cargador considerándose finalizada la operación cuando la mercancía está en poder del destinatario o cliente final (Salas-Peña, 2021).

4. Modelos basados en agentes: un nuevo enfoque para el análisis en Geografía del transporte

4.1. La irrupción de los ABM en la Geografía del transporte

El transporte es una actividad con una enorme trascendencia en la lógica espacial de las sociedades humanas a lo largo de la historia, tanto a nivel global, como a nivel regional o local. En los últimos tiempos su estructura tiende a ser observada desde la óptica de la teoría de sistemas, de acuerdo con la cual los elementos compositivos del sistema se relacionan entre sí de manera interdependiente y coordinada y con arreglo a un objetivo común. Sin embargo, a pesar de que dichos componentes, como son los modos de transporte, las infraestructuras, las redes de transporte y comunicación o los flujos de personas, mercancías e información (Rodríguez, 2017), sean claves para analizar los sistemas de transporte, su sola participación no es suficiente

para comprender y explicar la organización, el funcionamiento y la dinámica de estos sistemas, ya que, como recuerda Keeling (2007), el transporte “está inextricablemente entrelazado con la forma en que los humanos interactúan a través de políticas, ideologías y sociedades en el tiempo y el espacio” (p. 217). En consecuencia, la manera en que sus elementos fundamentales se disponen e interactúan con el territorio y los agentes y entes sociales en la unidad de tiempo determinará a su vez el surgimiento de nuevas formas de interacción en función del grado de adaptación o impacto registrado. Los estudios de transporte y movilidad requieren, pues, la toma en consideración de la capacidad de decisión de los individuos que los integran, sus habilidades y capacidad de adaptación al entorno geosocial, la variabilidad de sus comportamientos y el modo en que se relacionan entre sí e interaccionan con el espacio-tiempo.

Esta nueva orientación en las investigaciones sobre sistemas de transporte, en las que el enfoque *bottom-up* focalizado a nivel local e individual parece imponerse al enfoque *top-down*, más próximo a postulados neoclásicos de los que derivan líneas de investigación espacial analíticas y cuantitativas (Goetz *et al.*, 2009), amplía enormemente las posibilidades de acción investigadora de la Geografía del transporte y la movilidad, primero, al acercarla a posiciones ontológicas en las que recuperar la necesaria perspectiva crítica en sus aportaciones científicas y, segundo, al proporcionarle métodos y herramientas de investigación compartidas con otras ciencias sociales y adaptables a los recursos propios de la ciencia geográfica. Uno de esos métodos, ampliamente aceptado en los últimos veinte años tanto en la Geografía como en otros ámbitos académicos, son los modelos basados en agentes o ABM (Macal, 2016). Tal y como manifiesta Brunet (2001), durante los años 60 y 70 el cientifismo neopositivista de la escuela geográfica americana apostó decididamente por la introducción de modelos matemáticos y enfoques cuantitativos, tras los cuales la geografía pudo sentir un cierto estancamiento en la utilización de modelos. Sin embargo, las nuevas tecnologías y una renovada versión de la espacialidad del transporte y la movilidad, en la que los modos y las experiencias son el referente para explicar la construcción y el desarrollo de los lugares (Cidell y Lechtenberg, 2016), abren el camino a la reincorporación de los modelos a los estudios geográficos de la mano de los enfoques basados en agentes.

Paradójicamente, ante tal escenario la Geografía Humana se ha dejado arrastrar durante la última década por un intenso debate sobre la supuesta dificultad de conciliación entre los métodos analíticos y cuantitativos, con los que acostumbradamente se abordan los estudios de transporte, y aquellos cualitativos y críticos utilizados por los geógrafos de la movilidad (Creswell, 2010; Sheller y Urry, 2008) en lugar de tratar de buscar puntos de conexión que en realidad sí existen (Kwan y Schwanen, 2016). A falta de un marco conceptual y metodológico común, la disciplina ha transitado por diferentes vericuetos que no obstante han dado lugar a interesantes líneas de investigación, por ejemplo, en movilidad intraurbana a partir de fuentes de datos digitales (Salas-Olmedo y Rojas-Quezada, 2017), en estudios sobre accesibilidad en redes interregionales (Condeço-Melhorado y Christidis, 2017) y a través de Big Data (Moya-Gómez *et al.*, 2018) o incluso adaptando conceptos de la economía regional al estudio de redes complejas por medio de SIG (García Palomares *et al.*, 2018). Sin embargo, pese a parecer bastante asumible que los sistemas de transporte y su representación y estudio a través de modelos debieran constituir un fecundo campo de investigación para la ciencia geográfica al tratarse de fenómenos intrínsecamente espaciales, no es la Geografía sino disciplinas como la ingeniería civil o la economía las que han provisto de modelos al estudio del transporte durante décadas. Lejos de

motivaciones puramente geográficas, estas investigaciones se centran sobre todo en temas más técnicos como la reducción de costos de las operaciones de transporte (Arencibia *et al.*, 2015; Janic, 2007; Maroto y Zofío, 2015), la optimización de recursos (Alho *et al.*, 2017; de Bok y Tavasszy, 2018; Cavalcante y Roorda, 2013; Sawamoto *et al.*, 2002), el impacto de políticas públicas de transporte (Holmgren *et al.*, 2012; Ramstedt, 2008), la mejora de las cadenas de suministro (Ottemöller y Friedrich, 2017; Schröder *et al.*, 2012;), la simulación de transporte intermodal (Baindur y Viegas, 2011; Elbery *et al.*, 2018; Reis, 2014) o el análisis de flujos (Lammoglia, Josselin y Marilleau, 2015; Mommens *et al.*, 2016), por poner solo algunos ejemplos.

De tal manera, en ausencia de modelos geográficos de transporte, en el punto dos de este documento se recogen propuestas metodológicas variadas, desde los modelos basados en enfoques agregados tradicionales hasta tendencias más recientes como los enfoques basados en la actividad o la microsimulación, dedicándose una especial atención en el siguiente bloque a aquellos modelos de transporte de mercancías que introducen ABM desde el modo más básico hasta los modelos híbridos en combinación con ciertas aplicaciones de SIG en sus diseños. Sin embargo, el objetivo principal de este trabajo no es analizar en detalle la evolución de los modelos de transporte desarrollados por otras disciplinas, sino evidenciar la necesidad de elaborar nuevos modelos de transporte intrínsecamente geográficos aprovechando para ello experiencias, metodologías y enfoques basados en agentes aplicados con éxito en otras investigaciones, para tratar de integrarlos y armonizarlos con los conceptos geográficos de movilidad y transporte. En efecto, los ABM y su acoplamiento con SIG constituyen excelentes oportunidades de conexión de “enfoques y conceptos nuevos o desconocidos con hallazgos, discursos y teorías aceptadas” (Shaw y Hesse, 2010, p. 310) con el fin de fertilizar un terreno común de investigación para ambos campos de la Geografía. Por todo ello, en el punto cuatro se centrará en la necesidad de contar con modelos o referencias en Geografía para descubrir cómo y por qué la realidad “es así” (Brunet, 2001) y en el impacto que los ABM han tenido y siguen teniendo actualmente en el enriquecimiento de la Geografía del transporte y la movilidad, haciendo especial énfasis en las más recientes orientaciones de creación de modelos híbridos geográficos que integran enfoques basados en agentes con gran resolución temporal y espacial por medio de la integración con SIG. Finalmente, se realiza una breve reflexión sobre los nuevos retos que afronta la Geografía en general y la Geografía del transporte y la movilidad en particular en relación con la teoría de la complejidad, las nuevas fuentes digitales de datos o Big Data y los fundamentos ontológicos que deben sustentar el edificio de la ciencia geográfica.

4.2. Modelos de transporte anteriores a los enfoques basados en agentes

Como se menciona en la introducción, la producción de estudios y modelos sobre organización y funcionamiento del transporte, tanto de personas como de mercancías, corresponde en su mayoría a la ingeniería civil y la economía. Abstraídos de conceptualizaciones geográficas, los modelos de transporte han ido evolucionando desde las primeras propuestas, diseñadas con gran despliegue matemático y alta concentración de datos agregados para orientar las políticas públicas a base de anticipar tendencias plausibles, a otros modelos también basados en la demanda, aunque más comprensibles y ajustados a la realidad, en los que se considera la toma de decisiones a nivel individual partiendo de la generación de actividades. El último eslabón de

esta progresión lo encontramos en los modelos basados en agentes, que suponen un paso de enorme valor hacia la modelización efectiva de la complejidad inherente a los sistemas de transporte y, además, proporcionan a la Geografía, ajena hasta ese momento al modelado de transportes, una metodología de análisis y simulación en la que el factor espacial recupera su trascendencia. A continuación, se describen alguno de estos modelos.

4.2.1. Modelos agregados

Uno de los aspectos fundamentales para la conformación de un modelo congruente es que este esté apoyado no solo sobre una sólida base teórica (Ortúzar y Willumsen, 2011), sino también sustentado por la robustez de su propuesta metodológica a partir de la cual puedan formularse hipótesis o preguntas que orienten la investigación hacia el logro de los objetivos planteados. En este sentido, existe en la producción investigativa sobre sistemas de transporte de mercancías una predominancia de aquellos modelos agregados, o de primera generación, orientados a la demanda de servicios en los que lo que se pretende primordialmente es alcanzar una previsión fiable de la demanda futura. No obstante, a pesar de su evidente popularidad entre los analistas, la elección de este tipo de modelos agregados ha sido a menudo cuestionada por su falta de flexibilidad, laxitud en sus resultados y alejamiento de las circunstancias reales que rodean al problema analizado (Ortúzar y Willumsen, 2011; Batty *et al.*, 2012). Este hecho no evita, sin embargo, que en buena parte de la comunidad científica investigadora de los sistemas de transporte persista hoy en día la aceptación de los modelos clásicos basados en datos de viajes atraídos o generados por un área determinada por encima de aquellos modelos centrados en la actividad o en los agentes que los componen.

4.2.1.1. Los modelos basados en viajes.

En efecto, en el modelo clásico de cuatro pasos o Four Step Model (FSM) el viaje es el principal sujeto de análisis a partir de los datos proporcionados por una encuesta poblacional que sirve para crear matrices de pares origen-destino (O-D). De acuerdo con McNally (2000), los modelos basados en FSM se aplican preferentemente a escala regional o subregional y fijan su atención en el impacto que las políticas de transporte a gran escala tienen en el comportamiento de la demanda. Para ello se establece un sistema de actividad A, en el que se determinan las características socioeconómicas y de usos del suelo de la zona de análisis, y un sistema de transporte T representado a través de arcos y nodos cuyos atributos indicarán restricciones, impedancias y otros tipos de valores. Ambos sistemas se consideran en este modelo como elementos exógenos que determinan los procedimientos de demanda y de rendimiento en la búsqueda de equilibrio en los flujos a través de la red, tal y como puede observarse en la figura 2.7.

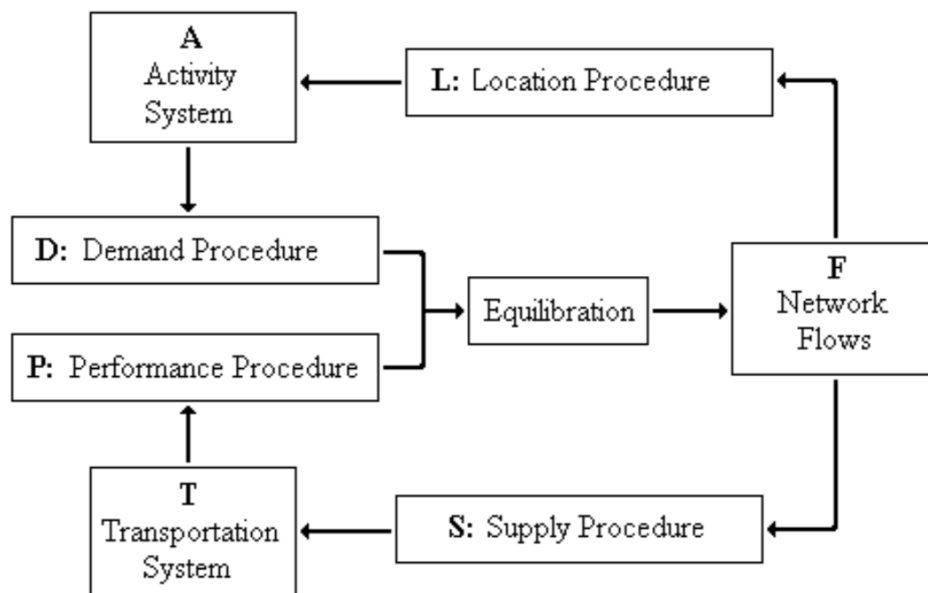


Figura 2.7. Marco de análisis de los sistemas de transporte (McNally, 2000, p. 3).

A partir de este esquema el FSM formula su propuesta secuenciando en cuatro etapas el desarrollo del modelo (ver figura 2.8): en primer lugar, partiendo de los datos recogidos en el área de estudio con referencia en un año base (Ortúzar y Willumsen, 2011), se procede a estimar la *generación de viajes*, como una medida de frecuencia de viajes que incluye tanto los viajes atraídos como los producidos. A continuación, se efectúa la *asignación de viajes* con ayuda de una matriz O-D reflejando la impedancia en función de tiempo/costo. El tercer paso consiste en el *reparto modal* o asignación de los viajes de las tablas O-D según el modo de transporte. Finalmente se produce la *asignación a la red* de todos los viajes, proceso por el cual se distribuyen las rutas que ha de seguir cada viaje partiendo de un supuesto equilibrio de impedancias entre todas las rutas contempladas. En relación con su puesta en práctica hay que decir que estos modelos han sido utilizados fundamentalmente en problemas relacionados con transporte de viajeros dada la complejidad inherente a los sistemas de transporte de mercancías, en los que a diferencia de los primeros existen múltiples tomadores de decisiones, una amplia variedad de tipos de mercancías y cierta opacidad en su funcionamiento interno por razones de confidencialidad empresarial (De Jong *et al.*, 2004).

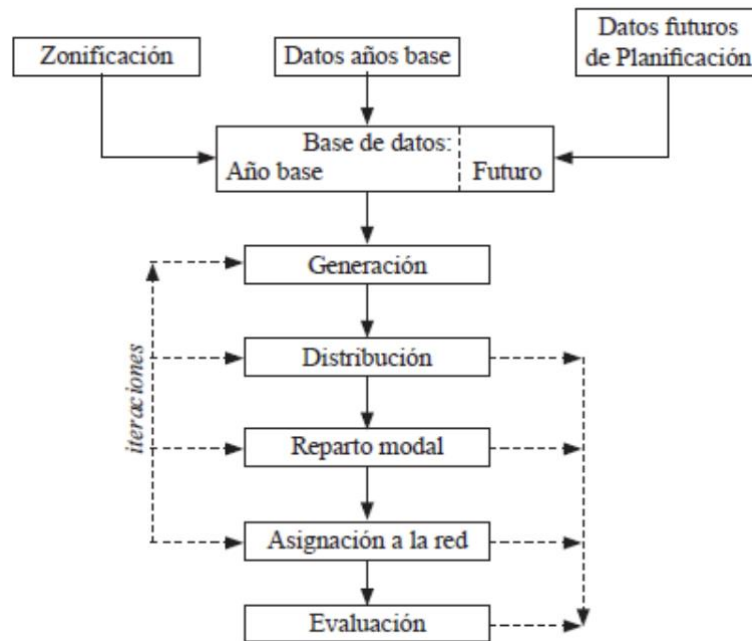


Figura 2.8. FSM: Modelo clásico de transporte en cuatro pasos (Ortúzar y Willumsen, 2011, p. 60).

Con el objeto de facilitar la toma de decisiones en el marco de este tipo de modelos, trabajos como el de Florian *et al.* (1988) sugieren un paradigma donde se emplea un primer marco bidimensional, estableciéndose, por un lado, seis niveles diferentes de procedimientos que interaccionan entre sí y, por otro, tres perspectivas de análisis. En la figura 2.9 se detallan tanto los niveles específicos como los ámbitos en que estos procedimientos pueden ser analizados. En el primer nivel la planificación de la localización se lleva a cabo en relación con la demanda de infraestructuras de transporte, necesidades de servicio y otros componentes exógenos al sistema de transporte, si bien su ejecución se ha realizado normalmente con independencia del modelo FSM (McNally, 2000). Habitualmente los modelos que toman como referencia este marco o bien determinan la localización de la actividad o bien el flujo de demanda, pero no ambas. Sin embargo, existen ejemplos de modelos en los que tanto la localización como la demanda y el rendimiento del sistema de transporte están previamente determinados. En estos casos puede darse lugar a una relación de equilibrio entre estos tres niveles o incluso más amplia. Los procedimientos de rendimiento del sistema y de suministro de servicios muestran en el primer caso la calidad, capacidad y nivel de servicio de la red de transporte, y en el segundo las actitudes tomadas por los proveedores en función de sus objetivos, sus costes y las políticas de transporte. Por último, los procedimientos de minimización de costes y de producción se asocian a aspectos microeconómicos relacionados con los proveedores de transporte (Ortúzar y Willumsen, 2011).

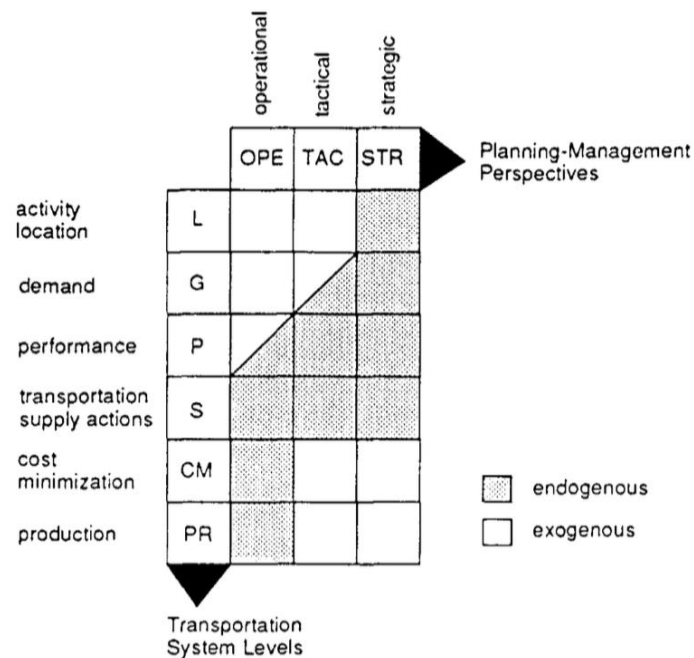


Figura 2.9. Marco bidimensional para la construcción de modelos de transporte (Florian *et al.*, 1988, p. 416).

Por su parte, las perspectivas de análisis han de ser consideradas en relación con la planificación de transporte, entendida esta como un proceso enormemente complejo en el que la gestión y la toma de decisiones en multitud de ámbitos interrelacionados se efectúa en diferentes horizontes de actuación (Florian *et al.*, 1988), y cuya permeabilidad recíproca provoca que una actuación en cualquiera de ellos produzca un impacto de intensidad variable en los otros dos. Así, la *dimensión estratégica* se refiere a un tipo de planificación de tipo agregado que requiere importantes inversiones de recursos y cuyos objetivos se fijan a largo plazo. A un nivel de intervención más detallado, el *horizonte de planificación táctica* aborda cuestiones dirigidas a mejorar el rendimiento del sistema de transporte a medio plazo, tales como la negociación de tarifas, el diseño de enrutamientos y frecuencias de suministro o el mantenimiento de recursos. Finalmente, las actuaciones de gestión y la toma de decisiones a corto plazo y en detalle tiene lugar en el *horizonte operativo*. Además, cabe decir que los ámbitos funcionales de decisión para cada una de estas tres dimensiones no son idénticos, considerando algunos procedimientos como circunstancias dadas o exógenas dependiendo del nivel de análisis. De tal modo, se observa que el nivel estratégico integra los procedimientos más agregados y decisivos en la estructura del sistema de transporte.

4.2.1.2. Ejemplos de trabajos realizados con el modelo FSM.

La literatura académica ofrece una amplia variedad de modelos de transporte agregados orientados a la demanda de viajes. A este respecto De Jong *et al.* (2004) ofrecen varios ejemplos a nivel urbano, regional e internacional, distribuidos en función de su correspondencia a uno o

varios de los pasos de FSM descritos anteriormente, aunque todos ellos se refieren a perspectivas de análisis estratégicas y tácticas, quedando así excluida la perspectiva operativa.

Dentro de los modelos centrados en la producción y atracción de viajes podemos destacar el proyecto ASTRA (Assessment of Transport Strategies) impulsado por la Comisión Europea en el año 2000, cuyo objetivo es analizar y evaluar el impacto de las políticas de transporte comunitarias y sus efectos utilizando para este fin un modelo basado en la dinámica de sistemas. En el primero de los cuatro submódulos de que se compone este modelo, denominado submódulo macroeconómico, se calcula la demanda generada en función de una previsión de aumento del PIB, lo cual genera en el siguiente submódulo una matriz O-D de demanda de carga medida por toneladas. En un tercer submódulo se procede a la asignación modal y a la asignación de red, aunque al tratarse de dinámica de sistemas la amplitud de la zona de estudio y de la perspectiva estratégica de análisis no permiten grandes niveles de detalle en estos dos niveles. Otros modelos como SAMGODS (Swahn, 2001), aplicado en este caso al sistema de transporte nacional sueco, utilizan tablas de insumo-producto para establecer un submodelo de demanda y otro de mercado/red de transporte. A partir de las matrices de demanda se alimenta el modelo de mercado/red, que a su vez asigna matrices de flujo a la distribución modal y de red según un algoritmo de reducción de costos. El modelo SMILE, referido al sistema de transportes holandés, es similar, aunque en vez de tablas insumo-producto emplea tablas hacer-usar, en las que cruza datos de sectores productivos con productos, consumo final, inversión y exportación expresados en toneladas (Tavasszy *et al.*, 1998).

En los modelos dirigidos a la distribución de viajes los flujos de mercancías entre origen y destino se indican de acuerdo con la producción y la atracción de la demanda, y también en función de la fricción del transporte, empleándose comúnmente para su análisis modelos gravitacionales. Al igual que en los modelos de generación de viajes en los modelos de distribución los datos se toman de manera siempre agregada. En cambio, para la elección modal los modelos pueden ser tanto agregados como desagregados, pudiéndose extraer los datos a través de encuestas, ya que los tomadores de las decisiones son las empresas de transporte. Como ejemplos de modelos agregados para el reparto modal se proponen PACE-FORWARD (Carrillo, 1996) o EXPEDITE (2002). Otros modelos utilizan diferentes metodologías como la microsimulación o el análisis de red multimodal para predecir el modo y la ruta óptima en cada caso.

Finalmente, como prototipo de un modelo reciente que aplica fielmente el esquema inicial de FSM, De Jong *et al.* (2011) presentaron BASGOED (figura 2.10) apoyado sobre la base de ciertas mejoras realizadas al modelo SMILE mediante el reemplazamiento de los módulos intermedios de distribución y asignación modal existentes anteriormente en SMILE. Para el módulo de distribución se construyeron matrices O-D para un año base y un año en el horizonte de previsión deseado. A partir de aquí el modelo calcula las impedancias intrazonales y transfronterizas teniendo en cuenta los flujos totales de circulación de mercancías derivados del módulo de generación.

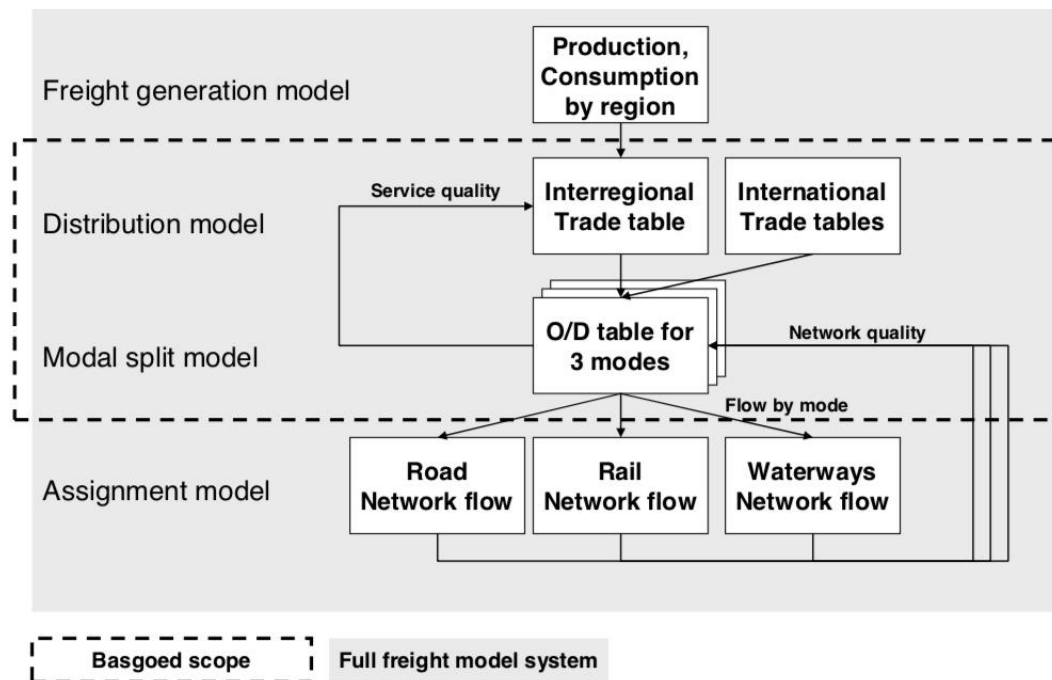


Figura 2.10. Estructura del sistema BASGOED (De Jong *et al.*, 2011, p. 5).

Por lo que respecta al reparto modal, BASGOED utiliza una cadena de transporte simplificada y no multimodal, y además calcula los costes de transporte derivados de las matrices O-D en función del tiempo y la distancia para cada elección modal. En definitiva, se trata de un modelo que trata de simplificar sus componentes para tratar de facilitar la toma de decisiones a los responsables de política de transportes en un nivel estratégico, partiendo de una base agregada y unimodal y especificando los costos y tiempos de transporte en los ámbitos de zonalidad interna e internacional.

4.2.2. Modelos desagregados

Tal y como indican Ortúzar y Willumsen (2011) los modelos agregados descritos más arriba se fundamentan en “relaciones observadas para grupos de individuos o en relaciones promedio a nivel zonal” (p. 334), lo cual produce cierto distanciamiento entre la realidad que se pretende modelar y el modelo analítico resultante. En cambio, desde un enfoque puramente desagregado los modelos son más realistas, ya que se enfocan directamente sobre el individuo y sus elecciones particulares. Al basarse en presupuestos de comportamiento individual en relación con la demanda, estos modelos muestran mayor estabilidad en su extensión espacial y en su perdurabilidad (Spear, 1977, citado por Ortúzar y Willumsen, 2011). Asimismo, otras ventajas relacionadas con la utilización de datos individuales son:

- Menor número de datos necesarios ya que un solo individuo genera una observación procesable.
- Variabilidad observable debido al alto grado de detalle de la información recabada.

- Información potencialmente agregable.
- Menor posibilidad de distorsión de la información.

Sin embargo, pese a todos sus beneficios, se revela en algunos casos la dificultad de construir modelos a escala internacional, nacional o incluso regional empleando exclusivamente datos de tipo desagregado, por lo que algunos investigadores como Ben-Akiva y De Jong (2013), han llegado a proponer la utilización de modelos híbridos ADA (Aggregate-Disaggregate-Aggregate) para evaluar la previsión de la demanda, simular el efecto de políticas públicas de transporte en el sistema y predecir el impacto de nuevas infraestructuras en los flujos de tráfico. Pese a todo, al margen de estos inconvenientes relacionados sobre todo con cuestiones escalares, parece incontestable que el giro hacia la óptica desagregada supuso un hito considerable en la evolución de los estudios sobre sistemas de transporte.

4.2.2.1. Modelado basado en la actividad.

Con arreglo a este nuevo enfoque y e influenciados por la proliferación de nuevas teorías conductuales en relación con los profundos cambios sociales, políticos y económicos acaecidos a partir de los años 70, algunos estudios sobre sistemas de transporte comenzaron desde los años 90 a considerar la actividad como objeto de estudio en detrimento del viaje (ver Hamed y Mannering, 1993; Ettema y Timmermans, 1997; Ben-Akiva y Bowman, 1998). La justificación de esta evolución, de acuerdo con McNally y Rindt (2008), radica en que los modelos clásicos que ayudan a evaluar el impacto de las políticas de transporte e infraestructuras a través de estudios de previsión de demanda centran exclusivamente su atención en el viaje, no llegando a considerar la actividad subyacente a la demanda o atracción de viajes, es decir, desatendiendo el proceso decisional que fundamenta la actividad generadora del viaje. De igual manera, se evidencia que modelos agregados como FSM no solo ignoran las actividades, sino también las interrelaciones entre los propios viajes en el espacio y en el tiempo. Este hecho da lugar a un vacío analítico en la primera fase del modelo, el paso de generación de viajes, debido a que en él se presupone un comportamiento general donde el viaje es inicialmente independiente del sistema de transporte sin considerar que aquel no es sino una demanda derivada de la demanda de actividades.

Por tanto, la principal novedad que aportan los modelos basados en la actividad es precisamente la consideración de que la demanda de transporte está en función de la demanda de actividad, es decir, el viaje tendrá lugar siempre y cuando la actividad a emprender lo requiera. Además, otra importante aportación de este enfoque hace referencia a las restricciones temporales y espaciales que afectan a las acciones generadoras de viajes (Bowman y Ben-Akiva, 2000). En efecto, este cambio de focalización implica la construcción de patrones de comportamiento a nivel desagregado en los que se formalizan operaciones cotidianas en base a preferencias reveladas de los individuos que toman parte en las mismas, lo que se traduce en un conjunto de programas o agendas individuales de movilidad derivadas de la toma de decisiones que, finalmente, dan lugar a la generación de suministro de transporte. Por ejemplo, la plataforma TRANSIMS (Smith *et al.*, 1995) parte en primer lugar de un módulo en el que los datos de actividad de la población se presentan desagregados a nivel de hogar y comercio para avanzar una

predicción de demanda de actividad y comportamiento respecto al viaje. A continuación, sigue un módulo que representa la elección modal en la planificación de ruta en función de los costes y las preferencias de los viajeros. En tercer lugar, para predecir el rendimiento del sistema de transporte se ejecuta la microsimulación de los viajes generados en el módulo anterior y, finalmente, toda la información generada por la microsimulación se utiliza para evaluar y modelar el impacto ambiental del sistema (Figura 2.11).

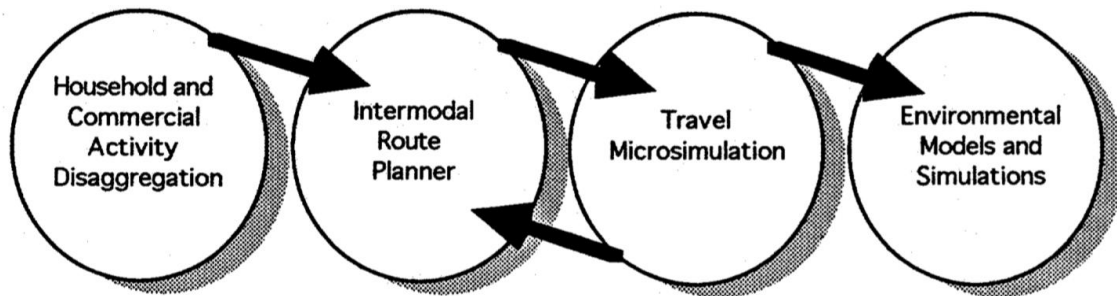


Figura 2.11. Arquitectura de la plataforma TRANSIMS (Smith *et al.*, 1995, p. 1).

Las ciencias sociales por su parte han aportado una visión de los comportamientos individuales que van mucho más allá de la mera racionalidad y la maximización de beneficios propia del *homo economicus* de la teoría neoclásica. En este sentido, Fox (1995) ofrece un amplio repaso de investigaciones realizadas sobre la base de los trabajos pioneros de Chapin (1974) y Hägerstrand (1970), que condujeron a la proliferación de estudios en los que la actividad se tomaba como elemento central del comportamiento humano en el espacio y el tiempo. A partir de dichos trabajos las restricciones que el tiempo-espacio impone a las elecciones individuales sobre la actividad se enfatizan en función de factores físicos, económicos, socioculturales o incluso geográficos (Hägerstrand, 1970). Un ejemplo de aplicación práctica basada en el enfoque de la Geografía temporal lo constituye el modelo PESASP (Lenntorp, 1979), a través del cual se realizó una simulación de las actividades cotidianas que implican movilidad a nivel individual en la ciudad de Örebro en Suecia, en función de constricciones de tiempo (horarios determinados) y espacio (recorridos y lugares concretos), de tal modo que las diferentes posibilidades de movilidad individual en un marco espacial se analizaron y se confrontaron como alternativas de movilidad en un sistema de transportes determinado.

Siguiendo la estela del enfoque geográfico temporal, otros estudios posteriores intentaron descubrir patrones de la actividad humana haciendo uso de modelos más sofisticados en los que conceptos como la asunción de limitación de espacio-tiempo en las opciones de viaje, la generación de transporte como resultado de la elección de actividades y la consideración de presupuestos temporales conformaban la base de su marco teórico (Fox, 1995). Hay que destacar, sin embargo, que algunos de estos estudios ponen el acento en la alteración del comportamiento individual como consecuencia de la introducción de nuevas políticas de transporte o cambio de infraestructuras mientras que el programa de actividades permanece

inalterado. En estos casos de reorganización interna debido a cambios circunstanciales en el sistema de transporte el enfoque utilizado es meridianamente situacional.

Todos estos intentos por obtener un panorama analítico de partida lo más desagregado y ajustado posible a la realidad supusieron un avance tremendamente importante en la investigación de los sistemas de transporte, ya que proporcionaron una óptica conductual desde el punto de vista de las elecciones individuales de movilidad, y abrieron el camino a una nueva corriente de aportes investigativos que trataban de ofrecer una alternativa real a los modelos clásicos basados en viajes. En la actualidad, la necesidad de adoptar una concepción holística e integradora del conjunto de elementos que componen los sistemas de transporte hace que nuevos enfoques y metodologías como la microsimulación, los SIG o Big Data resulten claves para abastecer de estudios empíricos al constructo teórico de los modelos basados en actividad. Sin embargo, tal y como sostienen McNally y Rindt (2008), la formalización de un marco teórico sólido y general quizá sea la principal tarea pendiente, muy en parte debido a la complejidad inherente a un enfoque que basa su análisis en el comportamiento de la actividad, aunque la escasez de estudios a nivel operacional también se encuentre entre los ámbitos a mejorar. En definitiva, el desarrollo de los modelos basados en actividad ha conseguido acercar parcialmente las políticas de transporte a las situaciones de demanda de actividad generadora de viajes, aunque mayoritariamente el objeto de estos estudios sea el transporte de personas, y muy esporádicamente se analice el transporte de mercancías.

4.2.2.2. Microsimulación

Enlazando con los modelos basados en actividad, los modelos de microsimulación intentan conocer los impactos de políticas públicas al nivel más desagregado posible a través de procesos estocásticos en los que los valores de diferentes variables se someten a un cálculo de probabilidades (García-Valdecasas, 2016; Gilbert y Troitzsch, 2005). En esencia, el procedimiento de aplicación de este modelo (figura 2.12) pasa por la recogida de datos de una población concreta de acuerdo con unos atributos determinados, a partir de los cuales se construye una base de datos en la que estos se estructuran individualmente. Seguidamente, se lleva a cabo una simulación según un cálculo de probabilidades aplicado a cada caso individual, cuya proyección como resultado una estimación de la evolución del objeto de estudio analizado (Gilbert y Troitzsch, 2005).

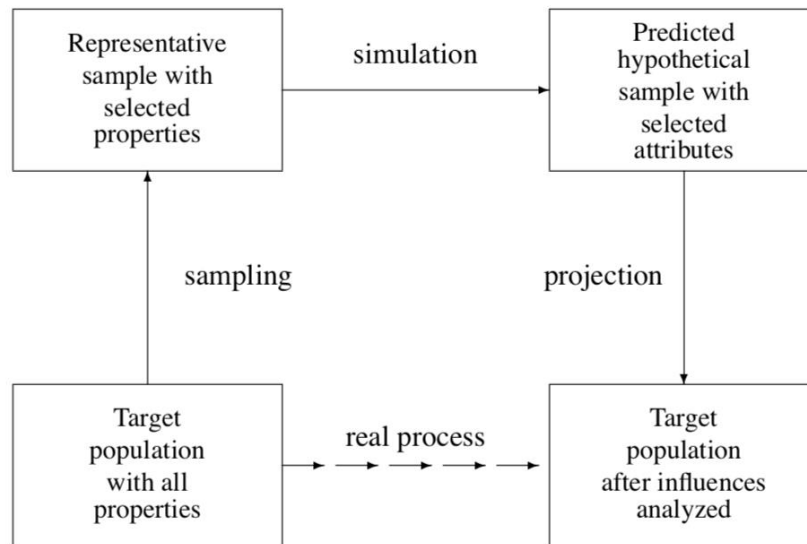


Figura 2.12. Elementos generales de la microsimulación (Gilbert y Troitzsch, 2005, p. 58).

Existe una amplia gama de modelos de transporte basados en microsimulación que permiten estudiar el entramado de interacciones existentes entre políticas públicas y los ámbitos más básicos de la toma de decisiones (Birkin y Wu, 2012). Así, Liu *et al.* (1995) proponen el modelo DRACULA (Dynamic Route Assignment Combining User Learning And microsimulation), donde establecen un patrón típico de tráfico diario mediante el cual poder estimar la evolución cotidiana de la red viaria en función de los comportamientos particulares de vehículos y conductores. Raney *et al.* (2003) implementan un modelado que simula los viajes producidos por 50.000 vehículos en Suiza, utilizando para ello matrices horarias que posteriormente se desagregan hasta la individualización de cada viaje. Por lo que respecta a los modelos de transporte de mercancías, de Jong y Ben-Akiva (2007) elaboran una propuesta que toma en cuenta la frecuencia y el tamaño de los envíos y operaciones logísticas como la consolidación y distribución en centros de transbordo a nivel del responsable individual de la toma de decisiones, llegando a desagregar las relaciones individuales de empresa a empresa. Wisetjindawat *et al.* (2007) tratan de modelizar el comportamiento de los agentes de transportes en interacción con las cadenas de suministro en el área metropolitana de Tokio. El estudio sustituye la base de viajes característica de los modelos clásicos por la producción y consumo de productos básicos, también considerando individualmente a cada empresa cargadora. Por último, otra aportación de la mano de Samimi, Mohammadian y Kawamura (2010) y Samimi *et al.* (2014) busca integrar las decisiones y aspectos conductuales de los agentes en un marco de modelado basado en actividad llamado FAME (Freight Activity Microsimulation Estimator), compuesto por cinco módulos, a saber, identificación y caracterización de empresas, selección de proveedores, determinación del tamaño de envío, elección modal y análisis de red. Dada la amplitud del modelo aplicado en Estados Unidos, algunos datos como los flujos de carga y los tipos y cantidades de bienes transportados se procesan de manera agregada en el segundo módulo, si bien el resto de módulos se alimenta con datos individuales y matrices OD a nivel de condado.

No obstante, a pesar de tratarse de modelos que consiguen modelar la interacción entre políticas públicas e individuos o grupos sociales heterogéneos y pronosticar el impacto de dichas medidas

simulando escenarios del tipo “¿Y si...?” (Birkin y Wu, 2012), presentan limitaciones que tienen que ver con su incapacidad para reproducir las interacciones que se generan entre los propios individuos que conforman el sistema y entre estos y su entorno, además de cuestiones relativas a los requerimientos de ingentes conjuntos de datos de alta calidad y complicados desarrollos informáticos para procesarlos. En este sentido, como se verá a continuación, los modelos basados en agentes proporcionan la base conceptual y teórica para corregir estas insuficiencias, ya que en ellos las interacciones entre los agentes responden a reglas y restricciones tanto individuales como grupales y espaciales, son dinámicos y facilitan la generación de fenómenos emergentes como producto de la simulación multidimensional.

4.3. Modelos basados en agentes

En las dos últimas décadas los modelos y simulaciones basadas en agentes han ido adquiriendo progresivamente cada vez mayor peso en la investigación de sistemas complejos. Ciertamente dichos modelos comparten con la microsimulación la adopción de una perspectiva desagregada desde abajo hacia arriba o *bottom-up* (Bernhardt, 2007), pero el hecho de permitir tanto la modelización de la heterogeneidad de los agentes como la observación del modo en que estos se autoorganizan los distingue del resto de modelos anteriores (Macal y North, 2010). Otro aspecto determinante en la dinámica de ABM, en relación con la dimensión espacial, es la interacción que tiene lugar entre los agentes y el entorno en el que se sitúa el sistema. Esta circunstancia otorga a los ABM un enorme potencial de análisis ya que les confiere la capacidad de simular fenómenos emergentes como consecuencia de la interacción entre unidades autónomas y heterogéneas, con una estructura propia y una determinada capacidad de adaptación respecto al resto de agentes, y el entorno, entendido este igualmente como un agente pasivo con atributos tales que puedan conllevar algún tipo de fricción o restricción para los agentes activos. En efecto, la posibilidad de que un modelo muestre propiedades *emergentes* o aquellas propiedades que no se dan en los elementos que constituyen dicho modelo, dependerá que las variables que lo conforman se comporten de forma no lineal más allá de un umbral determinado, es decir, que el todo no sea igual a la suma de las partes que lo integran (García-Valdecasas, 2016). Por tanto, los ABM tienen la capacidad de servir tanto para la representación y análisis de comportamiento de sistemas complejos como para la búsqueda de escenarios potenciales que implican simulación de procesos dinámicos para su optimización. En un intento por delimitar con mayor precisión este concepto, Macal (2016) formula cuatro definiciones de ABM, cada una de ellas relacionada con una propiedad diferente de menor a mayor grado de complejidad, basadas a su vez en aplicaciones existentes en la literatura académica. Estas cuatro propiedades vendrían a ser: Individualidad, autonomía, interactividad y adaptabilidad, y su desarrollo en modelos cada vez más complejos da cuenta de lo que los ABM son capaces o podrían llegar a hacer. En este bloque se hará en primer lugar una revisión de los modelos de transporte basados en agentes, para seguidamente abordar la aplicación de ABM a la Geografía, y más específicamente, a la Geografía de los Sistemas de Transporte.

4.3.1. Primeros ABM aplicados al transporte de mercancías.

Desde el surgimiento de los ya comentados modelos alternativos a los modelos clásicos de transportes basados en la demanda de viajes se constata que, según Roorda *et al.* (2010), en todos los sistemas de transporte existe una serie de agentes involucrados en su organización que ostentan el control de una parte de su gestión y que ninguno de ellos controla ni conoce totalmente el proceso de toma de decisiones del resto. Además, estos agentes dan lugar a diversas interacciones entre sí en diferentes modos y direcciones cuyos resultados afectan al funcionamiento del sistema. Por último, la organización de los sistemas de transporte está en constante cambio en función de las necesidades de la demanda y de la economía global.

Ciertamente, conocer los roles que ostentan los agentes que forman parte de la cadena de transporte es un requerimiento indispensable para diseñar un modelo eficaz y fiel a la realidad. A este respecto los modelos basados en agentes se aplican desde una perspectiva descentralizada (Ramstedt y Woxenius, 2006) al considerar el sistema de transporte como producto de la toma de decisiones operativas de cada agente y de su capacidad de interrelación. Asimismo, tal y como apuntaron Wooldridge y Jennings (1995), los agentes del sistema además de ser autónomos también son reactivos a los cambios que se producen en su entorno, pueden tomar iniciativas proactivas a nivel operacional y tienen capacidad de relacionarse con el resto de agentes. Estas circunstancias son recogidas por Parunak *et al.* (1998) en un estudio comparativo entre ABM y modelos basados en ecuaciones (MBE), en el cual sostienen que la construcción de ABM no solo es más sencilla que MBE sino que incluso ayuda a distinguir mejor el espacio físico del espacio de interacción de un sistema concreto. Además, los primeros cuentan con ventajas adicionales como permitir una validación del modelo tanto a nivel de sistema como a nivel individual, experimentación directa y mayor facilidad de llevarlos a la práctica. Por todo ello concluyen que los ABM ofrecen resultados más realistas y son especialmente adecuados para modelizar redes de tráfico, cadenas de suministro y microsistemas complejos, puesto que son intrínsecamente locales y pueden detectar dinámicas no lineales. A partir de estas apreciaciones, Davidsson *et al.* (2005) clasifican un buen número de estudios sobre transporte de mercancías elaborados desde un enfoque de agentes, destacándose en la mayor parte de ellos la capacidad de los ABM de analizar sistemas complejos donde existe un control distribuido o, lo que es lo mismo, no centralizado, además de facilitar el procesado de datos parciales que, en caso de usar modelos tipo macro, serían promediados.

La identificación explícita de los roles de los agentes es la base de tesis doctorales como las presentadas por Holmgren (2008) y Ramstedt (2008), en las que se proponen modelos híbridos compuestos por enfoques basados en agentes y técnicas de optimización matemática para, en el primer caso, mejorar la utilización de recursos en el ámbito de la producción y el transporte, y en el segundo, evaluar el impacto de políticas públicas de transporte destinadas a alcanzar objetivos medioambientales. En ambos casos se diseñan modelos a partir de la plataforma TAPAS (Davidsson *et al.*, 2008), desarrollada en el seno del Blekinge Institute of Technology, que trata de predecir el comportamiento del sistema basándose en la causalidad, es decir, en las negociaciones y decisiones tomadas entre actores de una cadena de transporte. En su diseño (figura 2.13) TAPAS tiene en cuenta diferentes aspectos de la cadena como su adaptabilidad, variedad organizativa, jerarquía intrínseca o laxitud temporal en la toma de decisiones, y los utiliza

en dos niveles de simulación diferenciados, aunque conectados entre sí: un nivel de simulación física, en el que los agentes tal que vehículos o productos se consideran pasivos, y un segundo nivel de simulación de toma de decisiones, en el que los actores se comportan de manera autónoma y proactiva. En el primer nivel se calculan los valores de tiempos de viaje, de los tamaños y tiempos de producción y de los tiempos de carga/descarga de modo estocástico según una distribución de probabilidades. A continuación, se establecen los roles de cada actor y se consideran sus interacciones desde la orden del cliente final hasta la entrega del producto siguiendo un criterio de negociación basado en el cálculo de mínimo coste.

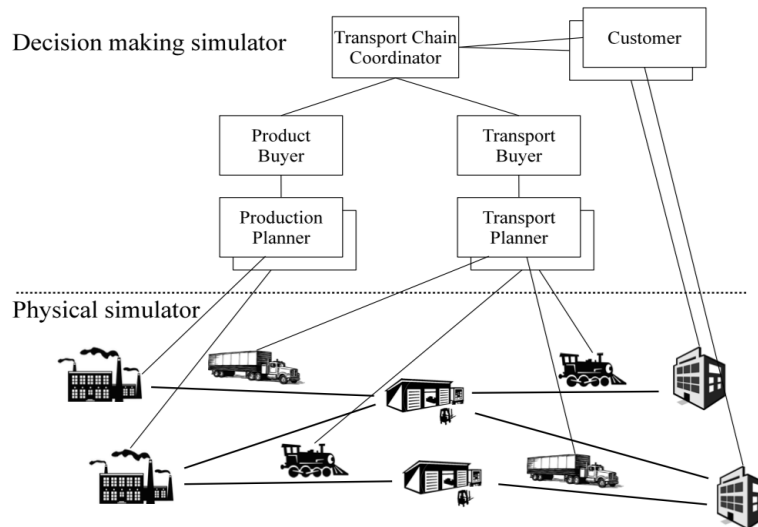


Figura 2.13. Estructura del ABM TAPAS (Holmgren *et al.*, 2012, p. 4).

Posteriormente, este mismo equipo de investigadores precisó a un nivel abstracto un marco de responsabilidades, roles e interacciones dentro de un concepto más amplio de cadena de transporte en el que se distribuye la responsabilidad de la toma de decisiones de cada agente involucrado en el transporte con el objeto de desarrollar pautas específicas de actuación que ayuden a mejorar el diseño de ABM, como por ejemplo creando protocolos definidos de interacción entre agentes o asignando responsabilidades concretas a cada rol (Holmgren *et al.*, 2009). Estas y otras mejoras como la función de consolidación de carga o módulos de cálculo de precios de transporte fueron incorporadas a una versión posterior del modelo TAPAS y aplicadas a un estudio de caso localizado en el mar Báltico meridional, en el que se trataba de simular el efecto de políticas restrictivas al transporte de mercancías por carretera para forzar un cambio modal conforme a los dictámenes de la política europea de transportes (Holmgren *et al.*, 2012). Los siguientes trabajos realizados por este grupo investigador (Holmgren *et al.*, 2013) han buscado ampliar el marco de análisis y relacionar áreas de estudio distanciadas geográficamente, ajustando para ello el modelo anterior a una nueva fórmula denominada TAPAS-Z a base de agregar valores para cada agente de cada zona estudiada (p.e., un operador de transporte representa a varios operadores de un área determinada), obteniéndose de tal modo un modelo un tanto híbrido entre ABM y modelos macro-level que se desarrolla más específicamente en

Holmgren *et al.* (2014), donde se proponen varias soluciones de compatibilidad entre los dos enfoques.

Como tal, la línea investigativa abordada en Blekinge Institute of Technology ha arrojado enorme cantidad de luz entorno al empleo de ABM en el tratamiento de problemáticas relacionadas con sistemas de transporte, demostrando no solo su validez como metodología ágil, flexible y sensible a la realidad del objeto estudiado, sino también su capacidad de evolucionar hacia la integración con otras metodologías. Pero además abre campos dentro de los ABM con grandes posibilidades de mejora, como por ejemplo la circulación de la información entre agentes a nivel operativo o los efectos beneficiosos para el sistema por la por la interacción entre los agentes y el entorno de actuación. En este sentido, otros trabajos como el llevado a cabo por Liedtke (2009) centran su atención en la simulación de transporte de mercancías orientada al comportamiento tanto de expedidores/destinatarios como de transitarios, mediante la cual se fijan rutas, horarios, tamaños de envío e intercambio de información entre agentes vía contrato. Este tipo de modelos presenta una serie de características como la heterogeneidad de los agentes y objetos que toman parte en ellos, la diversidad de reacciones de los agentes a la aplicación de políticas de transporte, la posibilidad de agregación a niveles de microanálisis. Baidur y Viegas (2011) por su parte utilizan la interacción entre agentes en un mercado de transporte para explicar la toma de decisiones modales a nivel operacional por parte de empresas de transporte, valiéndose para ello de métodos de elección discreta. En dicho modelo se describen los intercambios entre dos regiones estructurándolos en tres niveles de actuación: a) nivel de restricciones y condiciones de mercado, b) nivel de representación física del mercado, y c) nivel de interacción de agentes. Sin embargo, la selección de operadores de transporte se fundamenta en métodos estocásticos como el logit anidado a partir de la consideración de cuatro variables: precio, tiempo de entrega, retrasos y tasa de daño esperada, lo cual si bien amplía la resolución y heterogeneidad de los agentes en último término resta verificabilidad al modelo.

4.3.2. Hacia un mayor realismo en los modelos

La adaptación a un modelo más cercano a la realidad exige sin embargo la participación de agentes con roles más específicos. Schröder *et al.* (2012), en una adaptación de la plataforma MATSim para tráfico de mercancías, contemplan la participación de i) remitentes, ii) proveedores de transporte y iii) operadores de transporte, con quienes conforman un modelo iterativo en el que cada agente replanifica su plan inicial en función de los resultados obtenidos en la repetición anterior con vistas a obtener el mejor rendimiento al menor coste. Una orientación diferente es la sostenida por Cavalcante y Roorda (2013), donde se incluyen aspectos como la diferenciación de producto o las economías de escala como elementos a tener en cuenta en las decisiones de contratación de servicios de transporte. En la implementación de FREMIS (Freight Market Interactions Simulation) a la región canadiense del Gran Toronto y área de Hamilton (Cavalcante, 2013) se consideran dos únicos tipos de agente estructuradores del mercado de transporte, expedidores y transportistas, que interactúan mediante contratos ultimados en función del precio de transporte y el nivel de servicio, manteniendo por otra parte cada agente sus objetivos de maximización de beneficios por unidad, buscando optimizar sus decisiones logísticas en el caso del transportista, y evaluando el servicio ofrecido para volver a seleccionar un operador en el caso

del remitente (figura 2.14). De esta manera se consigue modelar un mercado en condiciones de competencia imperfecta, simulando la competencia entre transportistas e incluso procesos de creación de nuevas empresas de transporte.

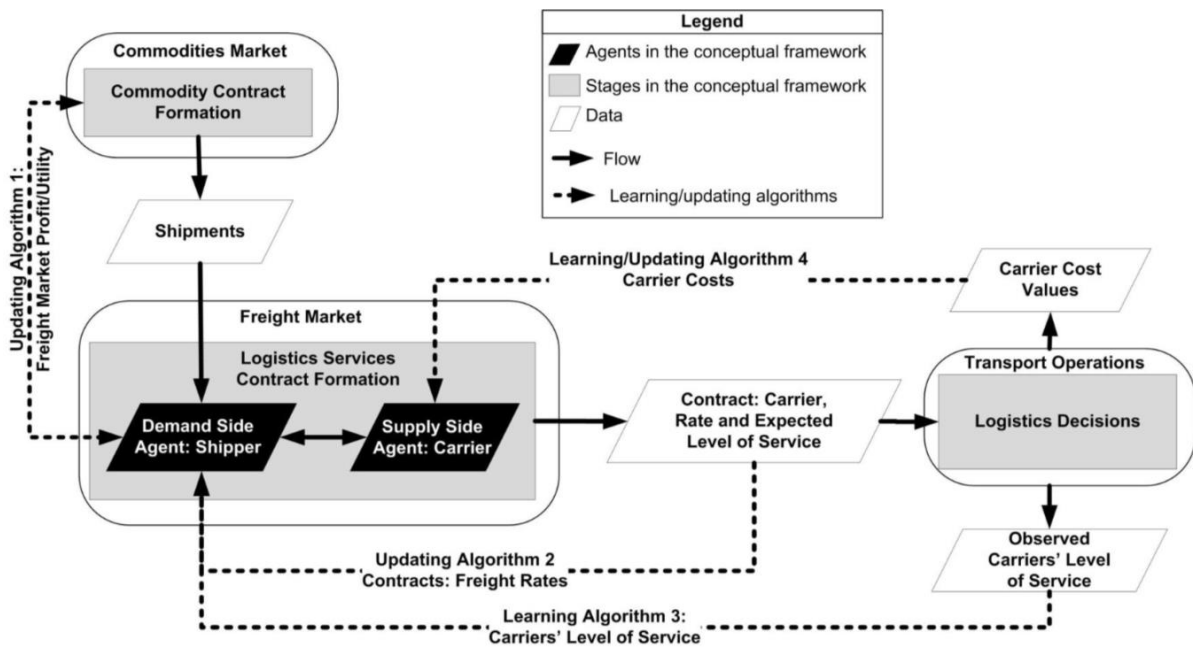


Figura 2.14. Esquema del modelo FREMIS (Cavalcante, 2013, p. 36).

Posteriormente encontramos matices interesantes en investigaciones que buscan una definición más precisa de la cadena de transporte de mercancías. En Mateis *et al.* (2016) se subraya el hecho de que, en contra de lo sostenido por algunos autores, los agentes que componen el sistema no son del todo autónomos puesto que deben ajustarse a los requerimientos del resto de actores transmitidos a través de la cadena, creándose entre ellos no únicamente un vínculo de colaboración sino también de interdependencia. Del mismo modo, Alho *et al.* (2017) desarrollan una adaptación de la plataforma SimMobility Passenger (Adnan *et al.*, 2016) para simular el movimiento de mercancías, diferenciando para ello tres escalas temporales de actuación: *i*) Escala estratégica o a largo plazo, *ii*) escala táctica o a medio plazo y *iii*) escala operativa o a corto plazo. El modelo centra su atención en los dos primeros niveles, cuya amplitud temporal se estima en un año para la escala estratégica y en un día para la escala táctica. Un elemento novedoso puede destacarse en este último nivel, donde el modelo permite simular las rutinas diarias de los operadores de transporte secuenciadas en dos pasos. En el primero se asignan los viajes a los vehículos la propia flota, y en el segundo se procede a subcontratar transportistas externos hasta completar los envíos pendientes. Igualmente se contempla el modelado de otras subrutinas como la selección de vehículos, el agrupamiento y carga de envíos o los tiempos de parada. En efecto, si bien la escala táctica aquí considerada podría identificarse mejor con una escala operativa, la

modelización de la planificación de transporte se contempla a un nivel muy próximo al funcionamiento real de la cadena de decisiones entre agentes.

Sin embargo, a pesar de que todos los modelos analizados hasta el momento buscan perfilar a los agentes desde su enfoque de la manera más fidedigna posible con el fin de reproducir las interacciones reales que operan entre ellos y simular procesos de mejora en los sistemas de transporte, las interacciones entre estos y el territorio en el que se desarrollan no llegan a considerarse en su totalidad en ninguno de los casos, sino que más bien se entiende el espacio como un medio necesario que impone un conjunto de restricciones en relación con las redes de suministro, los nodos logísticos o las infraestructuras. En respuesta a estas carencias, Démare (2016) y Démare *et al.* (2017) abordan la modelización de un sistema logístico en el que las infraestructuras modales y la red de comunicaciones ya no son meros soportes de la actividad de transporte, sino que muestran un comportamiento determinado gracias a una serie de atributos, cuyos valores varían en función de la interacción con otros agentes del sistema (figura 2.15). En este caso, el estudio se vale de la plataforma GAMA, que proporciona un entorno completo de modelado para crear simulaciones espacialmente explícitas (Taillandier *et al.*, 2010) y permite integrar de manera eficaz GIS y ABM en la modelización de sistemas de transporte. De tal manera se pretende entender la organización colectiva de los agentes en torno a la infraestructura existente para gestionar los flujos de bienes, sujetos a una serie de fricciones espaciales y temporales que podrán modelarse igualmente. De acuerdo con este planteamiento el estudio focaliza su área de estudio en el sistema logístico del eje del Sena, que conecta el puerto de Le Havre con el área metropolitana de París, a partir del cual se analizan los “mecanismos de atomización del flujo de mercancías entre la logística marítima y la metropolitana” (Démare, 2016, p. 3).

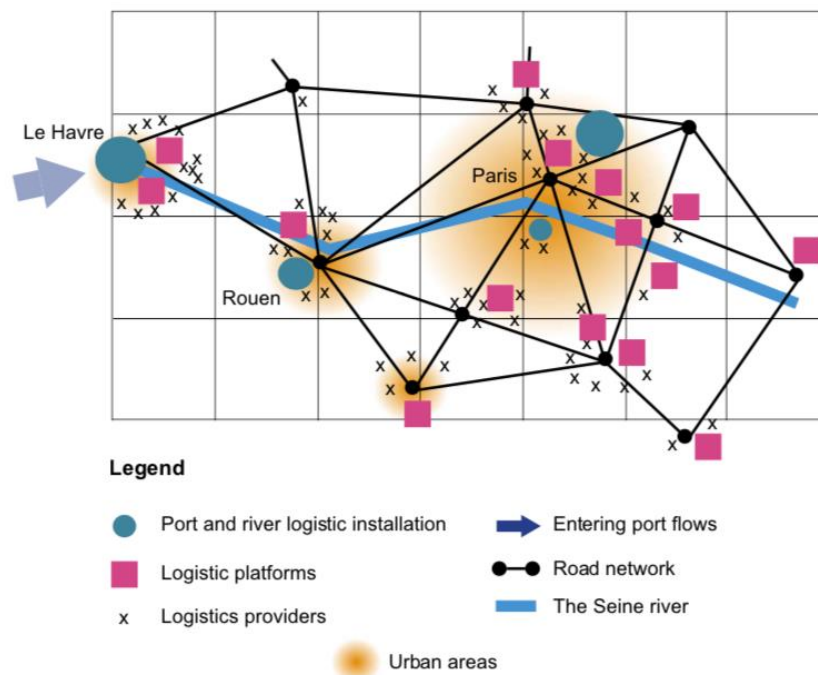


Figura 2.15. Esquema simplificado de los agentes e infraestructuras en el eje del Sena (Démare *et al.*, 2017, p. 60).

A pesar de no utilizar bases de datos reales para caracterizar a los agentes o la estructura del sistema, este modelo resulta de un especial interés para el análisis geográfico porque, en primer lugar, toma en consideración las diferentes lógicas espaciales de los sistemas de transporte de mercancías que confluyen en un área determinada y establece parámetros y reglas de funcionamiento e interacción entre los actores que operan en ellos, caracterizándolos de tal manera como sistemas dinámicos complejos; en segundo lugar, porque consigue integrar, aunque solo sea de un modo superficial, enfoques basados en agentes y sistemas de información geográfica a través del empleo de herramientas de análisis de redes y grafos dinámicos, permitiendo así la observación de la interacción entorno-agente a un nivel realmente microanalítico, y por último, porque posibilita la simulación de fenómenos espaciales a escala regional y local acomodando argumentos genuinamente geográficos a estas nuevas fórmulas de modelado computacional. No obstante, tal y como reconocen Bok y Tavasszy (2018), el reto en la actualidad radica en construir modelos vigorosos a partir de la búsqueda de relaciones de interdependencia entre agentes empíricos, basándolos en datos conductuales reales sobre los procesos de decisión en la cadena de transporte de mercancías. Si bien su plataforma MASS-GT, encaminada a la búsqueda de patrones en el transporte urbano de mercancías en el área de Rotterdam, todavía se basa en datos estimados, al menos apunta una línea de investigación futura que deberá ajustarse aún más a la complejidad del mundo real.

En definitiva, podemos decir que se evidencia cada vez más la necesidad, por un lado, de una mayor permeabilidad interdisciplinar para acometer estudios de índole espacial enfocados desde la perspectiva de agente, especialmente en lo que se refiere a los sistemas de transporte, y por otro, de apostar decididamente por orientar las investigaciones en dicho ámbito hacia la mejora y la innovación en los procesos multiescalares en colaboración con agentes públicos y privados del sector del transporte.

4.4. El uso de modelos en Geografía

Desde los años 90 parece claro que la ciencia geográfica, tras un largo período dominado por postulados neopositivistas que ante todo abogaban por la formulación de teorías generalistas y modelos basados en fundamentaciones matemáticas, ha experimentado un profundo cambio en sus objetos de estudio y en las metodologías necesarias para cumplir con los objetivos de investigación. Netamente influenciada por los enfoques comportamentales y neomarxistas surgidos en los años 70 (Méndez, 1997) y por la ola de postmodernidad que en los últimos tiempos ha impulsado una transición metodológica desde los métodos nomotéticos a los idiográficos (Brunet, 2001), la Geografía, en tanto que ciencia social, ha ido transformando su corpus epistemológico hacia posiciones que en buena parte se sustentan en la interdisciplinariedad y la transversalidad metodológica. Disciplinas como la Sociología, la Economía, la Ingeniería o la Biología han compartido con la Geografía desde presupuestos teóricos hasta métodos y técnicas de análisis. En este sentido, la teoría de sistemas ha tenido desde su formulación una honda repercusión en el análisis espacial de las actividades económicas al proporcionar una base conceptual para investigar las relaciones de interdependencia entre los diferentes agentes que operan en el territorio y que generan, en opinión de Méndez (1997), toda una serie de complejidades organizadas a diferentes escalas, con dimensiones y estructuras diversas

y, al mismo tiempo, una lógica y dinámica internas indefectiblemente incrustadas en el funcionamiento de la economía global. Es por ello que, en el marco de una nueva forma de entender determinados fenómenos socioespaciales como las relaciones centro-periferia, las disparidades y la marginalidad o la desigual aglomeración de actividades económicas, en tanto que escenarios jerarquizados donde operan fuerzas de diferente signo e intensidad y en el que los sistemas de transporte resultan cruciales (Fujita y Krugman, 2004), la elaboración de modelos explicativos a nivel local con sus propias dinámicas y contrapesos es cada vez más necesaria, ya que gracias a dichas modelizaciones el investigador puede desarrollar desde una perspectiva crítica experimentos y simulaciones predictivas que ayuden a los agentes implicados, tanto públicos como privados, a mejorar sus sistemas de transporte y movilidad.

A pesar de ello, más allá de las evidentes y necesarias conexiones interdisciplinarias y de la orientación generalista de los primeros intentos de modelizar fenómenos espaciales (Chorley y Haggett, 1967), las particularidades del método geográfico confieren hoy a los modelos un mayor potencial de análisis y gestión de datos espaciales específicos, gracias en gran parte a la utilización de GIS, y también mayor capacidad de identificar en los sistemas representados comportamientos extrapolables a otras realidades globales. Al entender de Brunet (2001), la modelización debe estar dirigida a interpretar objetos únicos, a representar singularidades que escapan a la norma general como complemento a esta. En este sentido considera este autor que modelar no equivale a simplificar, sino que supone destacar lo esencial de lo secundario, basarse en hipótesis para llevar el proceso de representación del objeto avanzando de lo más simple a lo más complejo. En efecto, la investigación geográfica estuvo sometida durante muchos años al empleo de enfoques de tipo agregado que simplificaban la realidad al punto de ocultar la riqueza y variedad asociada a la diversidad espacial (Batty *et al.*, 2012), camuflando el *lugar* durante largo tiempo en una maraña de cifras estadísticas y reduccionismo espacial y desfigurando su potencial como unidad de análisis espacial. Hoy día, sin embargo, los modelos actuales tienden a huir de la simplificación excesiva para adentrarse cada vez más en cuestiones asociadas a la complejidad del territorio y a la búsqueda de predicciones a través de la construcción de escenarios hipotéticos (Batty y Torrens, 2001), que resulten útiles para la planificación o la resolución de problemas concretos.

Esta complejidad espacial, según Batty (2012), va en aumento en relación con aspectos como la comunicación y la movilidad, haciéndose necesario para su estudio optar por enfoques desagregados en los que la dinámica de los territorios pueda explicarse a través de las interacciones de este con sus individuos, generadas a través de un proceso de retroalimentación directamente relacionada con el tiempo. El resultado de esta óptica es un espacio de redes y flujos en constante desequilibrio, con un impacto detectable a micronivel de análisis donde las discontinuidades y cambios pueden llegar a producir fenómenos novedosos. Con el objeto de comprender, explicar el espacio en constante mutación y anticipar su posible evolución fueron desarrollándose modelos espaciales complementarios entre sí y coincidentes en algunos aspectos, aunque es evidente el avance experimentado desde aquellas primeras propuestas genéricas a los actuales diseños específicos muchos más precisos que sus antecesores. De tal modo, Batty (2012) realiza un recorrido desde los modelos basados en Autómatas Celulares (AC) a los ABM y la microsimulación, pasando por otra clase de enfoques como los modelos econométricos espaciales (SEM) y los modelos de dinámica de sistemas (SDM). Por último, fija su

atención los modelos LUTI (Land Use and Transport Interaction), basados en la interacción espacial entre usos del suelo y sistemas de transporte en las áreas urbanas, que han tratado de mantener las ventajas de los modelos agregados y estáticos desde los prototipos de primera generación, confeccionados en los años 60 y 70, aunque los enfoques en LUTI más recientes muestran un grado de detalle al punto de confundirse con modelos de microsimulación (Coppolla *et al.*, 2013).

Sin embargo, el objeto de este trabajo lo constituyen aquellas alternativas de modelización que, como los enfoques basados en agentes, proporcionan a la ciencia geográfica, y en particular a la Geografía del Transporte, una enorme amplitud investigativa al permitir la recuperación del concepto de lugar como elemento central de análisis geográfico dentro de una dinámica global articulada por el espacio de flujos, puesto que, como recuerda Gutiérrez Puebla (1998, p. 71), “el reconocimiento de un espacio en red no implica la negación del espacio de los lugares”.

4.4.1. ¿Es recomendable utilizar modelos en la Geografía del Transporte?

Como ha quedado patente más arriba, los modelos desarrollados por la ingeniería civil, la economía o la informática aplicada, tanto desde enfoques clásicos como desde las últimas orientaciones metodológicas, sitúan la demanda de transporte en el centro del sistema. Este es ciertamente un punto en el que todos coinciden, al observar principalmente en los sistemas urbanos la necesidad de superar las restricciones a la movilidad de personas y mercancías al menor coste temporal, económico y medioambiental posible para satisfacer la demanda inicial, además de tratar de simular soluciones logísticas que faciliten la adopción de políticas públicas de transporte o una mejor planificación del transporte a diferentes escalas. Por tanto, el fin de estos estudios no es otro que la optimización de los múltiples procesos que integran los diferentes sistemas logísticos, las cadenas de suministro o el transporte de viajeros.

La Geografía del Transporte en cambio se fija como objetivo último explicar la lógica espacial que subyace bajo dicha necesidad de movilidad de personas, bienes e información, identificando la organización y dinámica espacial de los elementos y agentes que componen los sistemas de transporte y el modo en que estos interaccionan entre sí y con el territorio. Según Gutiérrez (2012), se admite como principio general que existe una asociación retroalimentada entre la lógica del modelo urbano y el sistema de transportes de un territorio, creándose de tal manera una serie de vínculos que determinan la distribución de las actividades y la movilidad de las personas, bienes y servicios. Asimismo, Rodrigue *et al.* (2017) sostienen que estos sistemas se organizan en el territorio como redes complejas estructuradas por nodos y conexiones a través de las cuales circulan ingentes flujos de personas, bienes e información, donde la demanda ejerce la función de dinamizadora del sistema. Espacio geográfico y movimiento son, de acuerdo con Seguí Pons y Martínez Reynés (2004), los dos elementos clave que posibilitan la interacción entre redes de transporte, demanda y sistemas complejos. En definitiva, el geógrafo del transporte analiza y evalúa el impacto recíproco entre sistemas de transporte, sociedad y territorio, atendiendo a los factores que rigen la distribución global de flujos, cuya lógica provoca jerarquización espacial y desigualdad social.

Parecería, pues, que los propósitos de la Geografía del Transporte son claros y diáfanos y que todo en su seno va sobre ruedas. Sin embargo, la situación es algo más complicada. En los últimos tiempos son numerosas las voces críticas surgidas dentro de la Geografía Humana, en las que se reprocha a la subdisciplina una dependencia excesiva de métodos cuantitativos propios del positivismo y la economía neoclásica, el deslizamiento indisimulado hacia disciplinas como la ingeniería civil y la economía y el alejamiento de cuestiones sociales desde una perspectiva crítica. Así, el llamado “enfoque tradicional” de la Geografía del Transporte es examinado en oposición al paradigma de la “nueva movilidad” defendida, entre otros, por Sheller y Urry (2008), quienes cuestionan la validez actual de los métodos y objetos de estudio estancos orientados a la demanda, en vez de examinar las movilidades en su interdependencia fluida. Esta discusión es recogida en el trabajo de Shaw y Hesse (2010), donde reconocen cierta desafección de la comunidad geográfica hacia los geógrafos del transporte, entendidos estos como más apegados a métodos cuantitativos y a una visión finalista o teleológica de los procesos, mientras que la atención dedicada a cuestiones relacionadas con la movilidad, sea ésta considerada como producto social (Gutiérrez, 2012), como ámbito comportamental de decisión (Van Acker *et al.*, 2010) o vista desde otros enfoques próximos a la sociología, parece aumentar de día en día. El claro ejemplo de esta diferencia entre ambas direcciones, es decir, transporte vs. movilidad, lo encontramos en la aceptación del movimiento como un espacio vacío frente a la definición de movilidad como el entrelazamiento de tres elementos: el propio movimiento físico, las representaciones del movimiento con un significado compartido y la experiencia del movimiento (Cresswell, 2010).

Así las cosas, algunas aportaciones al debate sobre la orientación que deben tomar los investigadores de transporte y movilidad vinculan la heterogeneidad de objetos de estudio con la variedad de metodologías y enfoques (Goetz *et al.*, 2009; Kwan y Schwanen, 2016; Shaw y Hesse, 2010), siendo no solo posible sino incluso recomendable la utilización de la perspectiva crítica ya sea desde enfoques cuantitativos como cualitativos, la complementariedad e intereses comunes de las geografías del transporte y la movilidad y la búsqueda de nuevos retos, nuevas preguntas y nuevas metodologías de investigación. Sin duda la colaboración mutua es indispensable ya que, como argumenta Schwanen (2015, p. 8), “nuestra comprensión colectiva del transporte y la movilidad se beneficiaría más si los diálogos basados en la identidad se complementaran y, en última instancia, se reemplazaran por debates más orientados a temas o problemas sobre el (no) movimiento de personas y objetos”.

Llegados a este punto debemos preguntarnos: ¿Pueden ayudar los ABM a construir una dialéctica metodológica común para salvar estas distancias?, ¿son compatibles con la aplicación de una perspectiva crítica, integradora y social al proceso investigador? y, por último, ¿son estos modelos capaces de ofrecer tales niveles de precisión y fiabilidad como para que el transporte y la movilidad puedan ser analizados en detalle a nivel espacial?

En primer lugar, los ABM suponen en esencia una superación de los métodos tradicionales al voltear radicalmente la perspectiva de análisis “de abajo a arriba” valiéndose de medios computacionales para la exploración de ideas, la experimentación y validación de teorías y la representación y simulación de comportamientos de sistemas espaciales, y caracterizando a sus actores a través de atributos, estados, normas y acciones en cualquier dimensión (Torrens, 2010).

Es decir, los agentes representados en un plano, según Crooks y Heppenstall (2012), no solo son *heterogéneos* y *activos*, sino que, en función de lo que motive su actividad en tanto que entes *autónomos*, pueden ser:

- *proactivos*, si cuentan con un objetivo determinado a alcanzar.
- *reactivos*, esto es, perciben su entorno y pueden reaccionar ante otros agentes o elementos del sistema si está diseñados para ello.
- *limitadamente racionales*, ya que pueden realizar elecciones por inducción entre un número limitado de opciones en función de su capacidad de adaptación al entorno.
- *interactivos* con el resto de agentes y el entorno en el que se encuentran.
- *móviles*, si el cumplimiento de sus objetivos así lo requiere.
- *adaptables*, puesto que son capaces de aprender y cambiar los valores de sus variables iniciales con arreglo al desarrollo del fenómeno simulado.

Por tanto, las potencialidades que presentan los ABM son un buen argumento para establecer un punto de conexión entre las investigaciones de transporte y de movilidad, ya que además de sistemas complejos pueden llegar a representar modelos de mapas mentales, movimiento afectivo o incluso geografía temporal a macro, meso o microescala (Torrens, 2010). Sus ventajas respecto a otros tipos de modelos y metodologías son evidentes pues permite la simulación de la autoorganización de un sistema a partir del desarrollo de patrones no programados previamente (Macal, 2016; Macal y North, 2010).

En segundo lugar, la capacidad de los ABM en cuanto a observación, análisis y experimentación de fenómenos sociales en un marco espacio-tiempo dinámico ha sido destacada por muchos expertos (Axelrod, 1997; Bonabeau, 2002; Davidsson, 2000; Gilbert y Troitzsch, 2005; Izquierdo *et al.*, 2008; Macal y North, 2009) ya que, además de posibilitar la captación de los rasgos evolutivos de un sistema, la simulación sobre base empírica permite la formulación de interrogantes e hipótesis que de otro modo no podrían ser calibrados ni validados, pudiendo facilitar el diseño de estrategias de intervención social (González-Bailón, 2004). Sin embargo, modelar el comportamiento humano, tal y como sostiene Kennedy (2012), es una tarea harto complicada ante todo por la falta de datos y por las dificultades que entraña su verificación a niveles de gran granularidad, siempre que se pretenda por encima de todo una gran correspondencia entre teoría y predicción. La teoría de la complejidad indica que, a pesar de conocer el comportamiento no lineal de las variables que intervienen tanto en la conducta individual como en las interacciones colectivas, la simulación resultante puede no ser suficiente para realizar predicciones completamente fiables (Gilbert y Troitzsch, 2005). No obstante, esta circunstancia no impide que los ABM faciliten más que ningún otro modelo la adopción de perspectivas críticas de análisis aplicables a investigaciones de movilidad o transporte, al no sentirse en absoluto vinculados al convencionalismo positivista de búsqueda y confirmación de teorías generales, sino a la detección de fenómenos socioeconómicos y culturales en su entorno espacial desde el punto de vista de los individuos y las sociedades.

Por último, la evolución y capacidad de adaptación que los ABM han demostrado en multitud de disciplinas tiene también su reflejo en la ciencia geográfica gracias a las aplicaciones que permiten integrarlos con SIG y materializar de ese modo el acoplamiento de modelos de datos espaciales

con modelos desagregados. Desde las aportaciones pioneras recogidas en trabajos como los de Batty y Jiang (1999) o Westervelt (2002), el binomio ABM/GIS ha continuado desarrollándose en varios campos geográficos como la segregación urbana, los usos del suelo o el medioambiente, aunque no tanto en investigaciones sobre sistemas de transporte o movilidad. Esta relación se explica con más detalle en el siguiente punto.

4.4.2. Hacia la integración de ABM y GIS en el estudio de los sistemas de transporte

Toda investigación geográfica se encuentra necesariamente vinculada no solo a un espacio determinado, sea este absoluto o relativo, real o percibido, sino también a un tiempo o período concreto, durante el cual una serie de eventos tienen lugar como consecuencia de la interrelación entre los actores y el territorio. Para la modelización de sistemas geográficos basados en agentes la ubicación geográfica real de los elementos que los integran es de vital importancia (Crooks, 2015), ya que la conexión entre agentes y lugares aporta cantidades enormes de información que pueden llegar a ser procesadas. A este respecto, los GIS, en tanto que modelos de análisis espacial orientados a objetos, pueden almacenar, procesar y representar datos espaciales superponiendo e integrando diferentes capas de información geográfica, pero, como observan Brown *et al.* (2005), su enfoque es únicamente espacial a expensas de la dimensión temporal, y además carecen de medios para representar los cambios dentro de un marco de toma de decisiones (Crooks, 2015). En efecto, una de las mayores deficiencias achacadas a los SIG es su limitada capacidad para realizar modelados dinámicos en su dimensión temporal, además de sus problemas para trabajar a base de procesos iterativos (Crooks y Castle, 2012). Por su parte, los ABM permiten simular las interacciones entre individuos dentro de sistemas complejos en los que la dimensión temporal juega un papel fundamental en la simulación de acontecimientos y procesos, si bien la representación de las dinámicas espaciales y la interacción con el territorio resulta mucho menos sofisticada y evidente que en los SIG.

Por ello, en relación con las circunstancias descritas se amplía la nómina de geógrafos que han destacado el enorme potencial que contiene la fusión de ABM con GIS y que han tratado de sentar las bases teórico-prácticas de la integración de ambos modelos a fin de optimizar sus ventajas en el estudio de los sistemas geográficos complejos desde la óptica de la interacción entre individuos y territorio. Por ejemplo, O'Sullivan (2008) alude al hecho de que en algunos modelos se prioriza el modo en que se produce la relación de los agentes con el medio, es decir, la caracterización de la movilidad de los agentes más que su representación explícita. No obstante, la consideración de la estructura y dinámica de los sistemas geográficos exige, de acuerdo con Benenson (2014), la definición clara de los objetivos de estudio, la caracterización de los elementos del sistema y sus interconexiones y la explicitación de las normas y restricciones que gobiernan en ellos. Esto requiere que las dimensiones espaciales y temporales estén bien especificadas, ya que el sistema registrará cambios y nuevas reacciones en función de la capacidad de adaptación de los agentes a las normas. Una alta resolución temporal, por ejemplo, ayudará al investigador a ser más preciso en el modelado de cuándo y en interacción con quién se producen las tomas de decisiones. En el caso de la resolución espacial, esta depende del tipo de elementos geográficos empleados para representar agentes, de las normas de comportamiento de estos últimos y de la resolución temporal.

Por su parte, Torrens (2010) señala que los GIS han contribuido significativamente a construir un marco teórico y metodológico de los ABM aplicados a ciencias espaciales ante las dificultades que supone crear un nuevo andamiaje conceptual adaptado a la microescala y los enfoques desagregados. Es necesario ser conscientes de los problemas de establecer teorías sobre la base de experiencias humanas individuales en el espacio, en las que el cambio constituye un elemento intrínseco de los sistemas complejos, si bien la teoría de la complejidad ayuda a sostener a su vez el edificio teórico de los ABM (Manson *et al.*, 2012). Por esta razón, dada la imprevisibilidad de comportamientos de estos sistemas, la orientación predictiva de los modelos pierde fuerza ante la simulación y explicación de escenarios hipotéticos del tipo “¿Y si...?” (Heppenstall *et al.*, 2012). En efecto, la complejidad de la realidad observada obliga a modificar constantemente los presupuestos teóricos para que los modelos diseñados puedan ser convenientemente calibrados, validados y verificados en el mundo real. Sin embargo, a pesar de todas estas circunstancias las perspectivas de estudios geográficos integrando ABM y GIS son muy esperanzadoras ya que, en palabras de Crooks *et al.* (2018, p. 219), “los investigadores tienen ahora a su disposición los datos y las herramientas para examinar los sistemas geográficos en detalle a un nivel individual sin precedentes, creando así nuevos conocimientos y comprensión sobre cómo evolucionaron estos sistemas y cuáles serían las consecuencias de futuros comportamientos individuales”.

4.4.3. Algunos ejemplos de acoplamiento ABM/GIS

Por lo que respecta a la aplicación acoplada de ABM y GIS en investigaciones geográficas hay que señalar que existen diferentes variantes de integración dependiendo de cuál de los dos modelos es el dominante, si bien es reseñable el gran desarrollo mostrado por aquellos sistemas centrados en ABM con acceso a funciones de análisis espacial y bibliotecas de datos espaciales. Crooks *et al.* (2018) dan cuenta de varios kits de herramientas ABM de acceso libre con capacidad de integrar datos espaciales procedentes de GIS, entre los que encontramos plataformas como Swarm, MASON, Repast, Netlogo o GAMA, cada una de ellas con rasgos diferenciadores que las convierten en potentes recursos de modelación. Asimismo, los ejemplos de trabajos realizados en el ámbito geográfico a partir de un enfoque ABM/GIS cubren un amplio espectro de aplicaciones: Torrens y McDaniel (2013), por ejemplo, diseñan la simulación de estampidas a partir del análisis de las conductas socioemocionales de los agentes que se ven envueltos en ellas y de su capacidad de adaptar su ubicación geográfica en función de los acontecimientos; Augustijn-Beckers *et al.* (2011) emplean ABM y GIS a nivel micro para investigar la propagación del cólera a partir de las condiciones ambientales y agentes transmisores humanos, y Crooks y Hailegiorgis (2013) por su parte modelan la acción de los portadores en la difusión de dicha enfermedad en los campos de refugiados de Daadab (Kenia).

Otro importante ámbito de investigación en ABM/SIG lo constituyen los estudios urbanos, de entre los cuales merece la pena ser destacado por su carácter pionero el aportado por Benenson *et al.* (2002), donde se analiza la distribución residencial étnica en el área de Yaffo, Tel Aviv (Israel) considerando los hogares de las etnias judía y árabe como entidades separadas que se comportan de diferentes modos e interactúan conformando el modelo urbano. Más recientemente, Cantergiani (2017) presenta un amplio estudio de simulación del crecimiento urbano en el área de Alcalá de Henares (España) a partir del modelado de la interacción entre varios agentes

considerados como motores de la expansión urbana (figura 2.16). Haase *et al.* (2010) por su parte establecen pautas para generar un modelo de movilidad residencial y cambios en el uso del suelo en un área urbana en retroceso como el de Leipzig (Alemania). Igualmente, Jordan *et al.* (2014) tienen en cuenta dichos aspectos de la movilidad residencial para presentar un estudio sobre la regeneración urbana en el área de Leeds (Reino Unido).

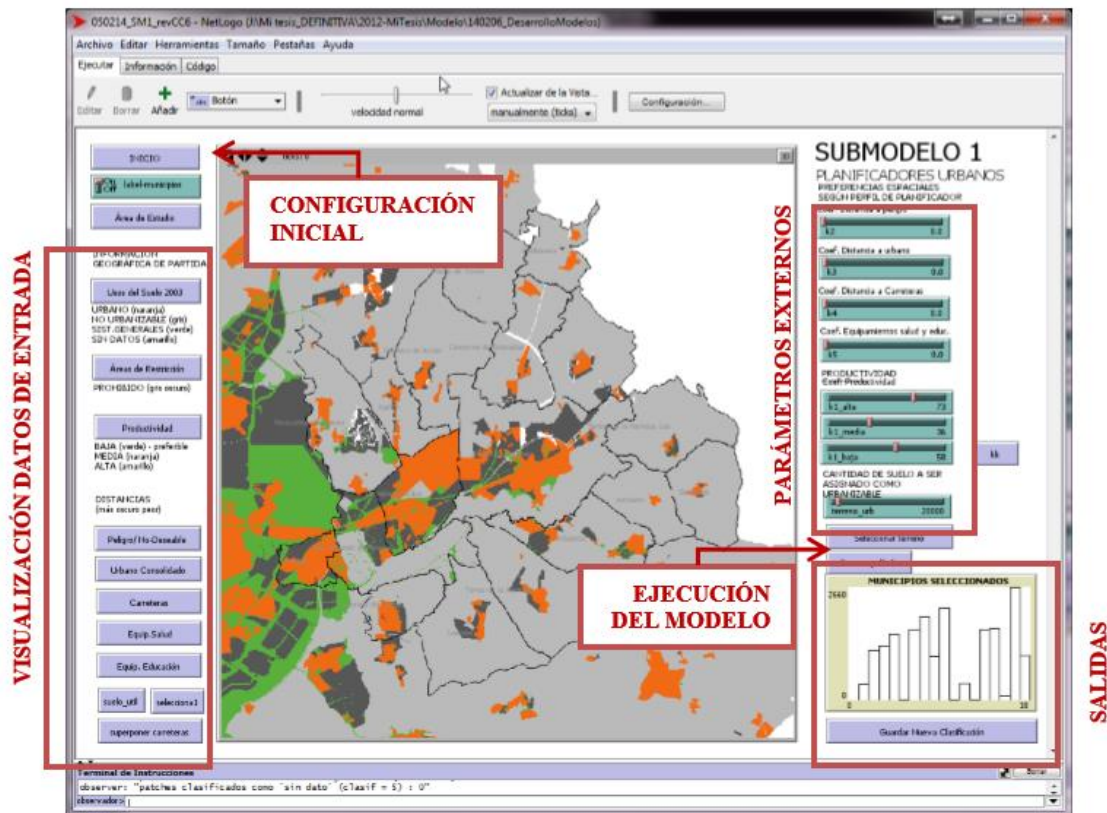


Figura 2.16. Ejemplo de interfaz gráfica integrando ABM y SIG en un estudio de planificación urbana (Cantergiani, 2017, p. 94).

En lo concerniente a las investigaciones sobre transporte y movilidad, algunos ejemplos destacables los encontramos en trabajos como el de Manley *et al.* (2014), quienes presentan un modelo híbrido aplicado al área de Londres que combina, por un lado, un nivel microscópico de detalle en el comportamiento de los conductores urbanos desde un enfoque de agentes con una simulación convencional de la dinámica de transportes urbanos a nivel macroscópico, por otro. Torrens (2014) elabora por su parte una propuesta de simulación de las conductas peatonales en función de la percepción y procesamiento de la información geográfica a un nivel de microanálisis, haciendo una decidida apuesta a favor de la utilización de autómatas geográficos, cálculos espaciotemporales y computación espacial en las investigaciones de movilidad. En relación con el tráfico de mercancías, Démare *et al.* (2017) proponen desde el ámbito disciplinar de la informática aplicada un modelo para un sistema logístico que conecta el puerto de Le Havre con su hinterland, a partir del diseño de un sistema basado en agentes, que además incluye una estructura de grafos dinámicos. El prototipo busca simular la organización interactiva de los

agentes que intervienen en la distribución de las mercancías con el objeto de tender hacia la optimización del sistema. Finalmente Wise *et al.* (2016) realizan un repaso desde los modelos FSM hasta los modelos LUTI para centrarse después en aquellas aplicaciones de ABM en las que el transporte resulta primordial para la simulación basada en agentes, haciendo hincapié en dos aspectos fundamentales de los sistemas de transporte complejos: *i)* la unidad de representación de comportamiento como factor relevante dentro de los modelos orientados al individuo, y *ii)* la necesidad de reproducir dichos comportamientos e interacciones en el marco de la morfología en red de los sistemas de transporte. De tal modo, la representación de la complejidad adquiere una relevancia central en los ABM que se ocupan de la movilidad y el transporte, pues los efectos de la autoorganización, la retroalimentación o el surgimiento de fenómenos emergentes en interacción con la estructura y dinámica del sistema producen impactos a diferentes niveles en función de las normas, restricciones y oportunidades que brinda el funcionamiento del propio sistema (tabla 2.2).

Tabla 2.2. Niveles de complejidad en un sistema de transporte basado en agentes, adaptado de Wise *et al.* (2016).

Nivel	Cualidades	Ejemplos
	Entornos espaciales sin restricciones de movimiento	Los agentes se mueven entre el trabajo a domicilio y otros tipos de ubicaciones a una velocidad constante en una cuadrícula
1	Medio ambiente limitado topológicamente, p. e. por una red o áreas de exclusión	Los agentes se mueven entre el hogar, el trabajo, etc., a una velocidad constante a lo largo de una red de carretera / ferrocarril / a pie
2	Estructuras ambientales topológicas cuyas restricciones limitan el movimiento	Los agentes se mueven entre el hogar, el trabajo, etc., a lo largo de una red de transporte, minimizando una función de costo económico
3	Las restricciones de la estructura topológica varían según las diferentes dimensiones de la simulación	Los agentes se mueven entre el hogar, el trabajo, etc., a lo largo de una red con niveles de tráfico fluctuantes, minimizando una función de costo con componentes económicos y temporales

Teniendo en cuenta esta categorización, los autores clasifican varios trabajos monográficos relacionados con diferentes ámbitos en la investigación en los que el transporte y la movilidad juegan un papel decisivo, ya que la dinámica de los sistemas urbanos observada desde la óptica de los agentes que los integran está cada vez más determinada por cómo, cuándo y por qué tienen lugar dichos movimientos de personas, bienes e información. La constatación de la creciente complejidad de los sistemas plantea de este modo un interesante reto para los investigadores, cuyas posibilidades de éxito estarán siempre en función de la disponibilidad y accesibilidad de amplias bases de datos verificables. Con este fin, la integración entre observación y simulación, de nuevo según Wise *et al.* (2016, p. 144), permite “identificar nuevas dinámicas, descartar correlaciones no comprobadas y medir la interacción entre ellas”, empleando siempre el factor distancia como elemento de conexión entre los modelos que se pretende entrelazar, lo

que obligará a los ABM a sofisticar sus procedimientos con arreglo a la mayor complejidad de los sistemas.

4.4.4. Nuevos horizontes para la Geografía del transporte y la movilidad

En efecto, de acuerdo con An (2012), los avances investigativos proporcionados por los enfoques basados en agentes y apoyados sobre una sólida base empírica han ampliado las perspectivas de análisis de los sistemas complejos, *i)* por su poder para modelar la toma de decisiones individuales de acuerdo con la heterogeneidad y la interacción/retroalimentación de los agentes, *ii)* por su capacidad de incorporar e integrar procesos naturales y humanos, estructuras, normas y políticas institucionales atendiendo a su dimensión espacio-temporal y *iii)* por ser capaces de incorporar el conocimiento multiescalar y multidisciplinar, aunando por ejemplo enfoques cualitativos y cuantitativos. Igualmente, Bretagnolle *et al.* (2006) reconocen el potencial de los ABM para explorar las complejidades de los sistemas urbanos surgidas debido al efecto de las interacciones espaciales a diferentes escalas. Según estos autores, el desarrollo de modelos que reproduzcan la circulación de información y toma de decisiones en función de reglas y restricciones podría llevar incluso a la formalización teórica de una “Geografía Artificial”. Tales son las expectativas de avance científico que recaen sobre los enfoques basados en agentes en su acoplamiento con las ciencias de información geográfica.

En este sentido, una nueva orientación producto de la intersección de diferentes modelos y métodos es la propuesta por el profesor de la Georges Mason University Andy Crooks en la web [Gisagents](#) (2018), donde se sugiere la combinación de enfoques basados en agentes con estructuras derivadas de las relaciones e intercambios sociales que se retroalimentan y evolucionan de modo no lineal hacia nuevas estructuras espaciales, en las que la proximidad social rebasa la proximidad geográfica (figura 2.17). Esto da lugar a un ámbito de investigación calificado como *geosocial*, que permite abordar nuevos interrogantes en la difusión espacial de fenómenos de relación y organización social desde la perspectiva de la interacción entre individuos.

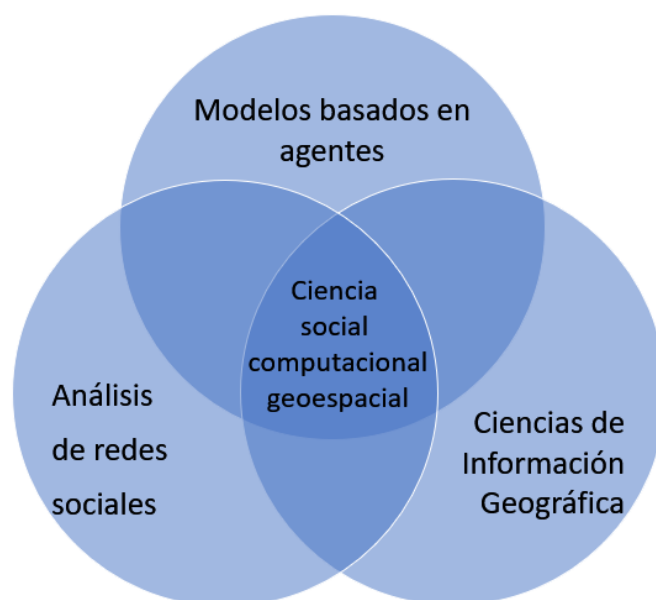


Figura 2.17. Intersección de áreas de investigación (adaptado de Crooks, 2018).

Hoy en día la ingente cantidad de información concentrada alrededor de las tecnologías de la comunicación y la información (TIC), más conocida como Big Data, constituye una enorme fuente de datos valiosos, detallados, interrelacionados, oportunos y de bajo costo (Kitchin, 2013) para modelar y simular fenómenos geosociales a una resolución espacial y temporal nunca antes imaginada. Más allá de mostrar propiedades que podrían suponer una serie de riesgos asociados a la interpretabilidad de semejante avalancha de información, como la vigencia de los datos debido a su gran velocidad de generación, la variedad de formatos y contenidos entremezclados, o una cuestionable veracidad a causa de problemas de sesgo o representatividad (Heppenstall *et al.*, 2016), Big Data dibuja ante la Geografía Humana un horizonte completamente diverso respecto a la escasez de datos y la extracción de conclusiones a partir de pequeños muestreos con los que trabajan los métodos estadísticos tradicionales (Kitchin, 2013), puesto que su contribución a los procesos de verificación, calibración y validación de datos geográficos en ABM a múltiples escalas podría suponer un gran empuje en las investigaciones desde la perspectiva de agente (Heppenstall *et al.*, 2016).

Si bien aún es necesario abordar el modo en que los nuevos yacimientos de información y la Geografía han de relacionarse ante los retos que plantean los nuevos fenómenos geográficos (Graham y Shelton, 2013), y a pesar de la, por el momento, atronadora ausencia de un marco ético en el que se articulen los consentimientos explícitos de los usuarios para la utilización de sus datos personales con fines científicos (Heppenstall *et al.*, 2016) el Big Data está llamado a ocupar un lugar central en la arquitectura futura de los ABM y la ciencia geosocial a través de la aportación de información tanto geoespacial como cualitativa que alimente, enriquezca y valide modelos multiescalares de sistemas complejos basados en agentes para la posterior simulación de sus comportamientos y relaciones en el espacio y el tiempo.

A pesar de estas prometedoras perspectivas queda aún un largo camino por recorrer hasta conseguir pulir los defectos y salvar las limitaciones que complican el acceso a los datos masivos. No obstante, es justo admitir que, gracias a la utilización de Big Data, como acertadamente concluyen Gutiérrez Puebla *et al.* (2016, p. 16), “no solo se pueden contestar a algunas de las preguntas tradicionales desde ópticas distintas (por ejemplo, por la mayor resolución espacial y temporal de los datos), sino que se pueden formular preguntas de investigación que no podían obtener respuesta recurriendo a las fuentes tradicionales”. Más allá de este reto, la integración de Big Data con ABM constituye un desafío aún mayor si cabe, al ampliar exponencialmente el espectro de análisis de una realidad social articulada por medio de los comportamientos, las decisiones y la capacidad de interactuar de los individuos que la componen en su relación con el espacio y el tiempo que habitan.

5. Conclusiones

5.1. Conclusiones respecto a la organización de los sistemas TMC

Con toda probabilidad, el aspecto más significativo acerca de cómo se organizan y colaboran entre sí los agentes TMC es la constante renovación de sus estructuras relacionales. Empleando las observaciones del sociólogo Bruno Latour (2005), deberíamos redefinir este tipo de colaboraciones sociales considerándolas como fenómenos que dependen de continuos movimientos de reasociación y reensamblado. En efecto, si algo pone de manifiesto la literatura especializada es que la interacción entre empresas, entre agentes, evoluciona y se reinventa como respuesta a los cambios socioeconómicos y los nuevos modos de producción y consumo, demostrando capacidad de reacción y adaptación ante los nuevos escenarios de la economía global.

Así, destacando su papel como tomadores de decisiones, Markusen (2003) pone el acento en el papel central que juegan los agentes al sostener que “las decisiones que toman las empresas dan forma tanto a la distribución interregional de la actividad económica como a la calidad y naturaleza del trabajo dentro de las regiones” (p. 26). Además, la gran diversidad de tipos de agentes que ofrece la literatura en relación con la estructura y dinámica de los sistemas TMC es un rasgo muy relevante asociado a su complejidad. Tal es así, que las redes que estos desarrollan, formadas mediante interacciones basadas en la transferencia de información y conocimiento, pueden ser explicadas, de acuerdo con Lindsay (2005), mediante la teoría de la complejidad, dado que la coevolución de un clúster, en tanto que agrupamiento de agentes, implica su adaptación, evolución e influencia sobre su entorno.

Los agentes TMC, pues, se autoorganizan formando estructuras de subcontratación o CST en el marco de un sistema espacial que se renueva a cada momento, donde el aprendizaje y los flujos de información y conocimiento (Choi *et al.*, 2001) constituyen su ADN o, dicho de otro modo, la sustancia que les permite conectarse y crear redes de colaboración e intercambio, derivándose de ello un alto grado de coevolución. Las propiedades que caracterizan a las CST contribuyen de igual modo a esta complejidad, ya que posibilitan la adaptación de estas a las inestables circunstancias de mercado y al cambio de las reglas de juego y las políticas de transporte. Por

ejemplo, la longitud de las CST o número de subcontrataciones dentro de una misma operación de transporte depende de varios factores (precio del porte, disponibilidad de vehículos, tipo de mercancía, condiciones generales de la operación, etc...), que se ven relativizados por cada uno de los agentes que participan en la cadena y que, por tanto, adquieren una dimensión diferente para cada uno de ellos. Por tanto, las CST son estructuras de colaboración capaces de reproducirse alterando la composición y el número de participantes, lo que deriva en una ampliación de la red de gestión del conocimiento.

Situándonos en el ámbito local y regional, la complejidad espacial se detecta a través de estructuras espaciales significativas (Wilson, 2002). Los clústeres basados en el conocimiento son una de estas estructuras, entendidas como redes que “conectan empresas a través de la transferencia de conocimientos relacionados con la innovación” (Giuliani, 2007, p. 144). Sin embargo, tal y como hemos podido comprobar más arriba, la literatura dedicada a los modos de colaboración e interacción a través del conocimiento en el marco de los clústeres logísticos se limita a no demasiadas investigaciones. Otras aportaciones desarrolladas en otros tipos de clústeres, no obstante, ayudan a identificar dinámicas de colaboración espacial no constreñidas únicamente al factor proximidad (Giuliani, 2007) o relacionadas con el conocimiento externo (Lindsay, 2005), que pueden ser incorporadas y adaptadas a la comprensión de los clústeres logísticos. Las peculiaridades de un sector tan sumamente singular como es el sector TMC merecen, por tanto, el emprendimiento de investigaciones que aporten luz a su comportamiento y organización espacial local y regional desde una perspectiva individualizada o de agente.

5.2. Conclusiones respecto al uso de encuestas en la Geografía del transporte

La elección de herramientas apropiadas para la recogida de datos y su posterior análisis resulta fundamental para el éxito de una investigación. Por tanto, el método elegido deberá adecuarse a las preguntas que se plantean de inicio y al tipo de información que se pretende alcanzar (Clifford et al., 2010). En tanto que científicos sociales, los geógrafos han venido empleando el método de encuestas desde hace décadas para tratar de comprender las interrelaciones entre el ser humano y el territorio (Morris, 1950), ampliando de tal modo las líneas de investigación existentes y abriendo otras nuevas. En los últimos tiempos, la tecnología de la información y las comunicaciones ha mejorado estas herramientas, ofreciendo nuevas variantes a la recopilación de datos individuo por individuo, como son las encuestas web. Esta modalidad cuenta con importantes ventajas en cuanto al muestreo, la cobertura y la medición de resultados, mientras que la falta de contacto personal inherente a la misma elude el compromiso explícito por parte del encuestado a completar de forma íntegra el cuestionario. Por ello, los inconvenientes que estas acarrearán podrían hacer de ellas un instrumento desaconsejable para la obtención de datos estadísticos (Bethlehem y Biffignandi, 2011), si bien las evidencias demuestran que las encuestas web que cuentan con un buen diseño mejoran la calidad de los datos recogidos frente a otras modalidades de encuesta (Couper, 2011).

La Geografía del transporte se ha visto igualmente beneficiada por estas mejoras. De tal modo, los estudios de transporte vienen empleando cada vez con mayor frecuencia las encuestas autocompletadas vía web (Allen *et al.*, 2012), que permiten plantearse el acceso al conocimiento

relacionado con el funcionamiento interno de las empresas, sus procedimientos de trabajo o sus sistemas de comunicación y aprendizaje. Sin embargo, las dificultades que entraña superar las reticencias de una buena parte de las empresas a colaborar en las encuestas tienen un claro efecto en las bajas tasas de respuesta que muestra gran parte de ellas (Allen *et al.*, 2012; Solakivi y Ojala, 2017). La representatividad de los resultados obtenidos en estos estudios constituye, por tanto, un importante aspecto de mejora para posteriores estudios, así como una oportunidad de estrechar relaciones entre el mundo empresarial y la investigación universitaria mediante la búsqueda de ámbitos de colaboración en el sector del transporte de mercancías.

A pesar de estos intentos, la escasez de estudios dedicados expresamente a comprender las relaciones de dependencia entre agentes del sector del transporte de mercancías es una cruda evidencia que debe ser subsanada con la aportación de nuevas investigaciones. Expresando esta necesidad, Brekalo y Albers (2015), refiriéndose a la colaboración horizontal entre dichos agentes, animan a los investigadores/as a emprender nuevas encuestas “para explorar los vínculos e interdependencias en los factores de impacto que intervienen en el desempeño” (p. 35). Los futuros trabajos académicos, en palabras de Sheffi *et al.* (2019, p. 19), “deberían investigar mecanismos adicionales, no solo de gobernanza, que emplean las empresas para desarrollar una colaboración horizontal exitosa y cosechar los beneficios potenciales asociados a estas relaciones”. Para ello, prosiguen, es fundamental el empleo de métodos cualitativos y métodos orientados al descubrimiento (Sheffi *et al.*, 2019). Algunos métodos mixtos han combinado diferentes modos de acceso a los encuestados, como el correo y las encuestas web (Dillman *et al.*, 2014; Smyth *et al.*, 2018) o las encuestas y las entrevistas (Rivera, 2014), aportando un enfoque más flexible y eficiente con el que afrontar la complicada tarea de recabar las informaciones deseadas. Incluso la introducción de técnicas mixtas aún más novedosas, como el empleo de encuestas web que recogen información espacial mediante el empleo de GIS (Shmool *et al.*, 2018), podría suponer una alternativa a los modelos convencionales de pregunta-respuesta, que han proporcionado hasta el momento un éxito moderado a las investigaciones sobre las interacciones entre empresas TMC. Por todo ello, existe un amplísimo margen de evolución y mejora en lo que a este tipo de estudios se refiere.

5.3. Conclusiones respecto a los modelos ABM

Decir que la realidad en toda su amplitud de procesos, formas y matices espaciales constituye el objeto de estudio de la Geografía puede ser interpretado por algunos como una afirmación algo pretenciosa, demasiado vaga o deliberadamente ingenua. Sin embargo, lo cierto es que la ciencia geográfica ha venido demostrando a lo largo de los últimos años que esto no solo es así, sino que puede abarcar mucho más, siempre y cuando sus argumentaciones, planteamientos e hipótesis descansen sobre la base de un sólido corpus ontológico que a su vez tolere la incorporación de nuevos enfoques a su arquitectura. En este sentido, el asentamiento de dichos cimientos pasa necesariamente por el reconocimiento de la enorme complejidad que caracteriza a los sistemas geosociales hoy en día. La realidad es, en efecto, demasiado compleja como para reducir la explicación de su funcionamiento a una mera red interconectada de tránsito de flujos materiales e inmateriales, donde los lugares son o bien aglomeraciones o bien intersticios en función de la distancia que los separa de ella. Marston *et al.* (2005), en pleno centro del debate ontológico,

destacan el poder del proceso frente al flujo, la tentativa frente al hecho consumado, el valor de la voluntad individual frente a la agregación, puesto que “es aquí, en el medio del evento -en los sitios de composición singular que rara vez se asemejan a objetos discretos y unitarios- donde se encuentra la producción del espacio social” (Marston *et al.*, 2005, p. 423). Estos mismos autores, en su propuesta de una ontología geográfica plana, cuestionan los modelos escalares que dependen de estructuras jerárquicas en las que la práctica social ocupa el escalón más bajo y que, por el contrario, otorgan a fenómenos a escala planetaria como la globalización una significación social y territorial en grado sumo. Por ello, proponen la “superación de los límites de las ontologías globalizantes” (Marston *et al.*, 2005, p. 424) y la construcción de nuevos conceptos que pongan en valor las singularidades y materialidades del espacio. Así, la toma de conciencia de lo local frente a lo global (Gibson-Graham, 2002; Santos, 2004), del lugar como espacio de coexistencia humana ha de permitir a los geógrafos perseverar en su empeño de seguir construyendo conocimiento geográfico, ya que es precisamente esta perspectiva horizontal, este enfoque basado en los individuos, el que nos mantiene en contacto con las cosas que pretendemos describir (Schatzki, 2002). De cualquier manera, sea esta o cualquier otra la base ontológica sobre la que descansa el andamiaje científico de la Geografía del siglo XXI, lo cierto es que los nuevos enfoques y métodos, la complejidad como facultad intrínseca del mundo actual y la necesaria perspectiva crítica que debe subyacer a toda investigación en ciencias sociales exigen su encaje en un constructo teórico vigoroso y resuelto a favorecer la participación de la ciencia geográfica en la mejora de la relación entre individuos, política y territorio.

En las páginas precedentes se han tratado de reunir las aportaciones más significativas a la investigación de los modelos de transporte, especialmente de mercancías, remarcándose en este recorrido la práctica ausencia de estudios desde el ámbito de la Geografía. En cambio, la utilización de modelos como herramientas de experimentación y simulación viene siendo habitual en disciplinas como la ingeniería y la economía, si bien en sus investigaciones la relación de los sistemas de transporte con el territorio es tratada de una manera superficial debido a una resolución espacial insuficiente en sus modelos, y los aspectos sociales asociados al transporte y a sus impactos rara vez se tienen en cuenta (Wegener, 2004). Lejos de las orientaciones más puramente geográficas estas investigaciones se centran sobre todo en temas más técnicos, si bien su valor para la Geografía es enorme, ya que ponen en práctica teorías y enfoques por medio de nuevas metodologías cuya adaptabilidad y aplicabilidad a los conceptos geográficos de transporte y movilidad es perfectamente posible y recomendable. El propósito de este repaso ha tenido, pues, una doble vertiente: Por un lado, se ha tratado identificar la progresión habida en la investigación de los sistemas de transporte desde los modelos agregados tradicionales, poco o nada sensibles con la intervención de los agentes que operan en ellos, hasta los prototipos más recientes en los que no solo se reproducen las interrelaciones entre individuos y se simula su toma de decisiones, sino que tratan de referenciar espacialmente el ámbito de estudio por medio de la integración con SIG, si bien a un nivel todavía muy básico. Por otro lado, se ha pretendido poner al descubierto los enormes vacíos que estas líneas de investigación van dejando en lo social y lo espacial, y que precisamente son el terreno propicio para la Geografía del transporte y la movilidad. Los enfoques basados en agentes proporcionan en este sentido poderosas herramientas con las que analizar sistemas cuya complejidad puede ser modelada y simulada en función de parámetros que tienen que ver con las decisiones, actitudes, destrezas y capacidad de interacción de los individuos que articulan dichos sistemas, interactuando asimismo con el

espacio y tiempo en los que estos sistemas se desarrollan. Es por tanto innegable el impacto de los ABM en las ciencias sociales (Gilbert, 2008; Gilbert y Troitzsch, 2004; Heppenstall *et al.*, 2012; Izquierdo *et al.*, 2008; Macal y North, 2009 y 2010; Moss y Davidsson, 2000; Torrens, 2010) y su progresión en las ciencias espaciales y geosociales a través de su acoplamiento con los SIG y (Crooks, 2015 y 2018). En opinión de Macal (2016), a tenor del cambio de paradigma al que asistimos en el terreno de la simulación, podría llegar a considerarse incluso que los ABM constituyen una auténtica revolución científica con una enorme proyección futura.

Los problemas a los que se enfrenta la Geografía en este nuevo escenario, sin embargo, no son desdeñables. Algunos de ellos tienen que ver con cuestiones como la validación, calibración y verificación de los modelos a partir de tipos de fuentes y muestreos que pueden llegar a ser cuestionados, como por ejemplo la utilización de Big Data, aunque buena parte del futuro de muchas investigaciones sobre transporte y movilidad dependerá de la gestión y explotación de este profundo y extenso océano de datos. Igualmente, la comunicación de resultados y su replicación por parte de la comunidad científica es un paso necesario para la aceptación de los modelos, aunque no siempre se lleve a cabo (Grimm *et al.*, 2006), lo cual sugiere que, de acuerdo con García-Valdecasas (2016), “la simulación basada en agentes necesita todavía mejorar su metodología para construir modelos más transparentes, comprobables y replicables” (p. 38). Finalmente, tal y como se mencionaba al comienzo de este punto, la profundización en enfoques más cercanos a los individuos y a la realidad socioespacial más próximos a la representación inteligible de eventos, ritmos y herencias (Simandan, 2005), reclama un intenso debate en torno a los propósitos que la ciencia geográfica debe fijarse para responder a los retos que plantea la sociedad de la información y el conocimiento. En los fundamentos de estos enfoques la Geografía ha de encontrar una zona de contacto interdisciplinar y colaborativa, un espacio de innovación orientado a su porvenir, en definitiva, un lugar en el que reflexionar sobre la Geografía de las geografías.

Capítulo 3. El área DABB: un entorno idóneo para un estudio de caso

CAPÍTULO 3. EL ÁREA DABB: UN ENTORNO IDÓNEO PARA UN ESTUDIO DE CASO

1. Introducción

Los estudios de caso son empleados para la demostración de cómo herramientas teóricas pueden ser aplicadas al mundo social (Gregory *et al.*, 2011). De tal modo, uno de los aspectos clave de esta investigación lo constituye la elección de un entorno espacial con una concentración de actividad TMC significativa con el fin de proporcionar un ámbito de aplicación del modelo. En nuestra investigación ese entorno espacial de referencia es el área DABB, situada en el sector oriental de la provincia de Gipuzkoa.

Como se comprobará en las líneas siguientes, este entorno goza de unas condiciones de especial valor para el análisis de las dinámicas espaciales de la operativa del transporte de mercancías por carretera. Debido a su carácter fronterizo, su importancia dentro de la red de transporte y comunicaciones europea ha ido ganando enteros desde la incorporación de España a la actual Unión Europea en 1986, y posteriormente, tras la supresión de las aduanas en 1993, que dio paso a la libre circulación de personas y mercancías. Estos y otros hitos históricos en el marco de la organización interna de la unión aduanera y monetaria europea han tenido un hondo impacto en esta área, que, al socaire de estas transformaciones, ha visto modificadas sus estructuras productivas hacia una acusada terciarización, donde el sector TMC ocupa un lugar de especial relevancia.

En esta breve exploración en torno al área DABB, en primer lugar, se hablará de su composición y sus particularidades. Seguidamente, situaremos a nuestra área de referencia en relación con el Arco Atlántico Europeo y, para finalizar, analizaremos algunos datos acerca de su nivel de participación en el sector TMC y la localización de entornos de actividad de transporte.

2. Particularidades del área DABB

Situada en el extremo oriental de la Comunidad Autónoma de Euskadi, en contacto con la frontera con Francia, el área DABB se compone de trece municipios repartidos en dos comarcas pertenecientes a la provincia de Gipuzkoa. La comarca más oriental es Bidasoa-Beherea o Bajo Bidasoa, integrada por los municipios de Irun y Hondarribia, cuyo límite noreste constituye la frontera con Francia, y donde Irun sobresale como el segundo centro urbano más grande de la provincia. Por otro lado, la comarca de Donostialdea está formada por once municipios, entre los que destaca Donostia-San Sebastián como capital de la provincia y referente urbano de primer orden. Alrededor de este centro urbano se sitúan varios municipios con importante peso

demográfico como Errenteria, Lasarte-Oria, Hernani, Pasaia o Andoain, que forman la corona industrial de la comarca. Finalmente, otros municipios de menor tamaño se integran en esta área, como Oiartzun, Lezo, Astigarraga, Usurbil y Urnieta.

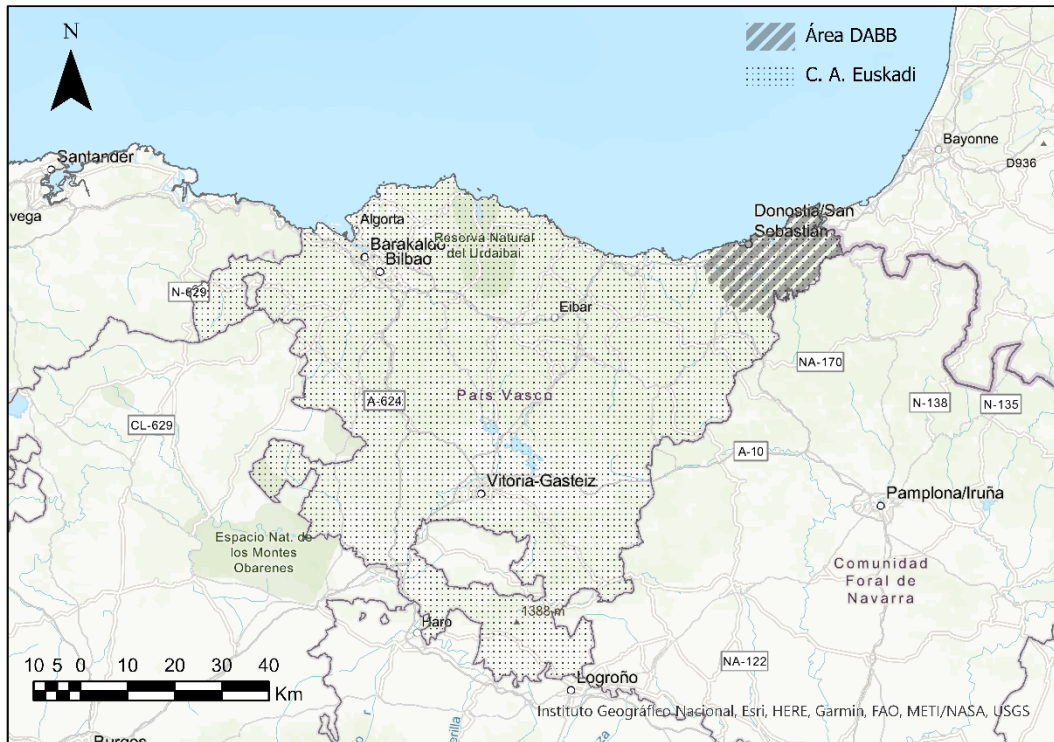


Figura 3.1. Localización del área DABB en la Comunidad Autónoma de Euskadi.

El área DABB es, pues, un territorio densamente poblado formado por ciudades de tamaño medio y pequeño alrededor de un centro urbano de gran entidad, con un total de 406.497 habitantes según la Estadística Municipal de Habitantes a fecha de 1 de enero de 2021 (Eustat, 2022). El 60% de la población se concentra en los municipios de Donostia-San Sebastián e Irun, que a su vez reúnen el 67% de los establecimientos de toda actividad económica en el área. Las nuevas Directrices de Ordenación del Territorio de la Comunidad Autónoma de Euskadi (en adelante DOT), aprobadas definitivamente en 2019 y publicadas en 2020, sitúan nuestra área en el marco de un sistema polinuclear de capitales formado por tres áreas funcionales alrededor de las tres capitales de provincia de la Comunidad, donde el Área Funcional de Donostialdea-Bajo Bidasoa se compone por una cabecera (área urbana integrada de Donostia-San Sebastián) y una subcabecera (Irun). De acuerdo con las DOT (2020), el área DABB presenta ciertas excepcionalidades por su menor limitación topográfica en comparación con otras comarcas de la Comunidad y su situación estratégica respecto a los ejes de comunicación con Europa, lo que ha permitido la conformación de una gran área metropolitana “en la que existe una clara interdependencia entre los trece municipios que la conforman” (DOT, 2020, p. 143).

Por otro lado, el área DABB se ha caracterizado en los últimos por una intensa actividad económica, tanto en el ámbito de la empresa privada como en la promoción de políticas públicas, direccionada hacia sectores con mayor potencial de desarrollo e innovación. De acuerdo con Méndez y Caravaca (1996), la rápida transformación de los espacios urbanos para dar respuesta a los cambios socioeconómicos está relacionada con nuevas demandas de las empresas, impulsándose de tal modo un proceso de terciarización que afecta a estos espacios en diferentes niveles. Precisamente, uno de estos entornos es el área DABB, el cual ha ido transitando a lo largo de las últimas décadas desde un modelo muy dependiente de las actividades industriales hacia otro intensamente terciarizado, alcanzando tasas del 77% de empleo en actividades del sector servicios en el caso de la comarca de Bidasoa-Beherea y del 82% en el caso de Donostialdea, las más altas de toda la Comunidad Autónoma con la sola excepción del Gran Bilbao, igualmente con 82% (Eustat, 2021).

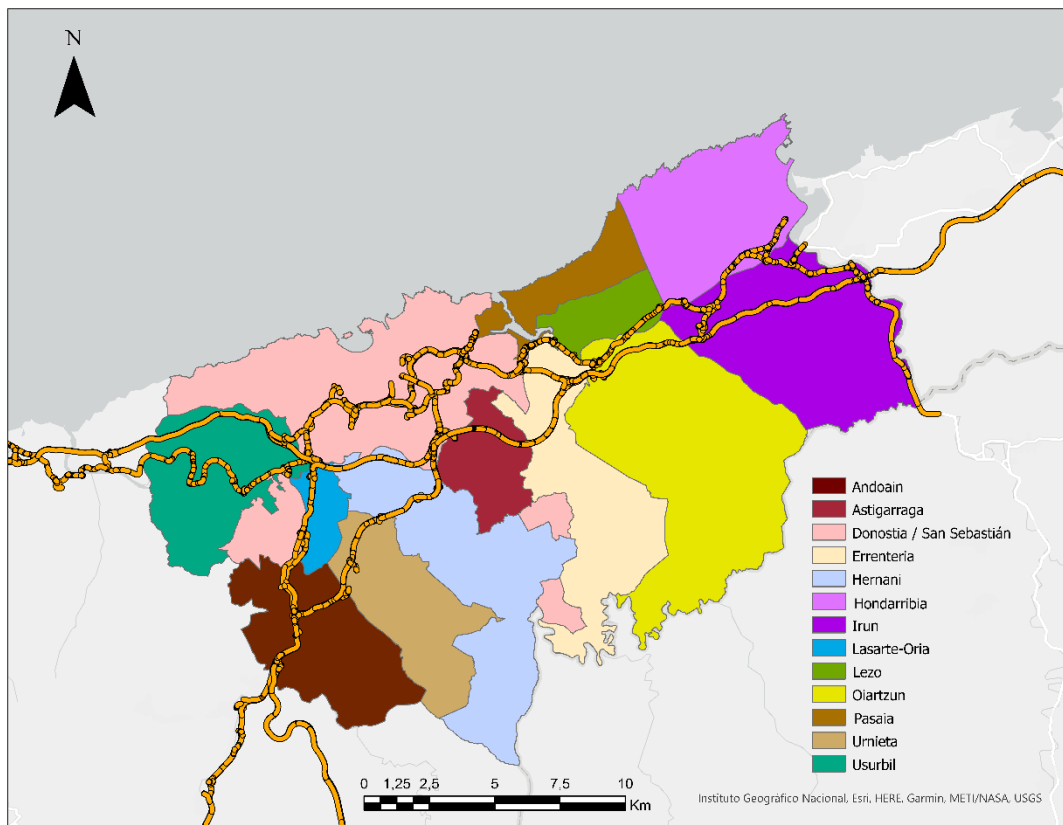


Figura 3.2. Los trece municipios que conforman el área DABB y sus principales arterias de comunicación por carretera.

Frente a otras zonas de la cornisa cantábrica donde el proceso de integración hacia las políticas económicas de la UE fue ahondando cada vez más en una crisis estructural de su sistema productivo (Vázquez García y Pérez González, 1998) el área DABB mostró una “menor dependencia en relación con las actividades industriales más vulnerables a la crisis” (DOT, 2020, p. 143), si bien existen ciertas diferencias entre los municipios de la corona metropolitana

(Andoain, Hernani, Urnieta, Lezo, Pasaia o Usurbil), los cuales presentan una mayor vocación industrial que aquellos más terciarizados (Donostia-San Sebastián, Irun u Hondarribia).

3. ¿Por qué el área DABB?: su ubicación en el Arco Atlántico

En relación con la organización espacial del transporte, Rodrigue *et al.* (2017) sostienen que ciertas áreas se diferencian del resto como resultado de un proceso de acumulación de recursos y de aglomeración urbana y empresarial, al mismo tiempo que interactúan espacialmente con otras áreas a través del establecimiento de flujos de intensidad desigual. El carácter de espacio de tránsito entre la Península Ibérica y el continente, sumado a su acreditada vocación emprendedora y comercial, sitúan a la Comunidad Autónoma de Euskadi en una posición muy favorable respecto a los flujos de mercancías e información. Tal y como se recoge en las DOT (2020), en este territorio “destaca su ubicación dentro del Arco Atlántico, donde constituye un eslabón clave, punto de intermodalidad dentro del Eje Atlántico y paso obligado para el acceso de la Meseta hacia Europa, convirtiéndose en una puerta de acceso hacia la Unión Europea para diferentes comunidades autónomas y Portugal” (p. 295).

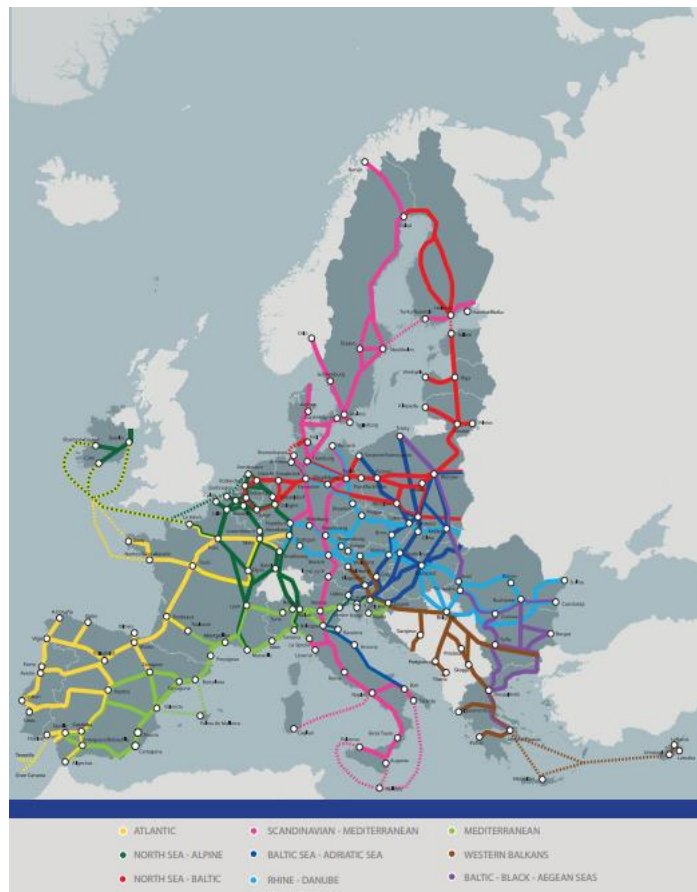


Figura 3.3. Principales ejes de comunicación de la UE (fuente: CPMR, Atlantic Arc Commission, 2022).

Con el fin de aprovechar el potencial de este entorno y las externalidades derivadas de las economías de aglomeración, tanto organismos locales como de ámbito europeo han puesto en marcha en las últimas décadas diferentes políticas públicas para fortalecer el eje Atlántico dentro de la red europea de tránsito de mercancías e información. En este sentido, teniendo en cuenta la integración de la Comunidad Autónoma de Euskadi en la Red de Transporte de la Unión Europea - Transeuropea (RTE-T), “resulta imprescindible activar políticas con el objetivo de disponer de infraestructuras logísticas que respondan a dicha necesidad del transporte de mercancías, especialmente desde la perspectiva del comercio exterior” (DOT, 2020, p. 295).

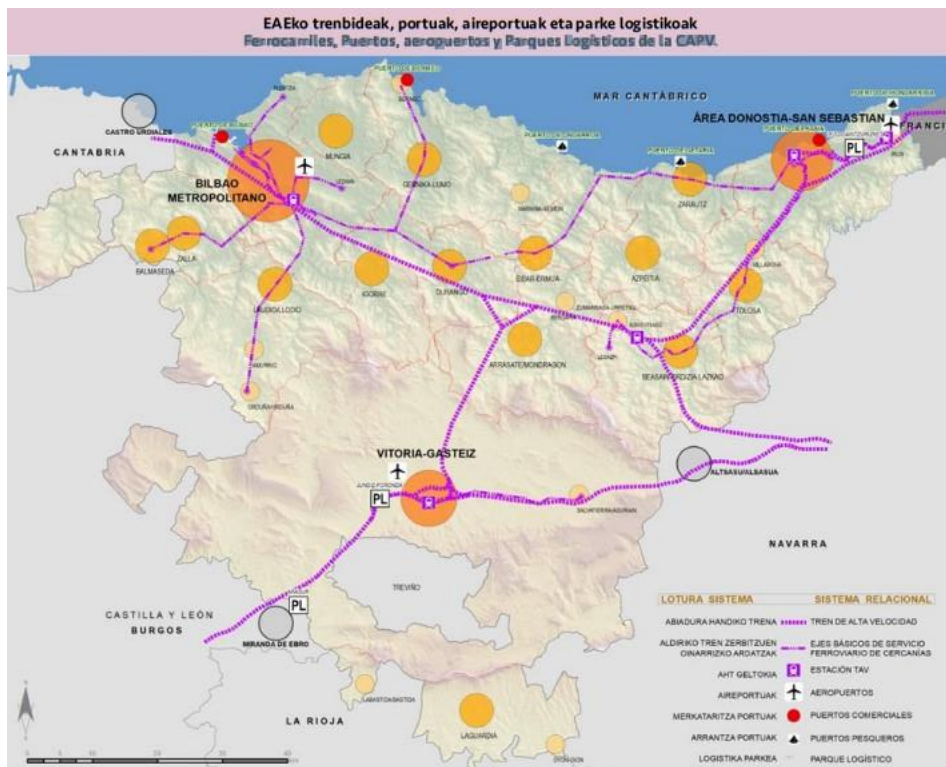


Figura 3.4. Planificación de las vías de comunicación y parques logísticos en la Comunidad Autónoma de Euskadi a partir de las Directrices de Ordenación del Territorio (fuente: DOT, 2020).

Algunas de estas políticas afectan directamente al área DABB, como, por ejemplo, el planteamiento de la Eurociudad Vasca Bayona-San Sebastián como proyecto de cooperación transfronteriza basado, entre otros aspectos, en su localización estratégica a nivel atlántico y europeo. En esta línea, las DOT plantean, entre otras iniciativas, la integración de los sistemas de transporte o la “utilización integrada de grandes infraestructuras de conexión exterior” (DOT, 2020, p. 150). Por otro lado, la mejora de equipamientos de transporte además de la construcción de un gran Centro Integral de Transportes en el municipio de Astigarraga son algunas de las actuaciones públicas más importantes desarrolladas por la Diputación Foral de Gipuzkoa para reforzar el carácter de zona estratégica del área DABB en la red de transportes europea.

Finalmente, la proximidad de grandes polos estratégicos de gestión del transporte de mercancías, como son las plataformas logísticas de Burdeos y Zaragoza, además del puerto de Bilbao, entre los cuales el área DABB constituye un punto obligado de paso tanto para las mercancías que emplean el transporte ferroviario como para aquellas transportadas por carretera, convierten a esta área en un nodo de conexiones de muy alta relevancia dentro de la red atlántica.

4. El sector del transporte de mercancías en el área DABB

Todas estas potencialidades y políticas públicas otorgan al área DABB una posición ventajosa para la implantación de empresas de transporte de mercancías y, más ampliamente, para el desempeño de todo tipo de actividades logísticas. Sin embargo, la especialización del área DABB en el sector TMC, integrado en la clasificación nacional de actividades económicas CNAE-2009 en el código 4941, no es homogénea en todos los municipios. En la figura 3.5. pueden comprobarse las diferencias existentes entre el peso demográfico que presentan algunas localidades y su aportación al sector TMC en cuanto a la presencia de establecimientos dedicados a esta actividad. La desproporción entre ambos indicadores es especialmente notable en los dos principales núcleos urbanos del área DABB, siendo en Donostia-San Sebastián la presencia de empresas TMC muy inferior a su peso demográfico, dándose el caso contrario en el municipio de Irun. Otras localidades de la corona metropolitana muestran igualmente un importante desequilibrio en favor de una mayor concentración de la actividad TMC, como por ejemplo Errenteria, Oiartzun, o Urnieta.

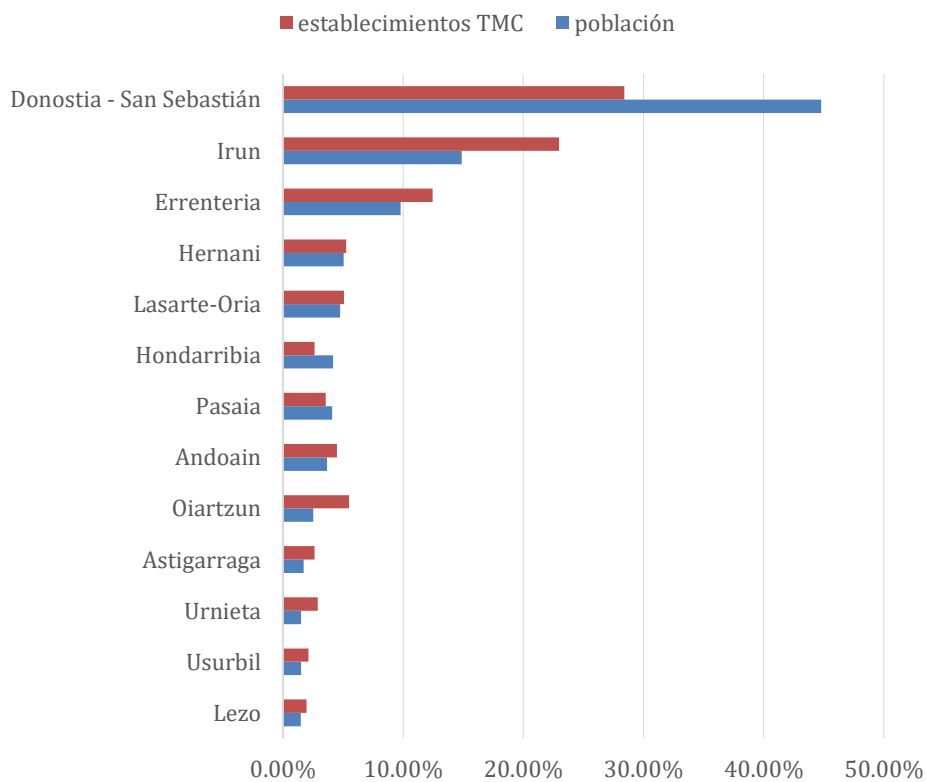


Figura 3.5. Peso demográfico y presencia de establecimientos TMC por municipio en términos relativos en el año 2021 (fuente: EUSTAT, 2021).

En este sentido, la tabla 3.1 recoge los cocientes de localización de la actividad TMC en cada uno de los municipios tomando como referencia tanto la provincia de Gipuzkoa como el conjunto de la comunidad autónoma. Este indicador se obtiene tomando el número de establecimientos dedicados al sector TMC en un municipio y dividiéndolo entre el total de establecimientos de todas las actividades económicas en ese mismo municipio (CL_m). A continuación, se realiza la misma operación con los datos del territorio de referencia (CL_t). Un resultado del cociente CL_m/CL_t mayor que 1 muestra una especialización superior de ese municipio en el conjunto del territorio de referencia, mientras que los valores superiores a 2 indican una fuerte especialización (Méndez *et al.*, 2005; 2007).

Tabla 3.1. Cociente de localización de la actividad 4941-Transporte de Mercancías por Carretera (CNAE-2009) por municipios, frente a los totales de Gipuzkoa y de la Comunidad Autónoma de Euskadi (fuente: EUSTAT, 2021)

	Respecto a Gipuzkoa	Respecto a la C. A. de Euskadi
<i>Andoain</i>	1.70	1.57
<i>Astigarraga</i>	1.08	1.00
<i>Donostia - San Sebastián</i>	0.55	0.51
<i>Erreterria</i>	1.98	1.83
<i>Hernani</i>	1.18	1.10
<i>Hondarribia</i>	0.76	0.70
<i>Irun</i>	1.59	1.48
<i>Lasarte-Oria</i>	1.61	1.49
<i>Lezo</i>	1.39	1.29
<i>Oiartzun</i>	1.64	1.52
<i>Pasaia</i>	1.29	1.20
<i>Urnieta</i>	2.05	1.90
<i>Usurbil</i>	1.31	1.21
<i>DABB</i>	1.01	0.93

De acuerdo con el cociente de localización, vemos que la concentración de establecimientos TMC es muy importante en localidades de la corona metropolitana como Andoain, Lasarte-Oria, Erreterria o Urnieta, mientras que municipios costeros como Donostia-San Sebastián u Hondarribia son los únicos que muestran valores inferiores a 1. La transición hacia la terciarización registrada en mayor o menor medida en toda el área DABB muestra importantes diferencias en cuanto a la distribución espacial del tipo de servicios, situándose las actividades administrativas, servicios de I+D+i u otros servicios a empresas preferentemente en entornos centrales, favorecidos por el turismo y con mayores niveles de renta per cápita, y posicionando como receptores de las actividades dedicadas al transporte de mercancías, los servicios logísticos y otros servicios de asistencia, como talleres de reparación y recambio o estaciones de servicio, a los entornos periféricos del área metropolitana.

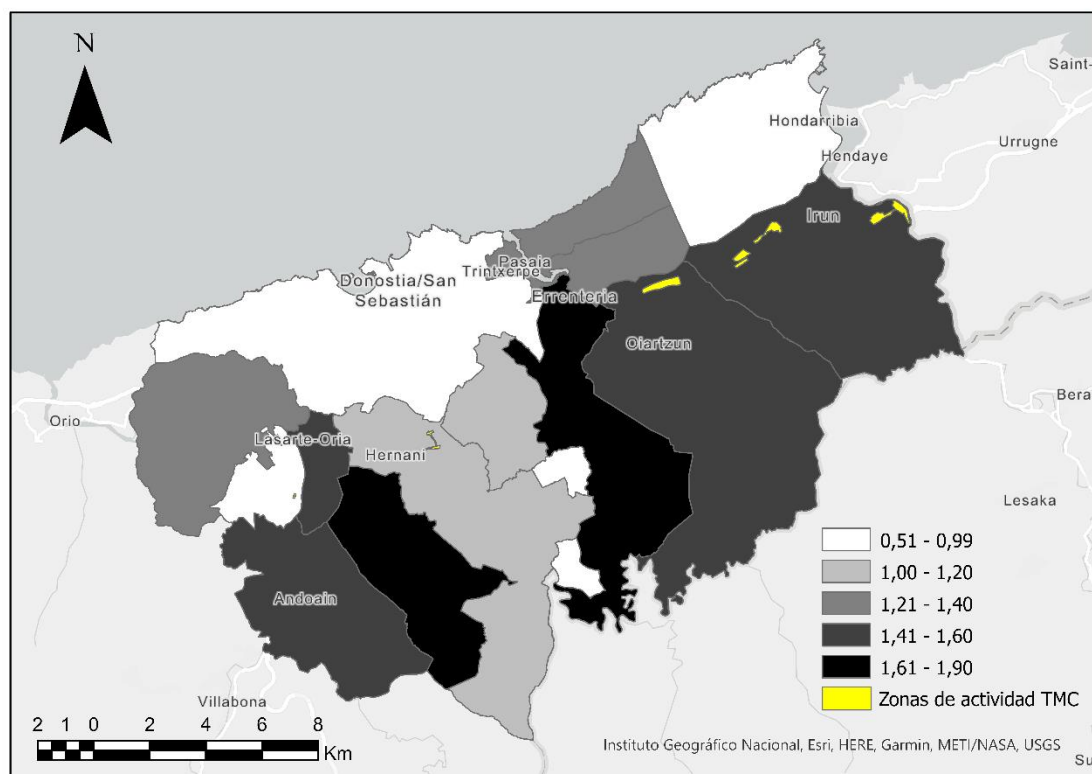


Figura 3.6. Distribución del cociente de localización de la actividad 4941-Transporte de Mercancías por Carretera (CNAE-2009) en los municipios del área DABB y zonas de actividad TMC (fuente: EUSTAT, 2021).

Por otra parte, la actividad TMC en Iruñea y Oñate merece una mención especial, dado que en estos dos municipios se localizan zonas específicas de actividad TMC, como son la plataforma logística transfronteriza ZAISA, en Iruñea, y el parque logístico Lanbarren, en Oñate. Ambos proyectos tienen su origen en la promoción pública de suelo dedicado a las actividades de logística y distribución, y su gestión corresponde casi por entero a instituciones públicas de ámbito municipal, provincial y autonómico. En la figura 3.5, además de estas dos áreas, podemos observar otros entornos en los que la actividad TMC se localiza de modo importante, si bien como complemento de otras actividades de tipo industrial.

Finalmente, al igual que en otras zonas de concentración de esta actividad, la distribución espacial de empresas del sector TMC, como sugiere Rivera (2014), sigue patrones de localización muy variados en función del tamaño empresarial, de los servicios ofertados o de las instalaciones que requiere la prestación de dichos servicios, entre otros. Por esta razón, los altos cocientes de localización que presentan algunas localidades como Errenteria o Urnieta no se corresponden con la existencia en ellos de entornos de actividad bien definidos espacialmente, dado que en muchos casos estas empresas están formadas por transportistas autónomos, es decir, empresas unipersonales cuya razón social se sitúa en el propio domicilio (Salas-Peña, 2021).

5. Conclusiones

En este capítulo hemos tratado de demostrar la idoneidad del área DABB como estudio de caso de la operativa del transporte de mercancías por carretera y su dinámica espacial. Las especiales características de este entorno, tales como su localización en una zona transfronteriza atravesada por el importante eje atlántico europeo y su alta concentración de empresas del sector del transporte de mercancías y otras actividades logísticas, le sitúa en una posición preferente como nodo en la red de flujos y comunicaciones europea. Este carácter de nodo está reforzado por la proximidad de dos importantes *hubs* de distribución de mercancías en un radio de 250 km (Burdeos y Zaragoza) y del puerto de mercancías más importante de la cornisa cantábrica (Bilbao), entre los que el área DABB actúa como engranaje de conexión. Además de ello, o a consecuencia de esta circunstancia excepcional, el área DABB ha adaptado en las últimas décadas sus infraestructuras de comunicación y su tejido productivo hacia actividades de transporte y distribución de mercancías aprovechando las externalidades positivas que se derivan de su condición de área metropolitana transfronteriza.

Por último, la elección del área DABB no se justifica únicamente debido al interés generado por sus peculiares características y por su enorme potencial de análisis, sino también debido a que se trata de un entorno profundamente explorado por el autor de esta investigación, ya que desarrolló en el mismo una dilatada actividad profesional en el sector objeto de análisis, esto es, el transporte de mercancías por carretera. Este hecho, teniendo en cuenta el enfoque de agentes empleado como base metodológica de este estudio, ha permitido la obtención de resultados a nivel individual y el acceso a fuentes de información que de otro modo hubieran resultado mucho más dificultosas.

Capítulo 4. Fundamentos metodológicos

CAPÍTULO 4. FUNDAMENTOS METODOLÓGICOS

1. Introducción

La singularidad del área de Donostialdea y Bidasoa-Beherea (en adelante DABB) derivada de su situación geográfica, por un lado, y de la intensa concentración de actividad de transporte, por otro, ofrece una oportunidad inmejorable para abordar la complejidad de los sistemas de Transporte de Mercancías por Carretera (en adelante sistemas TMC) a partir de sus dinámicas de contratación y, posteriormente, analizar la generación de entornos de colaboración preferenciales.

Para alcanzar este objetivo, la metodología empleada en esta investigación se sostiene sobre dos pilares fundamentales. En primer lugar, los datos necesarios para comprender los mecanismos que rigen los procesos de decisión e interacción de los agentes que intervienen en los sistemas TMC fueron recabados a través de una encuesta denominada TRANSOPE (transport operations) y realizada en 2019 a empresas de diferente rango que operan en el área DABB. El resultado revela una valiosa información en cuanto a estructuras de contratación y criterios de contratación y colaboración, entre otros aspectos. Del mismo modo, la encuesta permite la caracterización de los agentes que toman parte en los sistemas TMC a través de sus decisiones, sus procedimientos internos y sus restricciones o limitaciones.

La segunda base metodológica de la investigación consiste en la construcción de un modelo diseñado e implementado mediante inteligencia artificial que simula la formación de cadenas de subcontratación de transporte bajo diferentes condiciones y circunstancias. El empleo de modelos en el análisis geográfico es cada vez más frecuente en las ciencias espaciales. Una de las razones del éxito de esta metodología radica en su capacidad para reflejar la riqueza y la complejidad creciente de las estructuras espaciales de un mundo en constante cambio y evolución (Batty *et al.*, 2012). Asimismo, Bonabeau (2002) destaca tres importantes beneficios derivados del empleo de este tipo de modelos: por un lado, son capaces de detectar la aparición de fenómenos emergentes, además son útiles para describir el funcionamiento de los sistemas y, por último, tienen una gran flexibilidad. Este último aspecto es de vital importancia en nuestro modelo, ya que mediante las simulaciones pueden crearse diferentes escenarios que ayuden a evaluar las reacciones del sistema TMC ante circunstancias cambiantes.

En nuestro caso, el modelo, denominado TRANSOPE al igual que la encuesta, es un modelo basado en agentes (ABM), donde estos adoptan decisiones individuales en función de las circunstancias de acuerdo con una serie de reglas y requerimientos. De tal modo, TRANSOPE permite estudiar el proceso de formación de clústeres logísticos a nivel local y regional mediante

la simulación de cadenas de subcontratación de transporte (CST) entre diferentes empresas dedicadas al transporte de mercancías por carretera.

En el primer punto de este capítulo se incluyen únicamente los objetivos y los aspectos explicativos y metodológicos de la encuesta TRANSOPE, así como la delimitación del área de estudio, mientras que los resultados generales se ofrecen en el siguiente capítulo. A continuación, sobre la base de la información recogida en la encuesta, se explican las diversas fases en la configuración del modelo TRANSOPE, sus conceptos fundamentales y los ajustes necesarios para su puesta en marcha. Finalmente, se detalla el método seguido para su verificación y validación.

2. La encuesta TRANSOPE a profesionales del TMC

El contenido de este punto se corresponde en su mayor parte con el apartado dedicado a la metodología empleada en el trabajo de Salas-Peña (2021) donde se exponen el procedimiento y resultados de la encuesta realizada en 2019 a operadores de transporte de empresas de diferente rango y a transportistas autónomos.

A continuación, se ofrecen los detalles del proceso de diseño de la encuesta y el muestreo y, por último, la metodología utilizada para el tratamiento de los datos.

2.1. Diseño de la encuesta

La encuesta se diseñó de acuerdo con los principios de los modelos basados en agentes (Batty *et al.*; 2012; Crooks *et al.*, 2019; Izquierdo *et al.*, 2008; Macal, 2016; Macal y North, 2009; Torrens, 2010), según los cuales en todo sistema existe una serie de agentes involucrados en su funcionamiento, cada uno de los cuales tiene el control de una parte de la gestión, si bien no conoce del todo el proceso de toma de decisiones del resto (Roorda *et al.*, 2010). De tal modo, entre dichos agentes se producen interacciones que afectan al sistema, provocando que este evolucione. Esta investigación trata de recoger evidencias de dichas interacciones entre agentes participantes en las operaciones de transporte en el área de estudio.

Asimismo, la encuesta TRANSOPE fue configurada teniendo en cuenta las especificidades del sistema de transporte guipuzcoano, su estructura, su dinámica reciente y su distribución desigual a lo largo del territorio. El planteamiento de partida fue el de recoger evidencias suficientes sobre los procesos de interacción y colaboración entre empresas del sector a nivel operativo, es decir, en el ámbito de la subcontratación dirigida a cubrir necesidades de transporte. Por tal motivo, se estimó necesario medir el punto de vista de los actores directamente implicados en la toma de esta clase de decisiones: Los operadores de tráfico de empresas de transporte de mercancías por carretera (empresas TMC) y los transportistas autónomos. La participación de estos dos tipos de agente en la dinámica diaria del sistema de transporte se considera aquí, pues, como necesaria y trascendental. De acuerdo con Richardson *et al.* (1995), la búsqueda de patrones que expliquen

la toma de decisiones de los agentes respecto a cómo, dónde y por qué se producen las operaciones de transporte es fundamental para comprender la lógica de su funcionamiento.

Por último, otras encuestas sirvieron como referencia y modelo para el diseño de la encuesta TRANSOPE. En la literatura académica especializada en TMC existe una gran variedad de ejemplos que recurren a este método para acceder a volúmenes de información que no podrían hacerse visibles de otro modo. Podemos encontrar desde encuestas centradas en aspectos tan concretos como el impacto de la multimodalidad (van Schijndel y Dinwoodie, 2000) hasta macroencuestas como la encuesta francesa ECHO de 2004 (Guibault, 2008), dedicada a identificar diferentes tipos de cadenas de transporte (Gavaud *et al.*, 2011), pasando por las encuestas organizadas por instituciones públicas de la UE, como la Kraftfahrtbundesamt (KBA) en Alemania (Friedrich *et al.*, 2003) o la Encuesta Permanente de Transporte de Mercancías por Carretera (EPTMC) organizada por el Ministerio de Fomento (2019). En este sentido, el Reglamento 70/2012 del Parlamento Europeo y del Consejo (2012) establece la obligatoriedad de realizar encuestas oficiales al sector del TMC a todos los estados miembros con arreglo a la metodología que en él se indica (UE, 2012).

2.2. Delimitación del área de estudio

Para este punto nos remitimos al capítulo tres, donde el área DABB fue definida como un conjunto de trece municipios situados al este de la provincia de Gipuzkoa, en contacto con la frontera hispanofrancesa, donde la concentración de la actividad TMC registra niveles significativos en relación con la provincia y la Comunidad Autónoma Vasca.

2.3. Objetivos

La encuesta TRANSOPE fue diseñada con dos objetivos principales: en primer lugar, realizar un análisis científico sobre el estado del sector del transporte de mercancías por carretera en las comarcas de Donostialdea y Bidasoa-Beherea (Gipuzkoa) desde la óptica de aquellos agentes que toman parte en la gestión directa de recursos materiales y humanos a nivel operativo. Para ello se consideró necesaria la participación de dos tipos de agentes fundamentales en dicha gestión: Los operadores de tráfico de empresas TMC y los transportistas autónomos. Tanto unos como otros protagonizan el día a día de las operaciones de transporte a través de la toma de decisiones, por lo que el estudio de su interacción y colaboración se hace imprescindible para poder comprender la dinámica del sector. En segundo lugar, alimentar con datos empíricos el modelo TRANSOPE basado en agentes, con el que se pretende simular las relaciones de subcontratación y los modos de colaboración que mantienen entre sí los agentes mencionados anteriormente, y que será desarrollado e implementado en los capítulos 6 y 7.

Además de estos dos objetivos principales, este estudio se propuso una serie de objetivos secundarios que se detallan a continuación:

1. Analizar las diferentes estructuras de subcontratación existentes en el sector. Se pretende averiguar cuáles son los hábitos principales de subcontratación en el TMC y de qué modo se establecen los canales de información entre los actores que participan en las operaciones de transporte.

2. Identificar los criterios principales que sustentan la toma de decisiones relativas a la selección de proveedores y la aceptación de operaciones de transporte. El estudio de la dinámica del sector exige conocer cuál es el rango de las variables que intervienen en la creación de relaciones de colaboración entre clientes y proveedores de transporte, y qué factores pueden alterarlas. Su análisis, por tanto, es clave para entender la lógica de la subcontratación en el TMC.

3. Investigar los procesos de transmisión de información y conocimiento y de creación de valor entre los agentes que toman parte en la gestión operativa de las empresas TMC. Ciertamente el aprendizaje organizacional es clave para la mejora de los procedimientos internos y sus efectos pueden reportar importantes beneficios a la colaboración entre empresas, por lo que su estudio cobra especial relevancia en el sector del transporte.

4. Evaluar el impacto de la distancia en el establecimiento de relaciones de colaboración entre transitarios, empresas y agencias de transporte y transportistas autónomos. A priori el factor de proximidad favorece el establecimiento de colaboraciones entre los agentes que participan en las operaciones de transporte, con lo cual la concentración de empresas TMC en polígonos y parques logísticos debería impulsar la clusterización del sector. Se analizará esta cuestión contrastando las preferencias declaradas y las preferencias reveladas de los encuestados.

5. Estimular la investigación sobre el transporte de mercancías por carretera, especialmente en Gipuzkoa, provincia en la que este sector adquiere una importancia estratégica enorme dada su ubicación privilegiada en el eje de comunicación atlántico.

En definitiva, todos estos objetivos podrían resumirse en la búsqueda de sinergias positivas entre la investigación universitaria y el sector del transporte de mercancías por carretera, en un marco de mejora continua y de adaptación a los procesos de cambio constante en las dinámicas rectoras de la economía global. Este trabajo se plantea, pues, con el claro propósito de asentar la cooperación entre estos dos ámbitos de actividad a través de la apuesta decidida por la investigación, el desarrollo y la innovación.

2.4. Ficha técnica

A continuación, se detallan los aspectos técnicos de la encuesta:

- *Universo poblacional objetivo:* La encuesta fue dirigida a operadores de tráfico de empresas TMC y a transportistas autónomos de las comarcas guipuzcoanas de Donostialdea y Bidasoa-Beherea (DABB) y otros municipios colindantes. De acuerdo con los datos publicados por el instituto vasco de estadística EUSTAT, dichas comarcas contaban en 2019 con 1234 establecimientos dedicados al “Transporte de mercancías

por carretera”, código 4941 según la Clasificación Nacional de Actividades Económicas (CNAE-2009). Sin embargo, datos no publicados proporcionados por la Dirección de Movilidad y Transporte Público de la Diputación Foral de Gipuzkoa referidos a 2019 cifran en 1129 las empresas de TMC existentes en los municipios que conforman las dos comarcas indicadas. Por lo tanto, consideraremos esta última cifra como el universo de la encuesta.

- *Metodología de muestreo.* Ante la ausencia de un marco muestral accesible como un censo o registro oficial de empresas TMC y/o de transportistas autónomos, la selección de la muestra fue realizada mediante el método de muestreo por conveniencia, es decir, no aleatorio y no probabilístico. De tal manera, se optó por establecer contacto con un número significativo de empresas TMC y de transportistas autónomos a través de *Fundación Guitrans Fundazioa*, asociación que engloba a buena parte de los transportistas guipuzcoanos. Esta circunstancia facilitó en gran manera el acceso a los individuos de la muestra y la recogida de datos. Como inconveniente hay que señalar que la existencia de sesgo de muestreo podría producir un sesgo sistemático y una limitación de la representatividad de los datos. Sin embargo, en el caso que nos ocupa los individuos seleccionados no mantienen relación necesariamente unos con otros por el hecho de pertenecer a dicha asociación, con lo cual el posible sesgo se minimiza y la generalización de los resultados no se ve afectada. En definitiva, los individuos que quedan fueran de esta muestra no reúnen ningún rasgo específico o diferencial respecto a los que sí forman parte de ella.
- *Fechas de recogida.* Los cuestionarios piloto se recogieron durante la segunda quincena de marzo de 2019, mientras que las respuestas a la encuesta definitiva llegaron entre los meses de abril y julio de 2019. La distribución de respuestas durante el periodo establecido fue de 11% en abril, 58% en mayo, 26% en junio y 5% en julio.
- *Tamaño de la muestra y margen de error.* Teniendo en cuenta que el universo de la encuesta quedó fijado en 1129 empresas de TMC, el tamaño de la muestra se cifró en 287 para un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%. La encuesta arrojó un total de 151 respuestas, siendo la tasa de respuesta final del 52,61% respecto al tamaño de la muestra. Este hecho elevó el margen de error hasta el 7,43% para un nivel de confianza del 95%. Tal y como se ha señalado más arriba, el hecho de que se haya utilizado un método de muestreo por conveniencia podría invalidar la utilización de herramientas de precisión tales como el nivel de confianza o el margen de error. No obstante, es necesario insistir en que la conveniencia de la muestra es meramente circunstancial, aunque esta no sea puramente aleatoria, y esto reduce enormemente la posibilidad de sesgo y justifica la utilización de las mencionadas herramientas de precisión.
- *Cuestionario.* La encuesta fue diseñada y desarrollada con ayuda de expertos de acuerdo con las características del universo poblacional al que iba dirigida. Dadas dichas características y teniendo en cuenta los objetivos de investigación, se confeccionaron dos cuestionarios diferentes para cada grupo: Operadores de tráfico de empresas TMC y

transportistas autónomos. Una primera versión de los cuestionarios fue confiada al grupo de expertos para su evaluación. Ambos presentaban una estructura similar, aunque las preguntas se adaptaron a cada grupo. Los dos cuestionarios contaban además con sendas versiones en euskera. A continuación, se ultimó un cuestionario piloto y éste fue enviado a veinte individuos (diez de cada clase), cuyas respuestas fueron de gran ayuda para corregir errores, depurar preguntas y añadir aspectos no observados inicialmente en el cuestionario. En la siguiente fase, la encuesta fue anunciada por correo electrónico y a continuación el cuestionario definitivo fue enviado a través de la web a un total de 351 empresas de transporte y transportistas autónomos. La composición y el diseño de la encuesta web se realizaron por medio de la aplicación gratuita Google Forms, perteneciente a la plataforma Google Drive. Esta potente herramienta permite igualmente recabar las respuestas de los encuestados y ordenar la información obtenida en tablas con formato excel, facilitando enormemente su procesamiento y análisis posterior. Las preguntas se repartieron en diferentes bloques como se muestra en la tabla 4.1. Los cuestionarios completos pueden consultarse en el anexo:

Tabla 4.1. Estructura de los dos tipos de cuestionario.

	<i>Denominación</i>	<i>Ámbito de investigación</i>	<i>Preguntas a operadores</i>	<i>Preguntas a autónomos</i>
Bloque 1	Datos preliminares	Preguntas generales	11	9
Bloque 2	Cadenas de subcontratación	Información sobre subcontratación	9	9
Bloque 3	Criterios de selección	Criterios de selección de proveedores y aceptación de cargas	7	4
Bloque 4	Creación de valor	Procesos de gestión de la información y el conocimiento	24	24
Bloque 5	Procedimientos de trabajo	Transferencia y difusión de la información y el conocimiento	8	7
Bloque 6	Colaboración	Impacto de la distancia en las relaciones entre empresas TMC	3	3
TOTAL			62	56

En la confección de las preguntas se utilizaron diferentes técnicas de encuesta: Preguntas con respuestas en combo mediante un botón con diferentes opciones, preguntas con una opción de respuesta (solo se puede escoger una entre varias), con varias opciones de respuesta (se pueden seleccionar varias opciones en la misma pregunta), escalas de Likert y preguntas abiertas. Asimismo, algunas preguntas se acompañaron de esquemas para que los encuestados se pronunciaran sobre los mismos mediante escalas lineales.

- *Proceso.* En primer lugar, se elaboraron dos listados diferentes: Por un lado, los operadores logísticos (OL) y las empresas de transporte (ET), es decir, empresas con autorización tanto para el transporte de mercancías como para subcontratar a terceros para operaciones de transporte; y por otro, los transportistas autónomos (TA),

microempresas de un solo vehículo en su mayoría que solo se dedican al transporte por cuenta de terceros. En el primer listado figuraron 136 empresas y en el segundo 215, repartidas por los municipios del área de estudio de la siguiente forma:

Tabla 4.2. Distribución de la muestra por tamaños y municipios.

<i>Municipio</i>	<i>OL y ET</i>	<i>TA</i>	<i>Total</i>
ANDOAIN	6	14	20
ASTIGARRAGA	3	6	9
DONOSTIA	21	51	72
ERRETERIA	4	27	31
HERNANI	6	5	11
HONDARRIBIA	3	8	11
IRUN	59	68	127
LASARTE	4	14	18
LEZO	2	2	4
OIARTZUN	16	6	22
PASAIA	5	3	8
URNIETA	5	6	11
USURBIL	2	5	7
TOTAL	136	215	351

Seguidamente, la encuesta dirigida a los operadores de tráfico fue enviada mediante correo electrónico a los gerentes de las empresas de transporte precedida de una introducción, donde se explicaban los motivos de la encuesta, se acreditaba a los responsables de la misma y se pedía su colaboración para hacer llegar la encuesta a sus operadores de tráfico y que al menos uno de ellos completara el cuestionario. Por otro lado, la encuesta destinada a los transportistas autónomos fue igualmente enviada a través de un email con una explicación y petición de colaboración similar a la anterior. Con vistas a incrementar la tasa de respuesta se procedió a reenviar periódicamente el cuestionario insistiendo en el carácter científico de la encuesta. Además, se contactó telefónicamente tanto con empresas como con transportistas autónomos para recordar los objetivos del estudio y animar a participar. En estos contactos telefónicos se pudieron constatar tanto las reticencias de muchos de ellos a facilitar información de sus actividades de transporte como su desconfianza ante la utilidad de la encuesta.

- *Confección de la muestra.* El primer problema encontrado a la hora de confeccionar la muestra tenía que ver con el acceso a listados actualizados y fiables tanto de empresas como de transportistas autónomos que operaban en el área de estudio. En este sentido, es necesario indicar que, en virtud del artículo 53 de la Ley 16/1987, de 30 de julio, de Ordenación de los Transportes Terrestres, el Ministerio de Fomento hace público mediante una aplicación web el Registro de Empresas y Actividades del Transporte, donde puede encontrarse información relativa a los títulos habilitantes (autorizaciones, licencias, etc...) y número de vehículos de todas las empresas de TMC activas. Sin

embargo, la aplicación no proporciona listados de ningún tipo, sino que las búsquedas son empresa por empresa, lo que hacía inviable su utilización para este fin. En vez de esto se optó por solicitar la colaboración de la asociación de transportistas guipuzcoanos Guitrans, que engloba a 351 de las 1129 empresas TMC que operan en el área de estudio, es decir, el 31,1%. De tal modo dicha asociación, a través de la entidad sin ánimo de lucro *Fundación Guitrans Fundazioa*, aceptó colaborar y, previa firma de un contrato de confidencialidad, facilitó listados actualizados y datos de contacto de los responsables de cada empresa y de los transportistas autónomos ligados a su asociación.

Una vez conformadas las dos listas se planteaba un segundo inconveniente, esta vez relacionado con la sensación de desconfianza que una encuesta de este tipo podía producir en los encuestados, ya que la información requerida podría considerarse como de alto valor y el compromiso de confidencialidad por parte del grupo investigador podría no ser suficiente garantía para animar a los encuestados a participar en ella. Nuevamente, *Fundación Guitrans Fundazioa* respaldó el proyecto intercediendo entre las empresas y el grupo investigador para eliminar cualquier tipo de duda o reticencia que estas pudieran tener sobre el carácter científico de la encuesta.

Finalmente, hay que hacer referencia a las posibles imprecisiones en los resultados derivadas de diferentes problemas de sesgo observados. Al tratarse de una encuesta web, el primero de los problemas se debió al sesgo producido por la falta de habilidad para utilizar internet y aplicaciones web por parte de personal poco o nada acostumbrado a ello, como es el caso de algunos transportistas autónomos. Para tratar de minimizar este sesgo se trató de instruir a algunos encuestados antes y durante el proceso de respuesta e incluso una pequeña parte cumplimentó la encuesta de manera presencial por medio de cuestionarios impresos. El siguiente problema de sesgo observado está relacionado con la “no respuesta”, pudiendo esta deberse a motivos varios, como por ejemplo la falta de tiempo, el desacuerdo con los objetivos de la encuesta, la desconfianza en el tratamiento de los datos o la propia falta de habilidad en el manejo de internet. Las bajas tasas de respuesta en las encuestas sobre transporte, como en este estudio, suelen estar motivadas por este tipo de casuísticas. En último lugar hay que mencionar el sesgo de muestreo debido a que la muestra no se extrae del conjunto de la población, sino que esta procede de una base de datos correspondiente a una asociación de profesionales del sector. Como se ha indicado anteriormente, este hecho, no tiene un impacto negativo dado que la composición de la muestra es suficientemente heterogénea en cuanto a tamaños de empresa, ámbitos de actividad, especialización o localización geográfica. Por ejemplo, en lo referente a la distribución de empresas por municipio, en la tabla 4.3 puede comprobarse la relación de proporcionalidad entre los datos oficiales, proporcionados por la Diputación Foral de Gipuzkoa, y los correspondientes a la muestra.

Tabla 4.3. Relación de proporcionalidad entre datos reales y muestra en cuanto al número de empresas y respuestas recogidas por municipio.

<i>municipio</i>	<i>empresas</i>	<i>% real</i>	<i>muestra</i>	<i>% muestra</i>	<i>respuestas</i>
ANDOAIN	59	5,23	20	5,70	7
ASTIGARRAGA	31	2,75	9	2,56	3
DONOSTIA/SAN SEBASTIÁN	307	27,19	72	20,51	27
ERRETERIA	136	12,05	31	8,83	9
HERNANI	65	5,76	11	3,13	4
HONDARRIBIA	34	3,01	11	3,13	4
IRUN	265	23,47	127	36,18	55
LASARTE-ORIA	57	5,05	18	5,13	6
LEZO	22	1,95	4	1,14	2
OIARTZUN	59	5,23	22	6,27	16
PASAIA	35	3,10	8	2,28	2
URNIETA	37	3,28	11	3,13	5
USURBIL	22	1,95	7	1,99	5
otros municipios del entorno	-	-	-	-	6
TOTAL	1129	100,00	351	100,00	151

En resumen, a pesar de no haber podido garantizar a todas las empresas de transporte y transportistas autónomos existentes en el área de estudio la equiprobabilidad de ser escogidos para participar en este estudio, se considera que la muestra representa razonablemente el sector de TMC en dicho territorio en todas sus variantes. En este sentido, la invitación a colaborar fue extendida a todas las empresas de la muestra, reduciendo notablemente los sesgos derivados de cuestiones técnicas y permaneciendo únicamente aquel relacionado con la negativa a participar, cuya presencia en encuestas que implican revelación de información confidencial es ciertamente muy frecuente. Finalmente, la representatividad de los resultados que se exponen a continuación debe ser corroborada con posteriores estudios que revelen la evolución de sector en los aspectos que aquí se tratan.

2.5. Tratamiento y presentación de los datos

Los datos fueron primeramente exportados a formato .xlsx para ser tratados y depurados en hojas de cálculo Excel. Las series de datos se prepararon en dicho programa y se extrajeron estadísticos de frecuencias relativas para representarlos en gráficos de barras, de líneas, circulares y jerárquicos según el caso. Las series de datos correspondientes a preguntas del tipo escalas de Likert fueron sometidas a controles de fiabilidad y comparación de medias mediante contraste de hipótesis. Para este cometido fue empleado el software libre de análisis estadístico PSPP v.1.2.0. Igualmente, se optó por representar los resultados de las escalas de Likert mediante frecuencias relativas.

Por otro lado, de acuerdo con los datos recogidos en las preguntas O.A1 y T.A1 correspondientes al bloque de datos preliminares, los dos grupos de encuestados fueron a su vez subdivididos en categorías en función de su tipo de actividad, en el caso de las empresas TMC, y de su régimen

de trabajo, en el caso de los transportistas autónomos. Estas categorías se expresan en la tabla 4.4:

Tabla 4.4. Categorías de agentes dentro de cada grupo de encuestados.

<i>categoria</i>	<i>descripción</i>	<i>empresas TMC</i>	<i>transportistas autónomos</i>
Transitarios	Empresas TMC que realizan trámites aduaneros, depósito de mercancías, consolidación de cargas y funciones de agencia de transporte. No tienen flota propia.	5	
Agencias de transportes	Empresas TMC intermediarias entre cargadores y transportistas. No tienen flota propia.	9	
Empresas de transporte	Empresas TMC que poseen flota propia para realizar servicios de transporte. Pueden ejercer como agencia de transporte.	34	
Transportistas autónomos habituales	Transportistas autónomos que dedican el 50% de su trabajo o más a un solo cliente.		87
Transportistas autónomos no habituales	Transportistas autónomos que dedican menos del 50% de su trabajo a un solo cliente.		16
TOTAL		48	103

Para finalizar, la encuesta se dividió en seis apartados correspondientes a los seis bloques de los que constaban los dos cuestionarios de la encuesta. El primero, apartado 4, se dedica a los datos generales o preliminares sobre los encuestados: Estructura de edad, sexo, formación académica y experiencia y especialización profesional en el sector TMC. Seguidamente, el apartado 5 “Cadenas de subcontratación” recoge la información relativa a las estructuras de subcontratación en las operaciones de transporte y a los modelos de intercambio de información entre los agentes que participan en ellas, expresadas teniendo en cuenta la categorización expuesta en la tabla 4. En el apartado 6 se analizan diez criterios de selección de proveedores de transporte desde la óptica de los operadores de tráfico y también la percepción de estos criterios por parte de los transportistas autónomos teniendo en cuenta la categorización mencionada. En cambio, en el apartado 7 “Creación de valor” se consideró únicamente a los grupos originales de encuestados para presentar la información relativa a los factores que intervienen en el aprendizaje organizacional y la transferencia de conocimiento en el seno de las empresas TMC. A continuación, el apartado 8 “Procedimientos de trabajo” presenta la información recabada en relación con los hábitos procedimentales de operadores y transportistas en el desempeño de su actividad profesional, donde algunas figuras y gráficos se expresan siguiendo la categorización de la tabla 4. Finalmente, en el apartado 9 “Colaboración” se representan las preferencias declaradas y reveladas de los encuestados en relación con sus colaboraciones potenciales y reales, en función del ámbito de actuación. Para la representación y análisis de las relaciones entre empresas por medio de grafos se empleó el programa Gephi v.0.9.2.

2.6. Conclusiones

Habitualmente, las fuentes estadísticas dedicadas a las actividades relacionadas con el transporte de mercancías por carretera tienden a ofrecer una información muy general y centrada en los resultados de dichas actividades. Los procesos de toma de decisiones que desembocan en la articulación de las relaciones de colaboración entre agentes en un entorno local quedan, pues, ocultos bajo una maraña de datos globales. La encuesta TRANSOPE es una herramienta de medición que trata de conocer a una escala local los fundamentos de esas decisiones, los sistemas de subcontratación que generan y, por último, su impacto espacial.

Las bases metodológicas de esta encuesta han sido presentadas en este apartado, poniendo en relieve la dificultad que supone superar la reticencia de las empresas a ofrecer información acerca de sus mecanismos organizativos internos. Pese a esta circunstancia, los resultados son lo suficientemente significativos como para representar una base sólida sobre la que construir un modelo de simulación de operaciones de subcontratación TMC.

Para finalizar, se considera que todos los objetivos con los que parte el diseño de esta encuesta se han conseguido, como podrá comprobarse en el capítulo 5 de esta tesis. En este sentido, como se señaló anteriormente, uno de los principales objetivos que persigue la encuesta TRANSOPE es la recogida de datos empíricos para alimentar los parámetros que serán empleados en el modelo TRANSOPE. Gracias al diseño del cuestionario, mediante el cual se consiguió indagar acerca de las estructuras de subcontratación, y a la magnitud de la muestra, que fue lo suficientemente significativa como para demostrar la existencia de una compleja red de relaciones de colaboración entre agentes TMC de diferentes rangos y condiciones, se justifica la creación de un modelo de formación de cadenas de subcontratación de transporte para su posterior análisis. A continuación, se expone el diseño de dicho modelo.

3. TRANSOPE: simulando la formación de clústeres TMC a partir de la subcontratación

Como ha quedado patente en el segundo capítulo, existen en la literatura numerosas investigaciones en las que se modelan operaciones de transporte de mercancías por carretera a través de la simulación de la toma de decisiones por parte de los agentes implicados en las mismas. En este capítulo presentamos el modelo TRANSOPE como una novedosa alternativa a todos los modelos analizados anteriormente.

A diferencia de la gran mayoría de modelos, la propuesta que aquí se presenta pretende modelizar la formación de cadenas de subcontratación mediante la selección de agentes de transporte que toman parte en las operaciones de TMC a través de la transferencia de información que tiene lugar entre los diferentes eslabones de la cadena. Esta transferencia incluye tres ámbitos fundamentales: *i)* el ámbito de la toma de decisiones de cada actor en su propia empresa, *ii)* el ámbito de interacción entre agentes con el fin de completar la operación de transporte y *iii)* el ámbito territorial, puesto que cada agente opera desde un lugar determinado.

Por tanto, la estructura resultante de dichas interacciones adquiere la forma de un grafo, donde los agentes se representan con nodos y las transmisiones o intercambios de información entre agentes con arcos. El modelo, además, evoluciona a lo largo del tiempo a medida que los agentes colaboran en más operaciones de transporte en periodos determinados. De tal manera, con cada simulación se obtiene un grafo dinámico como producto de la interacción entre nodos a través de los arcos al modificarse en cada iteración algunas de sus variables (véase Siljak, 2006, para una definición en detalle).

3.1. Enfoque del diseño

Modelar un fenómeno existente en el mundo real para estudiar su comportamiento en función de diferentes factores es una ardua tarea. El primer paso siempre debe ser contestar a la pregunta “¿Qué es lo que quiero modelar?”, y a partir de aquí establecer cuál es el nivel de complejidad de dicho fenómeno que se está dispuesto a representar (Crooks *et al.*, 2019). Sin embargo, no podemos olvidar que cualquier modelo no es más que una simplificación de la realidad (García Valdecasas, 2016; Izquierdo *et al.*, 2008), en la que el modelador decide qué elementos constituyen la estructura del sistema (Batty, 2012). Por tanto, a la hora de diseñar su modelo el investigador deberá seguir una serie de pasos que sirvan para estructurar la información y para que esta pueda ser posteriormente compartida con la comunidad científica.

En este sentido, la literatura ofrece diferentes propuestas de enfoque de construcción de modelos basados en agentes (ABM), algunas de las cuales se resumen en la figura 4.1. Así, García-Valdecasas (2016) sugiere la transición por una serie de etapas que comienzan con la pregunta de investigación, y en el que la replicación del modelo por otros investigadores cierra el proceso de evaluación. Su planteamiento es muy similar al método clásico, descrito por Crooks *et al.* (2019), donde la fase de diseño, preparación e implementación del modelo es seguida por una fase de evaluación en tres pasos (verificación, calibración y validación), finalizando con la explicación y la predicción de resultados. Macal y North (2010), por su parte, plantean una serie de preguntas que han de ser resueltas para diseño del modelo. Grimm *et al.* (2006) proponen el protocolo ODD (Overview, Design concepts and Details), donde organizan la explicación del modelo en siete apartados agrupados en tres bloques. La importancia de este método radica en la creación de un protocolo estándar que ofrezca una visión comprensible al lector sobre los elementos del modelo y su funcionamiento, sin reparar en resultados ni descripción de escenarios. En una revisión posterior del protocolo Grimm *et al.* (2010) depuran aspectos tales como el diseño de conceptos, definiendo once ítems que deben ser observados necesariamente. Estos conceptos son: Principios básicos, emergencia, adaptación, objetivos, aprendizaje, predicción, sensibilidad, interacción, aleatoriedad, colectivos y observación. Posteriores trabajos han aportado al protocolo ODD elementos fundamentales como el proceso de toma de decisiones, ODD+D (Müller *et al.*, 2013) y la formalización del uso de datos empíricos en los ABM, ODD +2D (Laatabi *et al.*, 2018).

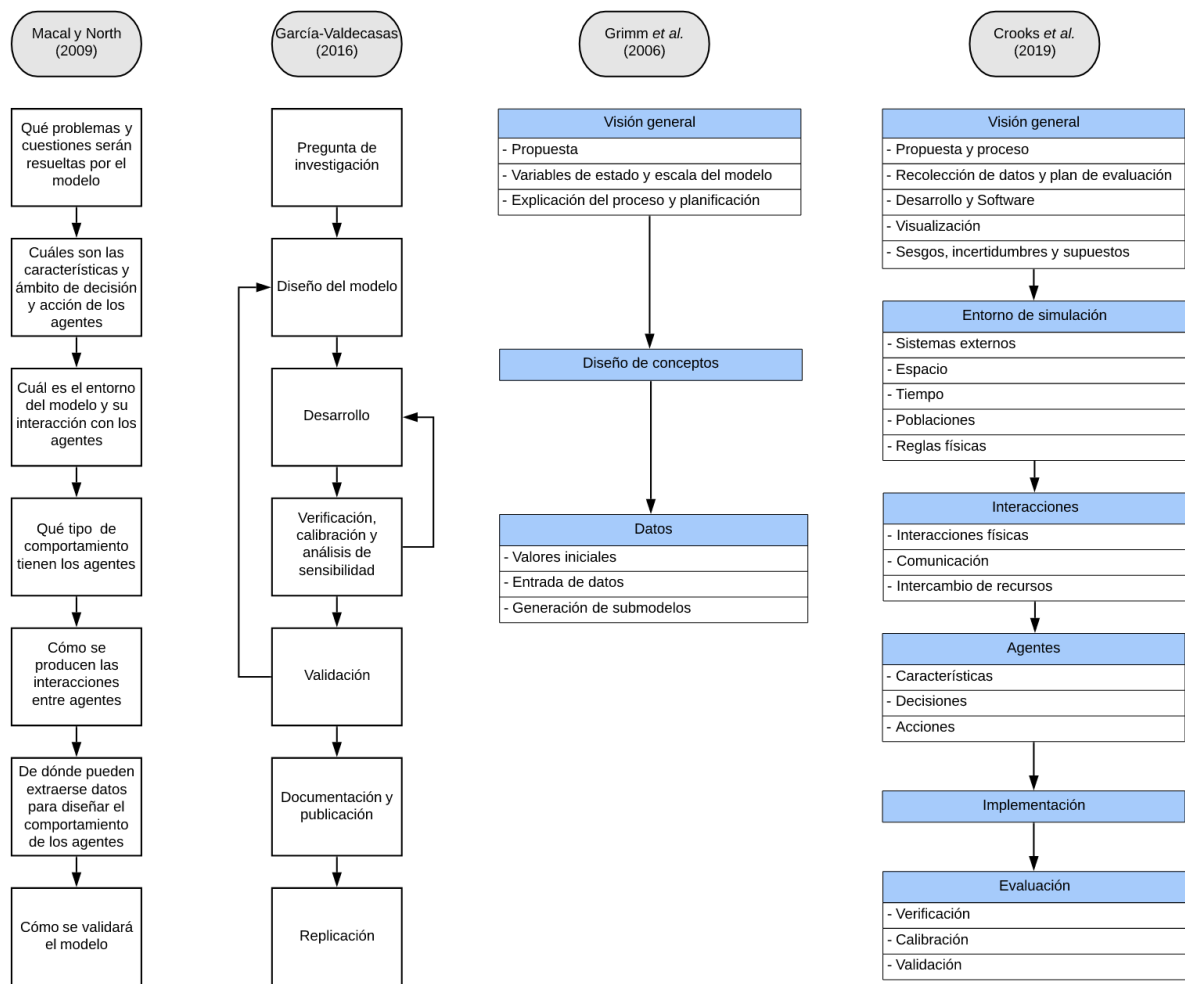


Figura 4.1. Diversos enfoques de diseño de modelos basados en agentes.

Los citados trabajos establecen la base de un diseño de modelos completo y riguroso, si bien su interpretación debe ser flexible (Crooks *et al.*, 2019), adaptada a las especificidades de cada caso concreto. De acuerdo con Izquierdo *et al.* (2008), el proceso de modelado es dinámico y no lineal, por lo que las etapas que éste debe cubrir sufren constantes revisiones y adaptaciones a medida que el modelo aumenta su complejidad. Ante ello, las herramientas de evaluación deben utilizarse de manera continua, verificando, calibrando y validando el modelo a cada paso para detectar errores generados durante el proceso y minimizar su impacto en posteriores revisiones.

El modelo que aquí se presenta tiene en consideración todas las propuestas de los trabajos mencionados, si bien no se ajusta rigurosamente a ninguna de ellas. La descripción del modelo TRANSOPE se estructura en tres fases (figura 4.2). En la primera se establecen las bases del modelo, sus objetivos, sus elementos principales y el modo en que estos se relacionan entre sí. Estos elementos son, por un lado, los agentes y el espacio o territorio donde tiene lugar la acción, y, por otro, sus interacciones a partir de la toma de decisiones. A continuación, en la segunda fase se recogen los conceptos fenoménicos que tienen que ver con la complejidad del sistema que se pretende modelizar. Estos conceptos de diseño, que conforman junto a los elementos descritos

en el primer bloque un sistema adaptativo complejo (CAS), son el tiempo, el aprendizaje, la transferencia de conocimiento y la creación de valor. Por último, en la tercera fase se detallan los valores de la puesta en marcha de la simulación, los escenarios en los que ésta puede desarrollarse y los indicadores que servirán para analizar el experimento.

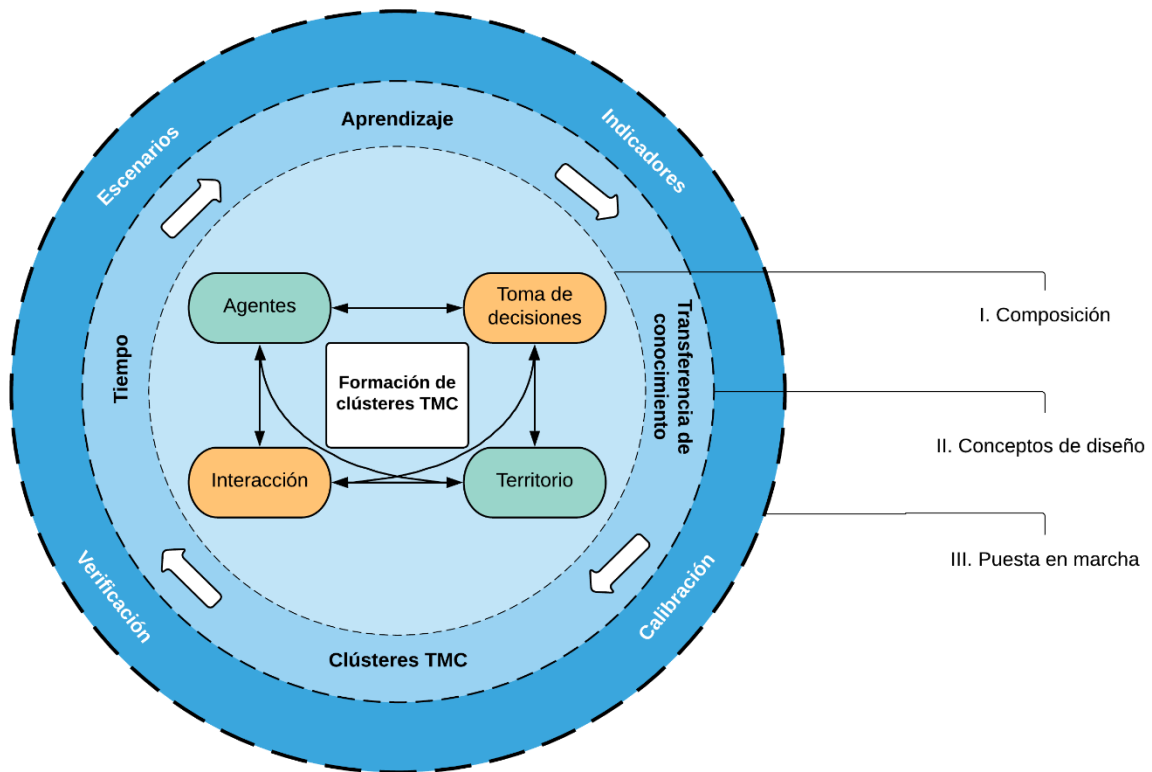


Figura 4.2. Fases de construcción del modelo TRANSOPE.

Por lo que respecta a la evaluación del modelo, la bondad de ajuste, o el modo en que el modelo refleja la realidad a la que se refiere (Crooks *et al.*, 2019), es revisada en cada fase del diseño. Para ello los procesos de verificación y calibración se plantean como dos pasos necesarios desarrollados de modo continuo para comprobar que el modelo hace en todo momento aquello que el modelador desea que haga (García-Valdecasas, 2016), por un lado, y para identificar los valores adecuados de los parámetros del modelo en su ajuste con los fenómenos reales que representan (Ngo y See, 2012), por otro. Finalmente, con el fin de asegurarse de que el comportamiento del modelo se corresponde con el comportamiento de su objeto de estudio (Gilbert y Troitzsch, 2005), es necesario establecer un método de validación, que en el caso de nuestro modelo consistirá en su aplicación al área DABB, tal y como podrá verse en el capítulo siete.

Tanto el diseño del modelo como su implementación posterior se desarrolló en el entorno Netlogo, programa de modelización basada en agentes creado por Uri Wilensky (1999), que ha sido empleado en numerosas investigaciones geográficas dentro del ámbito del transporte y la movilidad de personas, aunque menos habitualmente en el transporte de mercancías. En

Wilensky y Rand (2015) podemos encontrar varios ejemplos de aplicación de esta herramienta a entornos sociales complejos.

3.2. Composición del modelo

En las próximas páginas se detallan la todos los aspectos que conforman el modelo TRANSOPE.

3.2.1. Descripción y objetivos

Tal como se señalaba en la introducción de este capítulo, TRANSOPE es un modelo basado en agentes que permite estudiar el proceso de formación de clústeres logísticos a nivel local y regional mediante la simulación de cadenas de subcontratación de transporte (CST) entre diferentes empresas dedicadas al transporte de mercancías por carretera. Una subcontratación de transporte es una relación contractual entre dos empresas, una de las cuales cubre la necesidad de servicio de transporte de la otra en el marco de una operación de transporte concreta.

Es conveniente recordar que una operación de transporte consiste en realizar el traslado de una mercancía de un punto *A* a un punto *B* de acuerdo con las condiciones pactadas entre un cliente y un proveedor de servicio de transporte (PST). Sin embargo, el prestador de servicio, en lugar de realizar él mismo dicho servicio, puede llegar a subcontratar a otro PST para que lo haga en su lugar, y este a su vez puede hacer otro tanto de lo mismo. Por tanto, las CST están formadas por varios tipos de agentes que interactúan en un territorio dado (figura 4.3), los cuales se describen en el punto 3.2.2.

Dicho esto, es importante señalar que el modelo TRANSOPE no se ocupa de los desplazamientos de agentes ni de mercancías por el territorio, sino que su objeto de estudio es el intercambio de información y conocimiento entre los agentes a través de diferentes canales de comunicación. Dicho de otro modo, la información se mueve mientras los agentes permanecen en sus ubicaciones originales.

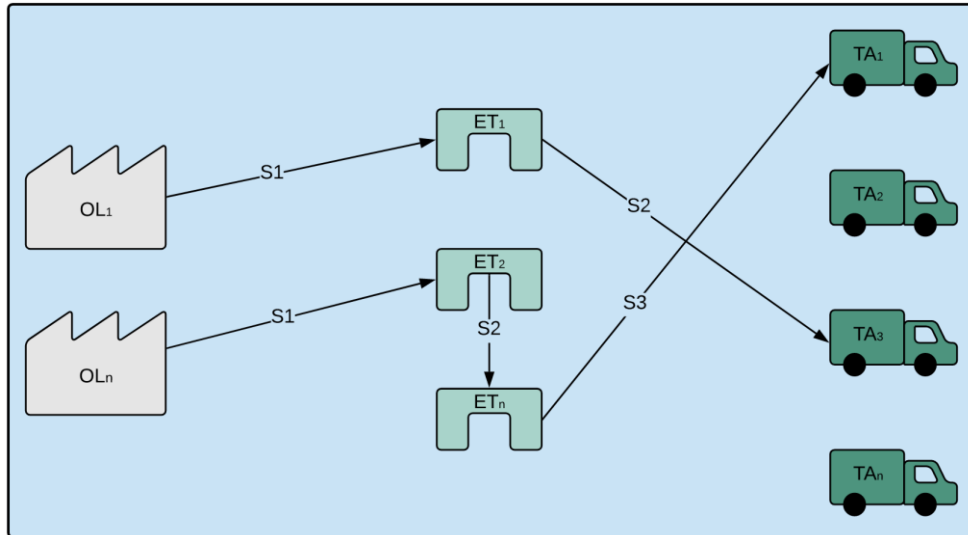


Figura 4.3. Ejemplos de cadena de subcontratación en TRANSOPE, donde S es subcontratación, OL es operador logístico, ET es empresa de transporte y TA es transportista autónomo.

Teniendo en cuenta lo anterior, se concluye que el modelo TRANSOPE limita su campo de estudio a las interacciones surgidas entre los agentes que toman parte en las CST y el territorio en el que se ubican como consecuencia del intercambio de información y conocimiento alrededor de las operaciones de transporte. De tal manera, el modelo se plantea los siguientes objetivos:

Objetivo 1. Modelizar el proceso subcontratación de proveedores de servicios de transporte de mercancías por carretera y la formación de clústeres en un entorno geográfico a escala local y regional.

Objetivo 2. Simular el proceso de aprendizaje y la creación de valor a través de la transferencia de información y conocimiento entre empresas y transportistas en entornos de alta densidad de actividad de transporte.

Objetivo 3. Determinar la importancia de la proximidad geográfica como factor en la formación de las cadenas de subcontratación y en el surgimiento de clústeres logísticos.

Objetivo 4. Medir el impacto de otros factores del proceso de selección de PST y del desarrollo de las operaciones de transporte en la interacción entre agentes.

3.2.2. Los agentes

En el desarrollo de un modelo ABM los agentes no solo son entidades autónomas con capacidad de decisión (Bonabeau, 2002), sino que además pueden representar una enorme variedad de entidades y fenómenos espaciales (Torrens, 2010). De acuerdo con Gilbert y Troitzsch (2005), a los agentes se les presupone una intencionalidad, cuyas acciones se basan en el conocimiento de su entorno. Además, tienen capacidad de aprender y adaptarse basándose en sus experiencias

(Macal y North, 2009), construir nuevo conocimiento y transmitirlo a otros agentes en función de su localización geográfica.

Los agentes que toman parte en TRANSOPE también presentan todos estos atributos, aunque con ciertas variaciones, ya que el modelo cuenta con tres tipos de agentes diferentes. Su inclusión en el mismo está basada en la observación del entorno del estudio de caso: El área DABB. Estos tres tipos de agentes explícitos son *i)* los operadores logísticos, *ii)* las empresas de transporte y *iii)* los transportistas autónomos, y constituyen el núcleo de las CST. Además, existen dos agentes que forman parte necesaria de las operaciones de transporte, cuya capacidad de decisión se presupone, aunque no forman parte de este modelo, ya que la simulación se centra en las interacciones comunicativas y no en los desplazamientos. Estos agentes implícitos son los expedidores y los destinatarios de la mercancía (figura 4.4).

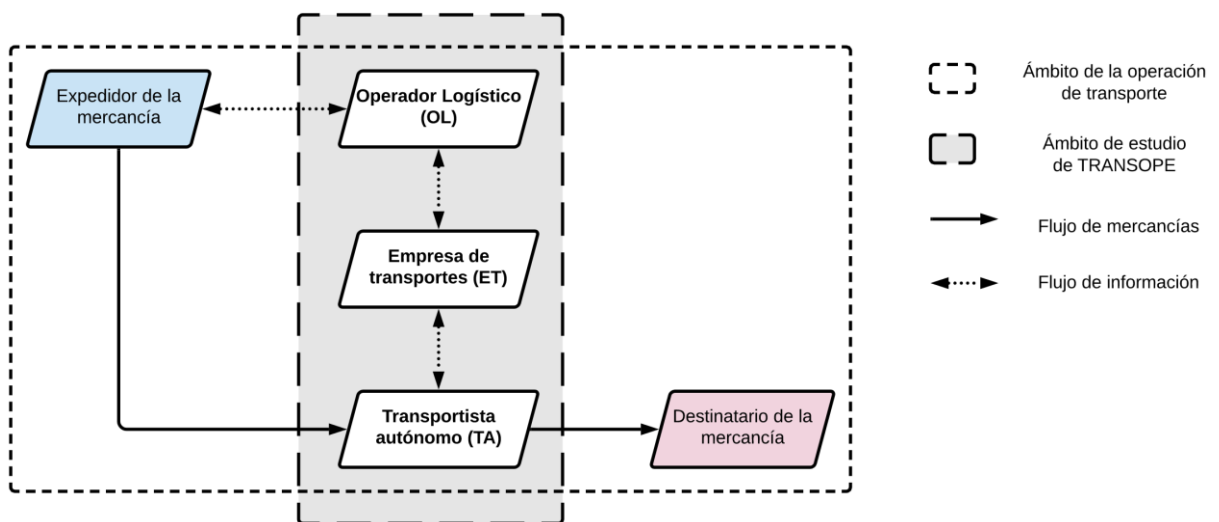


Figura 4.4. Los agentes implicados en el ámbito de estudio de TRANSOPE.

Todos los agentes, sean del tipo que sean, mantienen una serie de rasgos comunes:

- *Autonomía y capacidad de decisión.* Cada agente en su ámbito de actuación tiene autonomía para tomar decisiones en relación con su participación en las CST en marcha, sin olvidar que estas cadenas son estructuras jerárquicas (Reis, 2018), en las que la capacidad de decisión disminuye en función de la posición en la misma.
- *Capacidad de razonar.* Se presupone en todos los agentes la intencionalidad de alcanzar la mejor opción acorde con sus intereses de rentabilidad sea cual sea el escenario de simulación. La aleatoriedad se introduce parcialmente. Sin embargo, las decisiones completamente aleatorias se descartan en cualquier escenario.
- *Capacidad de interactuar.* La interacción entre agentes es necesaria en los sistemas adaptativos complejos, donde la emergencia de fenómenos se produce cuando se

generan estructuras que necesitan nuevas categorías para describirlas (Gilbert y Troitzsch, 2005). Estos procesos de interacción pueden ocurrir en TRANSOPE de dos maneras. Primero, formando parte de alguna CST y, segundo, mediante la proximidad a un agente con suficiente experiencia y conocimiento como para compartirlo con otros situados en un radio r , independientemente de si forman o han formado parte de alguna CST o no.

- *Capacidad de aprendizaje.* La interacción entre los agentes de TRANSOPE no es deletable, sino que deja un rastro de información y aprendizaje en los integrantes de las CST. El hecho de formar parte de una de ellas provoca que sus componentes ganen en experiencia y que su fiabilidad aumente ante posibles nuevas operaciones.
- *Ubicación invariable.* La localización geográfica de los agentes en el territorio es clave a la hora de establecer relaciones de colaboración e intercambios de información. A los establecimientos de transporte se les presupone una ubicación fija e invariable desde la que pueden interactuar con el resto, no así, en cambio, a los transportistas autónomos, cuya posición en la realidad es variable en su tiempo de disponibilidad. Sin embargo, estos últimos presentan también una localización invariable en TRANSOPE, dado que esta es su punto de partida y de retorno, su razón social y su lugar de residencia.

A continuación, se describen los tipos de agentes que intervienen en TRANSOPE ordenados de mayor a menor rango jerárquico:

- 1) *Operadores logísticos (OL).* Son empresas dedicadas a la logística y almacenaje que carecen de camiones propios, por lo que subcontratan a empresas PST para cubrir sus necesidades de transporte. Suelen ser empresas multinacionales de gran tamaño con mucha capacidad de control del mercado. De acuerdo con Reis (2018), los operadores logísticos organizan la cadena de transporte a nivel administrativo y la gestionan a nivel operativo. Sin embargo, es habitual que pierdan el control de la cadena si existen más agentes implicados más allá de su propio PST. A pesar de ello, cada vez extienden más sus servicios de gestión e ingeniería logística a las empresas expedidoras dentro de la lógica de los servicios 4PL (Saglietto, 2013), por lo que su liderazgo en las cadenas de transporte es hoy por hoy incontestable. En TRANSOPE todas las CST comienzan en ellos.
- 2) *Empresas de transporte (ET).* Suelen ser pequeñas y medianas empresas que poseen una flota fija de camiones propios (Baindur y Viegas, 2011), pero que también subcontratan a transportistas autónomos cuando, por diferentes razones, no cubren sus necesidades de transporte con medios propios. A diferencia de operadores logísticos se trata de empresas de ámbito local o nacional, con fuerte arraigo en su entorno geográfico. Trabajan tanto para expedidores como para operadores logísticos, y es habitual que colaboren con otras empresas de su rango vendiendo o comprando servicios de transporte. En TRANSOPE este tipo de agentes se encuentran en los eslabones intermedios de la cadena.

- 3) *Transportistas autónomos (TA)*. Son microempresas de transporte, en su mayoría de un solo camión, en las que el empresario es generalmente el propio conductor. La inmensa mayoría posee un solo vehículo por lo que su capacidad de transporte, de acuerdo con la legislación vigente, está limitada a unos 700 km diarios. Pueden trabajar para un solo cliente o para varios, sean estas empresas TMC, transitarios o expedidores, si bien la lógica de las empresas 3PL y 4PL en las cadenas de transporte dificulta cada vez más los contratos entre transportistas autónomos y clientes directos. Su ámbito de decisión, pues, es el más reducido de los tres tipos de agentes. De tal modo, los transportistas autónomos ocupan en TRANSOPE el último eslabón de las CST.

En la tabla 4.5 pueden verse resumidas algunos de los principales rasgos de los tres tipos de agentes que toman parte en el modelo. La jerarquía y capacidad de decisión decrece a medida que se avanza en la cadena de subcontratación, al igual que el margen de beneficio por cada operación de transporte. Dentro del objetivo general de realizar la operación de transporte conforme a lo acordado, cada tipo de agente tiene una función concreta dentro de la CST, y de acuerdo con esa lógica, cada uno de ellos tiene un ámbito de decisiones particular, que en el caso de los TA puede significar su no participación en una CST por no ser rentable. Finalmente, las limitaciones de disponibilidad de medios, en el caso de las ET, y de conducción, en el caso de los TA, pueden impedir la participación puntual de los agentes en las CST.

Tabla 4.5. Principales rasgos de los tipos de agentes de TRANSOPE.

	<i>Operadores logísticos</i>	<i>Empresas de transporte</i>	<i>Transportistas autónomos</i>
Jerarquía en la CST	Están a la cabeza de las CST, tienen gran capacidad de decisión	Son eslabones intermedios, están en contacto con los otros dos agentes	Ocupan el último puesto en las CST, su capacidad de decisión es limitada
Funciones	Supervisan las operaciones de transporte	Actúan de intermediarios entre OL, otras ET y TA	Son los responsables de la realización del transporte físico
Decisiones	Subcontratan a la ET más conveniente para realizar la operación	Subcontratan a ET o TA según sus aptitudes y localización	Aceptan el servicio solo si sus costes son inferiores al precio del transporte
Limitaciones	No reciben información directa de los TA	Su disponibilidad de recursos es finita	Solo pueden realizar una cantidad de km diarios

3.2.3. Las variables de los agentes

En los ABM cada agente tiene una serie de propiedades que sirven para caracterizar a cada individuo y distinguirlo del resto. Estas propiedades pueden variar durante el transcurso del modelo como resultado de las decisiones y acciones de cada agente y también por sus interacciones (Crooks *et al.*, 2019). En Netlogo las variables son “espacios de memoria (lugares físicos) que pueden almacenar valores” (García-Valdecasas, 2016, p. 87), siendo algunas de estas definidas por el propio programa y otras diseñadas por el programador/a. Por ello, en TRANSOPE son estas últimas las que definen el comportamiento de cada agente hacia sí mismo y hacia el resto. En nuestro modelo las variables decisivas en el comportamiento de los agentes se denominan variables operativas y se dividen en dos grupos:

a) *Variables de aptitud*. Caracterizan a cada agente según su aptitud para ofrecer un servicio de transporte acorde con las necesidades del mercado. Para calcular su valor todas parten de un parámetro calibrado al comienzo de cada simulación, que se obtiene a partir de la valoración de cada variable realizada por las empresas participantes en la encuesta TRANSOPE, y que se expone en los ajustes de salida del modelo (consultar el punto 2.3 del capítulo 6):

- *a.1. Competitividad (C)*. Ofrece un valor relativo a la capacidad de un agente de ofrecer mejores precios que sus competidores. Se calcula de la siguiente manera para cada agente:

$$C_i = Comp + X_{(k=1;\lambda=9)} - X'_{(k=1;\lambda=9)} \quad (4.1)$$

donde *Comp* es el parámetro de competitividad, obtenido a partir de su valoración en la encuesta TRANSOPE, y *X* y *X'* son números aleatorios de punto flotante a los que se les aplica una distribución gamma con parámetros *k* y λ . Esta distribución resulta de especial interés para modelizar variables en experimentos en los que el tiempo juega un papel esencial y donde dichas variables presentan una asimetría positiva (Arroyo *et al.*, 2014), como es el caso. Al introducir estos valores se consigue crear variabilidad en los valores de competitividad para cada agente.

El resultado que arroja esta ecuación sirve para calcular el precio absoluto (*P*) en EUR al que cada agente está dispuesto a hacer el transporte. Cada tipo de agente calcula su precio de modo diferente. En el caso de los operadores logísticos (OL) *P* se expresa así:

$$P_{(OL_i)} = km \cdot precio_{km} + C_{(OL_i)} \cdot X \quad (4.2)$$

donde km es la distancia OD entre el punto de carga u origen (O) y el de descarga o destino (D), $precio_{km}$ es una cantidad estándar a precios de mercado expresada en EUR, $C_{(OL_i)}$ es el valor de competitividad del operador logístico i , y X es un valor aleatorio entre 1 y 100, cuyo objeto es introducir variabilidad entre los OL. Tras este cálculo, el precio de cada OL permanece invariable durante toda la simulación.

En el caso de las empresas de transporte (ET), su precio estará sujeto a cambios en función del precio del operador logístico que le contrate y de la situación del mercado en ese momento. De tal manera,

$$P_{(ET_i)} = P_{(OL_i)} \left[\frac{100 - margen_{(OL_i)} \cdot (2 - SMT) - C_{(ET_i)}}{100} \right] \quad (4.3)$$

donde $margen_{(OL_i)}$ es el margen de beneficio que percibirá el operador logístico i en una situación de equilibrio del mercado. Dado que se trata de una información sumamente confidencial, la cuantía de este margen de beneficio se estima a partir de la ponderación de diferentes valoraciones de expertos del sector TMC consultados. Por su parte, SMT es el coeficiente de situación del mercado de transportes con valores entre 0 y 2, donde los valores inferiores a 1 indican mayor oferta que demanda, es decir, más camiones disponibles que operaciones a realizar, con lo que los márgenes de beneficio de las ET se reducen al aumentar los márgenes de los OL.

Por último, el precio de los transportistas autónomos (TA), se calcula de manera similar al de las ET:

$$P_{(TA_i)} = P_{(ET_i)} \left[\frac{100 - margen_{(ET_i)} \cdot (2 - SMT) - C_{(TA_i)}}{100} \right] \quad (4.4)$$

Sin embargo, los TA son los únicos agentes que tienen costes derivados del transporte (G), dado que son ellos quienes realizan el transporte material de la mercancía. Tras consulta al simulador de costes del transporte de mercancías por carretera (OTEUS-Observatorio del Transporte del Gobierno Vasco, 2021), estos fueron calculados mediante la siguiente expresión:

$$G_{(TA)} = (G_{VAR} \cdot km) + (G_{REG} \cdot km) + X - X' \quad (4.5)$$

donde G_{VAR} son los gastos variables por kilómetro, G_{REG} son los gastos regulares y X y X' son valores aleatorios entre 1 y 10, que sirven para establecer diferencias de gasto entre los TA. De tal manera, los costes determinarán la disponibilidad de los TA a ser seleccionados por las ET cuando estos sean iguales o mayores al precio que perciben por el transporte más el margen medio de beneficio:

$$P_{(TA)} \leq G_{(TA)} + \frac{(\text{margen}_{(TA)} \cdot G_{(TA)})}{100} \Rightarrow D_{(TA)} = 0 \quad (4.6)$$

- *a.2. Disponibilidad (D)*. Esta variable indica la capacidad real de transporte de los agentes ante la eventualidad de ser seleccionados para un servicio. Esta capacidad no es ilimitada, ya que una ET no posee un número infinito de contactos y un TA dispone de nueve horas de conducción al día, por lo que su kilometraje diario está igualmente limitado. Los OL, por su parte, tienen una disponibilidad permanente mientras existan operaciones que emprender. El cálculo del valor inicial de D para cada agente es similar al de la competitividad:

$$D_i = Dispo + X_{(k=1;\lambda=9)} - X'_{(k=1;\lambda=9)} \quad (4.7)$$

donde $Dispo$ es un parámetro de disponibilidad, calculado previamente a partir de su valoración por las empresas en la encuesta TRANSOPE, y X y X' son dos componentes mediante los cuales, como se explicó igualmente en el caso de la competitividad, se crea variabilidad en los valores de disponibilidad para cada agente.

El funcionamiento de D es diferente en ET y TA. En el primer caso, cada vez que una ET es elegida por un OL su valor de disponibilidad dependerá directamente del número de transportistas disponibles $n_{(TA)}$ a los que podría subcontratar, si bien dicha disponibilidad se verá mermada cuando la situación del mercado de transporte demande muchos servicios de transporte ($SMT > 1$). Por tanto, la disponibilidad inicial de las ET se ajusta a la expresión

$$\forall ET \in CST_i \Rightarrow D_{(ET)_i} = D_{(ET)_i} \cdot \frac{n_{(TA)}}{10 \cdot SMT} \quad (4.8)$$

Sin embargo, la disponibilidad inicial de las ET contratadas irá decreciendo de manera gradual a medida que son seleccionadas para realizar servicios de transporte, por lo que se invierten los términos de la ecuación 4.8 del siguiente modo,

$$\forall ET \in CST_i \Rightarrow D_{(ET)_{t+1}} = D_{(ET)_t} - \frac{10 \cdot SMT}{n_{(TA)}} \quad (4.9)$$

donde $D_{(ET)_{t+1}}$ representa la disponibilidad en el momento $t+1$, la cual supone una reducción de su valor respecto a t . El valor de D es, por tanto, finito para las ET. Si $D_{(ET)_t} = 0$ la empresa de transporte i no podrá operar más durante esa jornada. Los valores de D se recalculan para las ET al comienzo de la jornada siguiente aplicando la ecuación número 4.8.

En el caso de los TA, la variable D condiciona el cómputo de kilómetros que estos pueden realizar en una jornada. Un transportista puede circular a una velocidad máxima permitida de 50 km/h en vías urbanas, 80 km/h en carreteras secundarias y 90 km/h en autopistas y autovías. Teniendo en cuenta que en dos semanas de trabajo el máximo de horas de conducción permitido por la legislación es 90 horas (Reglamento (CE) 561/2006; Reglamento (UE) 2020/1054) y que normalmente hay una parte de ese tiempo que se emplea en labores de carga y descarga y en desplazamientos en vacío se estima en 600 km facturables la distancia máxima realizable por un camión en un día. Es decir, un TA no podrá realizar un servicio completo de transporte si ha agotado sus km diarios, de acuerdo con la siguiente expresión

$$Q_{(TA_i)} = K_{\max} - 2 \sum_{l=1}^n km_l \quad (4.10)$$

donde Q es el cómputo de kilómetros realizado por el TA_i en una jornada y km es el kilometraje del viaje OD (origen-destino), que se duplica debido a la necesidad de retorno al punto de origen. Lógicamente Q nunca puede ser negativo. Por ejemplo, en el supuesto de que TA_i tenga que realizar servicios de transporte de 250 km durante una semana, después del primer viaje y una vez que retorne a su lugar de origen (+ 250 km), TA_i podrá recibir un segundo encargo de un viaje de otros 250 km, aunque no lo podrá completar durante esa jornada, debiendo conducir la jornada 2 los 150 km correspondientes al último encargo del día anterior, como puede verse en la tabla 4.6:

Tabla 4.6. Ejemplo de distribución de kilómetros facturables durante una semana de trabajo.

	<i>acumulado del día anterior</i>	<i>km servicio 1</i>	<i>km retorno</i>	<i>km servicio 2</i>	<i>km no realizados en el día</i>	<i>km totales realizados</i>
día 1	0	250	250	250	150	600
día 2	150	250	250	-	50	1200
día 3	50	250	250	250	200	1800
día 4	200	250	250	-	100	2400
día 5	100	250	250	-	0	3000

En este punto, para los TA la variable D actúa además como un factor de contingencia que altera Q , ya que por diferentes motivos un transportista podría no cubrir en una jornada concreta su máximo de km realizables. Por tanto, al igual que las ET, los TA dependen de la situación del mercado del transporte y de las empresas de transporte disponibles. Así,

$$\forall TA \in CST_i \rightarrow D_{(TA)_{t+1}} = D_{(TA)_t} - \frac{10 \cdot SMT}{n_{(ET)}} \quad (4.11)$$

siendo $n_{(ET)}$ es el número de ET disponibles. En resumen, la disponibilidad de un agente depende de sus propias posibilidades de realizar servicios como de la las de los demás. Es por tanto una variable de sistema.

- *a.3. Confianza (T)*. La última variable de aptitud es la confianza en la profesionalidad del agente susceptible de ser contratado, esto es, proporciona un valor de confianza basado en la profesionalidad de cada agente. Es necesario decir que en TRANSOPE se presupone que todas las operaciones de transporte salen según lo previsto, por lo que siempre que un PSL toma parte en una CST su valor no decrece. Así, el valor de T se calcula de este modo:

$$T_i = Trust + X_{(k=1;\lambda=9)} - X'_{(k=1;\lambda=9)} \quad (4.12)$$

donde Trust, del mismo modo que las otras dos variables de aptitud, se calcula previamente a partir de su valoración por las empresas en la encuesta TRANSOPE. Además, al igual que las dos variables anteriores, T no tiene efecto en los OL puesto que su profesionalidad es evaluada por sus clientes, los cuales no toman parte en el modelo. Asimismo, el resto de agentes mantienen durante toda la simulación el mismo valor de T , ya que, si bien la confianza de un cliente en su PST aumenta en la medida en que la tarea encomendada se complete según lo acordado, esta se computa como un incremento de la experiencia y el aprendizaje del PST, que será explicado más adelante.

b) *Variables topológicas*. En este grupo de variables se sitúan aquellas relacionadas con la localización de cada agente dentro del sistema. TRANSOPE, como buena parte de los modelos matemáticos de análisis espacial (Entrikin y Tepple, 2006), se modela sobre un espacio virtual isotrópico, homogéneo y sin más elementos espaciales que los propios agentes. Todas las medidas de distancia son, por tanto, euclidianas y se expresan en kilómetros.

La distancia en este modelo es un factor crucial, ya que, a pesar de que TRANSOPE solo modeliza las comunicaciones y relaciones contractuales entre agentes realizadas vía telefónica o telemática, estas se materializan después en operaciones de transporte en las que la proximidad facilita el intercambio de información y conocimiento. El modelo incluye tres variables topológicas de agente que se utilizarán para calcular su posición relativa y su centralidad. Son las siguientes:

- *b.1. Distancia cliente-proveedor (δ)*. Durante la simulación, cada proveedor potencialmente elegible por un cliente calcula la distancia euclidiana que lo separa de él. Por ejemplo, cuando un OL se dispone a elegir a una ET, todas ellas calculan su distancia al primero. De tal modo que

$$d_{(i,j)} = d_{(i,j)} + \Delta d \quad (4.13)$$

siendo $d_{(i,j)}$ la distancia euclidiana entre el agente i y el agente j expresada en kilómetros, y Δd la variación de la proximidad entre regiones.

- *b.2. Centralidad geográfica (C_g)*. Consiste en el sumatorio de la distancia de cada agente respecto al resto de agentes de su región dividido entre el número de agentes menos uno. Su formulación se basa en la closeness centrality, que fue introducida por Bavelas (1950) y posteriormente desarrollada por otros investigadores (Beauchamp, 1965; Sabidussi, 1966; Freeman, 1978; Wasserman y Faust, 1994; Dekker, 2008), si bien en nuestro modelo se calcula en función de la distancia real que separa a los nodos entre sí y no en base al número de arcos que separan a cada agente del resto. Otra diferencia importante radica en el hecho de que la C_g se calcula para cada zona por separado y no

tomando el conjunto de agentes del sistema. Además, aquí se utiliza de modo inverso, es decir, utilizando la media aritmética en vez de la media armónica:

$$Cg_{i(reg\ x)} = \frac{\sum_j d(i, j)}{n-1} \quad (4.14)$$

donde n es el número de agentes de la región $reg\ x$. Valores menores de Cg indican mayor centralidad.

- *b.3. Distancia geodésica media (Dg)*. Esta medida no es una variable de agente propiamente dicha, ya que proporciona un valor único para todo el conjunto de agentes de una región. Se calcula como una matriz de distancias euclídeas entre todos los vértices de un grafo (Herring *et al.*, 2012). Esta medida pretende representar el valor de cohesión teórica entre todos los agentes de una región en el caso de que todos estuvieran conectados entre sí por links no dirigidos. Es, por tanto, una medida de cohesión potencial de cada región del modelo que aquí se expresa adaptando la ecuación ofrecida por Newman (2003),

$$Dg_{(reg\ x)} = \frac{\sum_{i>j} d(i, j)}{n*(n-1)/2} \quad (4.15)$$

donde las distancias desde un agente al resto, excluidas las de un agente a sí mismo, se dividen entre el número de pares posibles. Al igual que las medidas de distancias anteriormente descritas, a menor valor de Dg mayor cohesión entre los agentes de la región x .

En resumen, el comportamiento de los agentes se decide a partir de estas variables. Sus valores de aptitud se verán incluso alterados en función de la interacción que se produzca entre ellos. Por último, es necesario añadir que el modelo incluye, además de las variables operativas, un grupo de variables de tipo informativo, consistentes en su mayor parte en contadores de actividad, y otras denominadas primitivas o genéricas del programa, que sirven para su identificación y caracterización básica.

3.2.4. El territorio

Como se ha señalado más arriba, el espacio en TRANSOPE se representa como una superficie isotrópica y homogénea, sin accidentes geográficos ni, por lo tanto, obstáculos que salvar. Las comunicaciones entre agentes tienen lugar considerando la distancia más corta entre A y B .

Sin embargo, con el fin de simular la colaboración entre diferentes entidades espaciales y la formación de clústeres como producto de los intercambios de información interzonales, el espacio en TRANSOPE se divide en cuatro áreas de diferentes tamaños, cada una de ellas caracterizada con un color. Mediante esta diferencia de superficies se pretende provocar distintas densidades de agentes en cada área para posteriormente analizar su comportamiento y su impacto en la formación de CST.

En Netlogo los agentes se posicionan en una malla de dos dimensiones (García-Valdecasas, 2016) formada por $n \times n$ celdas. Cada una de esas celdas, también llamadas *patches*, adquiere en TRANSOPE unas dimensiones de 100 x 100 metros, pudiendo ser ocupada únicamente por un agente. De tal modo, las superficies quedan configuradas como sigue:

Tabla 4.7. Zonificación del territorio en TRANSOPE.

	<i>Color</i>	<i>Celdas</i>	<i>km²</i>
Zona 1	cyan	440	4.4
Zona 2	rosa	479	4.79
Zona 3	gris	456	4.56
Zona 4	verde	306	3.06
Total		1681	16,81

Además, el modelo puede simular el distanciamiento entre zonas para analizar el impacto del factor distancia en la formación de CST. Tal como se puede ver en la figura 4.5, el simulador parte de una distancia interzonal mínima de 0 kilómetros, pudiéndose ampliar hasta 40 km. El control de separación de áreas se regula al comienzo de cada simulación y es equidistante entre las cuatro zonas.

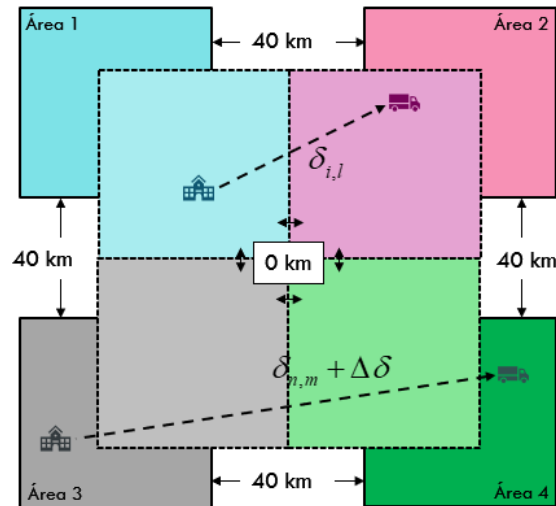


Figura 4.5. Separación mínima y máxima entre áreas y su traslado a las distancias entre agentes.

La distancia euclidiana entre agentes se calcula, por tanto, teniendo en cuenta el incremento de distancia indicado en la expresión 4.13. El resultado tiene un margen de error proporcional a la distancia incrementada y es prácticamente equivalente en todas las distancias, por lo que no se considera.

3.2.5. Interacciones entre agentes

Las interacciones constituyen el auténtico objeto de estudio de los modelos basados en agentes. Gracias a ellas pueden surgir patrones, estructuras y comportamientos no programados explícitamente en dichos modelos (Macal y North, 2010). En este sentido Crooks y Heppenstall (2012) recuerdan la complejidad y heterogeneidad de la topología resultante de las interacciones entre agentes, que puede desviarse de las predicciones de un comportamiento agregado.

En TRANSOPE estas interacciones pueden ser de dos tipos:

- *Interacciones directas.* Son aquellas producidas gracias a la subcontratación y se representan por medio de arcos o links dirigidos. En la figura 4.6 puede observarse un ejemplo de una CST básica en TRANSOPE (1), donde el peso (w) de cada link es 1, esto es, cada conexión solo ocurre una vez, y a continuación una red producida por la formación de 8 CST (2), donde existen links con $w=1$, $w=2$ y $w=3$, en los que el agente A ha seleccionado una, dos o tres veces al agente B . En efecto, en las interacciones directas entre agentes los links actúan como elementos primordiales en la formación de grafos a partir de dos atributos fundamentales, el peso (w) y la longitud (l). Ambos atributos serán claves para medir la estructura y la dinámica del grafo resultante.

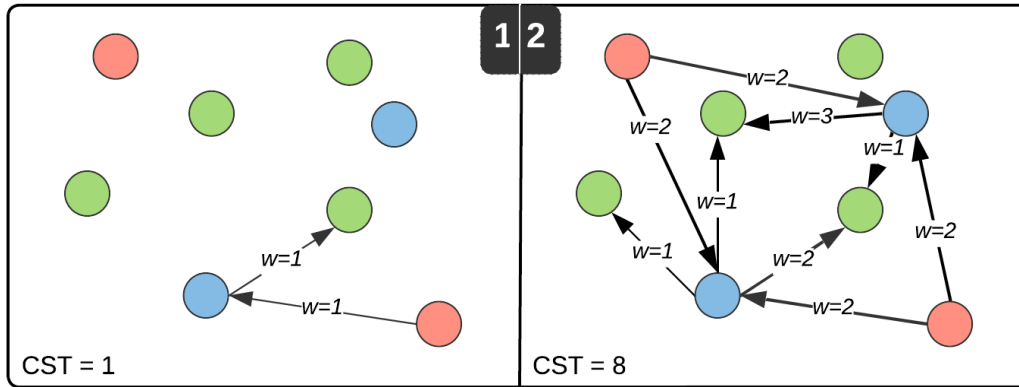


Figura 4.6. Representación de CST con diferentes niveles de complejidad

- *Interacciones indirectas.* Este tipo de interacciones tienen lugar por proximidad de los agentes a alguna zona de transferencia de información y conocimiento. Siguiendo el principio de Tobler (1970), según el cual “todo está relacionado con todo, pero las cosas cercanas están más relacionadas que las cosas lejanas” (p. 236), en el modelo se asume que los agentes tienen más posibilidades de contacto y de intercambio de información cuanto más próximos están unos de otros. Cada vez que un agente es seleccionado para formar parte de una CST crea, retiene y transfiere conocimiento por medio del aprendizaje adquirido de su entorno inmediato (Argote y Miron-Spektor, 2011).

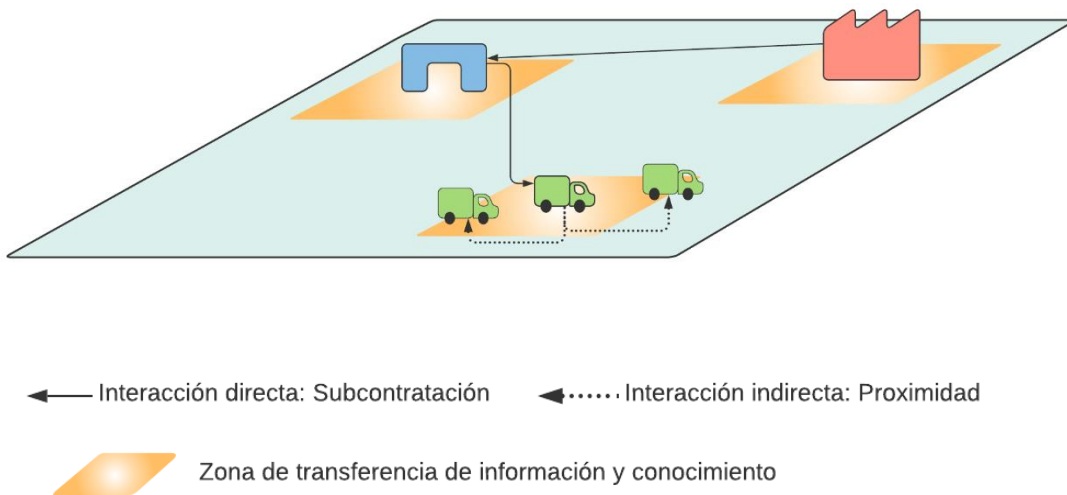


Figura 4.7. Interacción directa e indirecta en TRANSOPE.

En estos contactos indirectos por efecto de la proximidad el territorio juega un papel primordial como soporte y conductor de las interacciones entre agentes. De tal manera, cada parcela de territorio o *patch* tiene la capacidad de retener una parte del aprendizaje acumulado que los agentes situados en un radio r son capaces de transferir a su entorno. Así, los agentes residentes en zonas de aprendizaje aumentarán sus probabilidades de ser escogidos para posteriores CST gracias a la adquisición de información y conocimientos recibidos de manera indirecta.

3.2.6. La toma de decisiones: selección de proveedores

En las operaciones de subcontratación simuladas en TRANSOPE cada cliente escoge a un PST de entre todos los disponibles en función de una serie de criterios de selección, que coinciden con las variables descritas en el punto 3.2.3. Los criterios de aptitud se relacionan de la siguiente manera:

$$A_j = (T_j + C_j)D_j^2 \quad (4.16)$$

donde la confianza (T), la competitividad (C) y la disponibilidad (D) son las variables de aptitud (A) del PST j . Entre los tres criterios de selección la disponibilidad (D) es el único que exige una presencia física de material de transporte y cuyos valores decrecen con el transcurso del tiempo, por lo que su ausencia inutiliza las otras dos variables. Los valores de las tres variables pueden oscilar entre 0,1 y 2. Por defecto, el valor de partida de estos tres criterios es igual a 1, aunque una vez calibrados pueden crearse escenarios con valores de partida diferentes. En la figura 4.8 se representan tres posibilidades de comportamiento de los valores de aptitud (A_j) de un agente en función de la reducción paulatina de su disponibilidad a medida que va completando operaciones, de acuerdo con lo expresado en la ecuación 4.8. Así, la línea azul representa un descenso leve del valor de A_j como resultado del valor constante de la competitividad y un aumento progresivo de la confianza. En la línea roja tanto la competitividad como la confianza aumentan, lo que provoca que el valor de A_j crezca hasta un punto de inflexión. Finalmente, la línea verde muestra un descenso acusado de A_j , debido al valor constante de T y C .

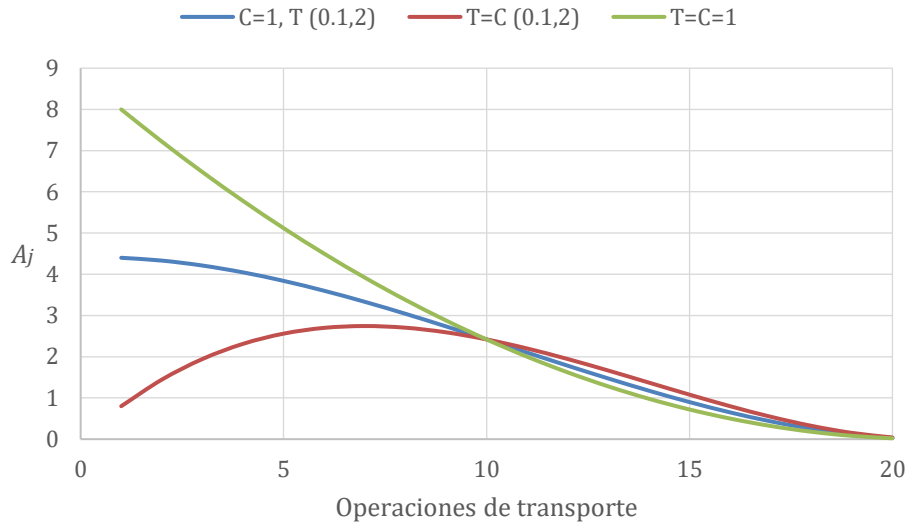


Figura 4.8. Decrecimiento de A_j por efecto de la reducción de la disponibilidad.

Además, en la decisión de selección participan las variables topológicas de cada agente. Tanto la distancia entre proveedor y cliente (δ) como la centralidad por cercanía geográfica (Cg) cobran una especial relevancia en TRANSOPE. Cuanto menores sean sus valores mayores ventajas tendrá el PST ante una posible selección. Asimismo, el valor de la distancia geodésica (Dg) de la zona a la que pertenece el PST $_j$ influye en la decisión del cliente i . De tal modo

$$\phi_j = \delta_j \cdot \sqrt{Cg_{ij}^2 \cdot Dg_{(r_j)}^2} \quad (4.17)$$

donde ϕ_j es el valor de localización y acceso a posibles ventajas comparativas del PST $_j$, derivadas de la cercanía a zonas de potencial transferencia de información, conocimiento y aprendizaje. En el gráfico n se muestra la curva de ϕ_j con diferentes valores de δ y Cg . A mayor distancia entre cliente y proveedor y mayores valores de cercanía geográfica el valor de localización aumenta. Por su parte, el valor de la distancia geodésica media permanece constante durante toda la simulación. Por lo tanto, no condiciona el comportamiento de ϕ_j .

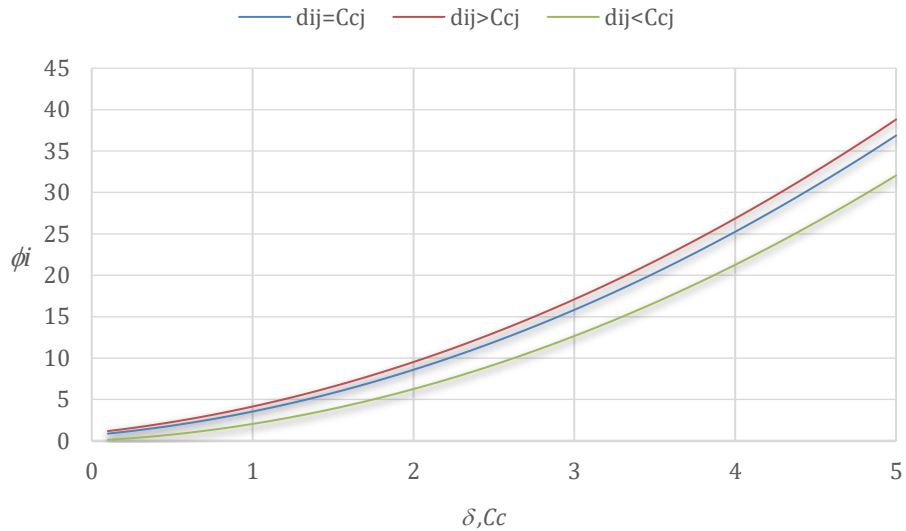


Figura 4.9. Comportamiento de ϕ_j ante el aumento de δ y Cc .

Esta formulación está inspirada en los modelos gravitatorios que parten de la teoría de la gravitación universal de Newton, es decir

$$F_{ij} = G \frac{m_i m_j}{d_{ij}^2} \quad (4.18)$$

según la cual la fuerza de atracción de los cuerpos i y j es directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ambos, donde G actúa como una constante. En el análisis de sistemas de transporte, esta teoría ha sido empleada frecuentemente para analizar las interacciones espaciales (Taylor, 1970; Mikkonen y Luoma, 1999) o identificar patrones de flujos comerciales entre regiones (Lee *et al.*, 2014; Ortúzar y Willumsen, 2011; Yao *et al.*, 2020). En TRANSOPE las ecuaciones 4.15 y 4.16 se complementan para conformar la expresión a través de la cual los clientes seleccionan a sus PST:

$$S_{ij} = \frac{A_j}{\phi_j} + K_j \quad (4.19)$$

siendo S_{ij} el valor de selección de PST j ante la posibilidad de ser escogido por el cliente i , y K_j es su valor de conocimiento como producto de su propio aprendizaje, adquirido gracias a su participación en operaciones de transporte, y de la información y aprendizaje que le ha sido transferido fuera del ámbito contractual gracias a la proximidad a otros agentes. Por tanto, la decisión de selección de PST por parte de un cliente se debe a la ecuación

$$S_{ij} = \frac{(T_j + C_j)D_j^2}{\delta_{ij}\sqrt{Cg_j^2 \cdot Dg_{(r_j)}^2}} + K_j \quad (4.20)$$

Esta expresión es utilizada tanto por operadores logísticos como por empresas de transporte para seleccionar a sus proveedores. Tanto unos como otros buscan al PST con las mejores aptitudes de transporte, a una distancia relativamente corta y con posibilidad de beneficiarse de ventajas de localización gracias a la vecindad de otros agentes y a su centralidad respecto a ellos. Además, K permite a aquellos agentes con desventajas de localización aumentar sus posibilidades de ser escogidos mediante la interacción indirecta con otros agentes, como puede verse en la figura 4.10.

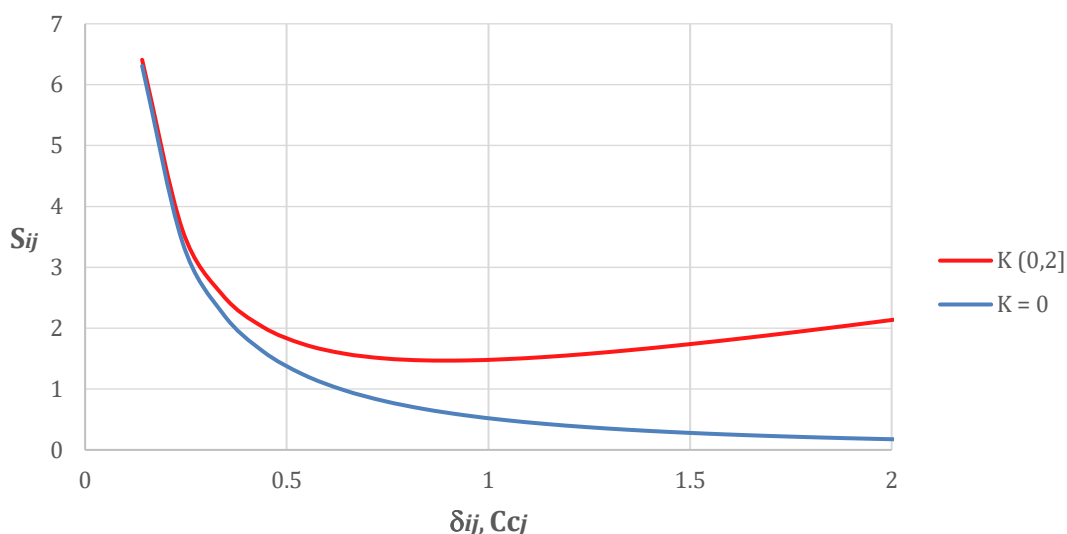


Figura 4.10. Comportamiento de S_{ij} en función del valor de aprendizaje K .

Teniendo en cuenta esto, el comportamiento de S depende en buena medida de la relación entre la distancia euclidiana entre cliente y proveedor (δ_{ij}) y el grado de centralidad por proximidad (Cc_{ij}).

3.3. Conceptos de diseño

Sin olvidar los conceptos generales de los modelos ABM propuestos por Grimm *et al.* (2006), que son tratados en este apartado de manera transversal, dedicaremos seguidamente una especial atención a los conceptos específicos que vertebran TRANSOPE. Estos conceptos son el tiempo, el aprendizaje, la transferencia de conocimiento y la creación de valor en los clústeres logísticos.

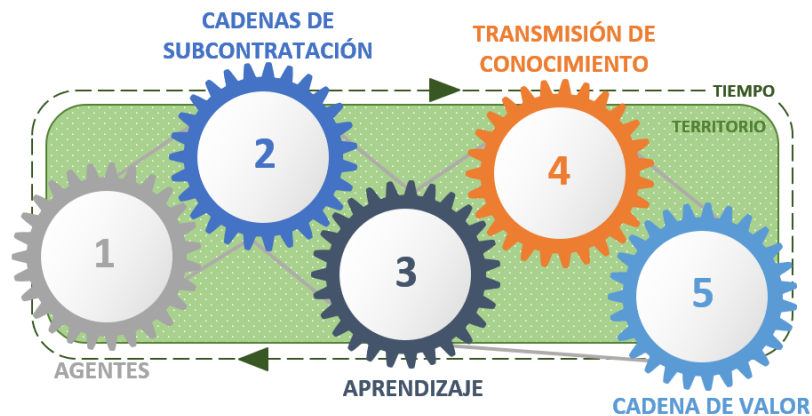


Figura 4.11. Relación entre conceptos del modelo TRANSOPE.

Cada uno de estos conceptos ha sido tratado ampliamente en el capítulo dedicado a la revisión del estado del arte. Su implementación en el modelo, en cambio, puede no coincidir plenamente con lo expuesto en dicho capítulo. Por esta razón en este apartado se detallan sus especificidades y su función en la dinámica del modelo.

3.3.1. Tiempo

Cada simulación en TRANSOPE ocupa un periodo determinado de n días establecido al inicio. Cada día debe completarse un número de CST igual a la cantidad de operaciones de transporte que haya sido determinada. Durante el transcurso de una jornada los valores de algunas variables se ven alterados por diferentes motivos. Por ejemplo, la disponibilidad se reduce en función de la “situación del mercado de transporte” (*SMT*). Este controlador puede oscilar entre 0 y 2 y se refiere al estado de equilibrio entre la oferta y la demanda de servicios de transporte: Cuando la oferta es superior a la demanda, como por ejemplo en temporada estival, entonces $SMT < 1$, con lo que la reducción de la disponibilidad de cada PST es menor ya que hay menos servicios de transporte para repartir entre ellos. En la tabla 4.8 se expresa las posibles alteraciones de las variables de aptitud en los agentes seleccionados en cada CST. Las variaciones de los valores del aprendizaje se explicarán en el punto 3.3.2.:

Tabla 4.8. Alteración de valores de variables en cada CST.

<i>variables</i>	<i>OL</i>	<i>ET</i>	<i>TA</i>
Competitividad	=	=	=
Confianza	=	=	=
Disponibilidad	=	$D - \frac{10 \cdot SMT}{n_{(TA)}}$	$D - \frac{10 \cdot SMT}{n_{(ET)}}$
Aprendizaje	ΔK	ΔK	ΔK

Cuando se produce el cambio de jornada los valores de disponibilidad se refrescan recalculándose de nuevo. En cambio, los valores de confianza y aprendizaje acumulados de la jornada anterior se mantienen. La competitividad sigue dependiendo de la situación del mercado (tabla 4.9).

Tabla 4.9. Alteración de valores de variables en cada cambio de jornada.

<i>variables</i>	<i>OL</i>	<i>ET</i>	<i>TA</i>
Competitividad	=	=	=
Confianza	=	=	=
Disponibilidad	=	$\cong D$	$\cong D$
Aprendizaje	ΔK	ΔK	ΔK

El simulador tiene además en cuenta los tiempos de desplazamiento de los transportistas autónomos en función de las distancias que deben cubrir en cada viaje y en el lapso que transcurre entre la descarga y el retorno al punto de origen.

3.3.2. Aprendizaje

Uno de los objetivos de este modelo es introducir el proceso de aprendizaje en el que se ven envueltos los actores de un entorno de alta densidad de actividad de TMC como factor añadido dentro de la lógica de selección de PST y de la conformación de CST. El aprendizaje y el conocimiento tácito se producen como consecuencia de la experiencia (Blumenberg *et al.*, 2009), siendo esta considerada en un primer momento a un nivel individual, aunque siempre dentro de un marco geográfico y temporal determinado (Argote y Miron-Spektor, 2011).

Como se ha visto en el punto 3.2.5., en TRANSOPE las interacciones se producen por vía directa e indirecta. Por tanto, el conocimiento acumulado de un agente (k) se debe tanto a la experiencia directa tras haber participado en una o varias CST, como a través de contactos no contractuales, que dan lugar a la transferencia de experiencia y aprendizaje por parte de otros agentes.

El aprendizaje directo tiene que ver con las veces que un agente forma parte de una CST y, más concretamente, con el valor que esta genera durante la operación de transporte. De tal manera, el aprendizaje se acumula operación tras operación, aunque este valor solo es percibido por las ET y los TA, ya que los OL tienen garantizada su participación en las CST por su posición de dominio en la estructura de la cadena. Se calcula teniendo en cuenta el número de veces que un agente ha sido contratado para un servicio de transporte. Así,

$$DK_j = \sum_{m=1}^n \frac{kt}{V_{CST_m^j}} \quad (4.21)$$

donde DK es el conocimiento del agente j adquirido mediante el aprendizaje directo, $V_{CST_m^j}$ es el valor generado por la CST en la que ha tomado parte el agente j , y kt es un controlador del nivel de transferencia de conocimiento con valores entre (0,1]. Así pues, al entenderse que cada experiencia de transporte aporta nuevo conocimiento y que la capacidad de aprendizaje es inagotable, k se actualiza cada vez que un agente es seleccionado.

3.3.3. Transferencia de conocimiento

La información que proporciona la experiencia y el aprendizaje acumulados por un agente puede ser compartida con otros, y ello puede proporcionar beneficios a las nuevas cadenas (Zhou y Benton, 2007), ya que el conocimiento, al depender de los procesos de aprendizaje y de su difusión, siempre está localizado (Coccia, 2007). Esta circunstancia permite concebir un entorno espacial en el que los agentes radicados en él transfieren y reciben información que les resulta útil para aumentar sus posibilidades de ser seleccionados por un cliente.

El aprendizaje indirecto gracias a la transferencia de conocimiento ha sido utilizado para modelizar fenómenos muy diversos, desde la decisión de elección de vivienda basándose en las

decisiones previas de otros usuarios (Cantergiani, 2017; Li *et al.*, 2020) hasta la modelización del aprendizaje y adaptación de estrategias de agentes individuales (empresas) frente a los objetivos de déficit generales (Salle *et al.*, 2013). Sin embargo, las investigaciones sobre la formación de clústeres logísticos basadas en la transferencia de conocimiento desde una perspectiva de agentes son muy escasas en la literatura especializada. El modelo TRANSOPE aborda este fenómeno partiendo de una serie de presupuestos en el comportamiento de los agentes:

i. Todos los agentes tienen la intención de transmitir información basada en sus propias experiencias y aprendizaje, a partir de las operaciones de transporte en las que han tomado parte.

ii. Todos los agentes aceptan la información que les es transferida y la incorporan a sus mecanismos internos como nuevo conocimiento, lo cual eleva sus posibilidades de participación en el mercado de transporte.

iii. La información transmitida siempre presenta la calidad y cantidad suficientes como para ser considerada valiosa para el conjunto de agentes, sin establecer diferencias entre ellos por razones de rango o categoría.

iv. La difusión de la información y el conocimiento tiene lugar por proximidad a través de contactos directos entre agentes en entornos favorables para ello. No se considera la presencia de barreras físicas que dificulten la transmisión ni la existencia de canales o infraestructuras que la faciliten, como por ejemplo vías o corredores.

Teniendo en cuenta estas premisas, el procedimiento de transferencia es el siguiente:

- 1) Los agentes que han participado al menos una vez en una CST establecen una zona de influencia en un radio r . Cada unidad de terreno o parcela dentro de ese radio computa a su vez el número de contratos efectuados por los agentes situados dentro del radio r partiendo desde su centro, y calcula en función de ello un valor de aprendizaje indirecto (IL) de acuerdo con la expresión

$$IL_{(p_i)} = kt \frac{\sum_{j=1}^m \text{contracts}_{j(r_{p_i})}}{n_{(r_{p_i})}} \quad (4.22)$$

donde n es el número de agentes en r_{p_i} , que es el radio desde el centro de la parcela p_i , y contracts es el número de contratos que un agente ha conseguido realizar. En este caso, contracts computa los contratos de todos los agentes situados en r_{p_i} . Estos valores se actualizan al término de cada jornada.

- 2) Además, cada unidad de terreno transfiere información a sus parcelas vecinas (v) repartiendo un porcentaje de L entre ellas, es decir, si por ejemplo $kt_{(p_i)} = 0.2$ significa que la parcela i distribuye el 20% de su aprendizaje acumulado entre sus parcelas vecinas, y recibe en la misma medida el conocimiento generado en dichas parcelas, por lo que el valor final del aprendizaje indirecto para cada parcela se corresponde con la fórmula

$$IL_{(p_i)} = IL_{(p_i)} - (IL_{(p_i)} \cdot kt) + kt \sum_{u=1}^w \frac{IL_u}{n_{v_u}} \quad (4.23)$$

de tal modo que cada parcela acumula aprendizaje y conocimiento creado tanto por sus agentes próximos como por agentes más alejados, creándose de esta manera un polo de transferencia de conocimiento (figura 4.12).

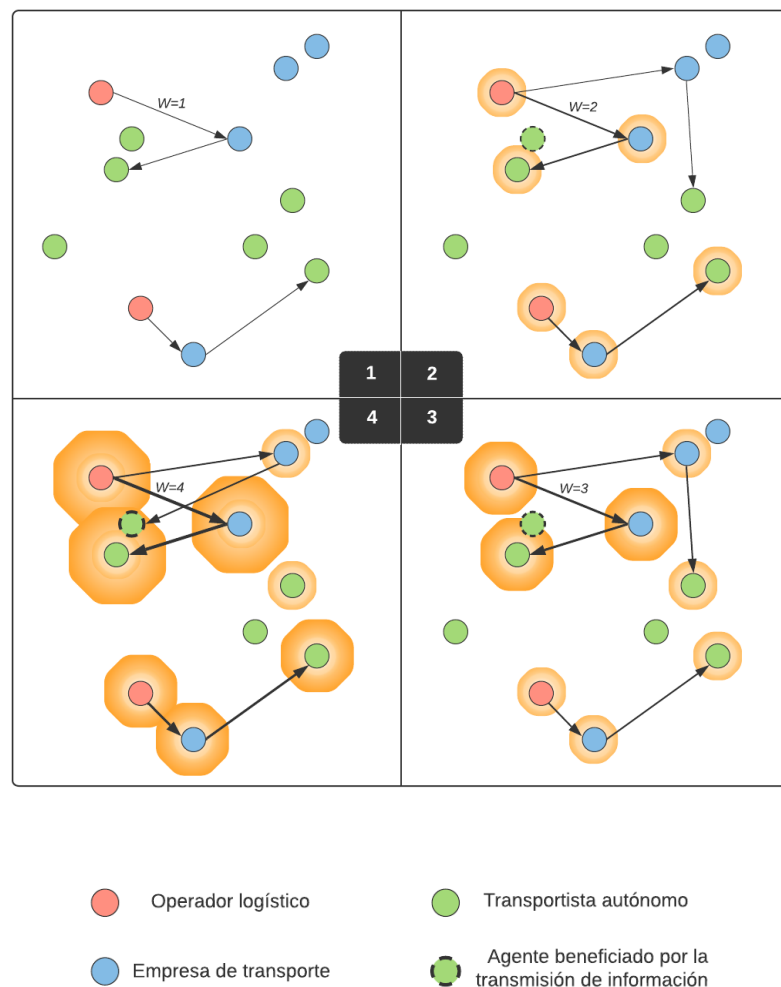


Figura 4.12. Esquema de la interacción en TRANSOPE.

- 3) Finalmente, cada agente recibe de la parcela sobre la que se encuentra el valor de IL , que viene a sumarse a su aprendizaje y experiencia directa, es decir,

$$K_j = DK_j + IL_{(p_i)}^j \quad (4.24)$$

siendo K_j el valor de conocimiento acumulado del agente j instalado en la parcela i . Durante la simulación la cantidad de conocimiento del sistema va aumentando en la medida en que se van generando más CST.

Por tanto, en la dinámica del modelo el nivel de transferencia de información y conocimiento kt es un elemento clave, ya que permite simular el efecto de la transferencia de conocimiento con diferentes intensidades a lo largo de un periodo determinado.

3.3.4. Clústeres logísticos

El último concepto que integra TRANSOPE tiene que ver con el valor concentrado en áreas de alta actividad. La creación de valor está estrechamente ligada a las cadenas de valor, que se refieren a las actividades y procesos necesarios para que un producto o servicio sea concebido, desarrollado y, finalmente, entregado a un cliente (Kaplinsky y Morris, 2002). En el sector del transporte el valor se genera cuando las condiciones un entorno de actividad permiten la implementación de buenas prácticas como consecuencia de un conocimiento compartido entre las empresas. De tal modo, la concentración espacial de empresas es un factor necesario para facilitar el intercambio de conocimiento y las interacciones sociales (Brazinskas y Beinoravičius, 2014) y para el surgimiento de ventajas competitivas (Porter, 2001).

En TRANSOPE el producto de las interacciones entre agentes genera un valor compartido, que puede dar como resultado la aparición de polos de atracción de la actividad de transporte y la formación de clústeres. Estos polos pueden ser considerados como entornos especialmente favorables para la formalización de contratos y la formación de cadenas de transporte, adquiriendo entidad espacial al concentrarse geográficamente (Abushaikha, 2018). Como consecuencia de la actividad de las empresas que participan en las CST las parcelas cercanas aumentan su nivel de aprendizaje. Las zonas con mayor aprendizaje se oscurecen mostrando entornos de alta concentración de actividad (fig. 4.13)

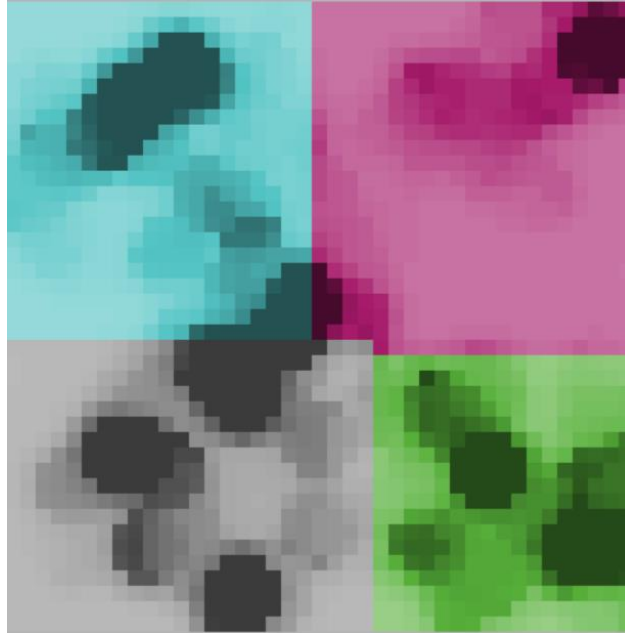


Figura 4.13. Entornos de alta concentración de actividad de transporte.

La propagación de estos entornos favorables a la formación de relaciones de colaboración entre empresas se verá afectado por la distancia entre áreas, tal y como se representó anteriormente en la figura 4.5.

3.4. Puesta en marcha

Antes de iniciar las simulaciones es necesario indicar, en primer lugar, qué método se ha seguido para verificar el modelo y calibrar los valores de los parámetros que intervienen en el mismo. Además, deberán ser definidos los diferentes tipos de situaciones o escenarios van a ser representados en las simulaciones y, por último, las clases de indicadores que serán extraídos para el posterior análisis de los resultados.

3.4.1. Verificación y calibración

Durante la evaluación de un modelo, el proceso de verificación determina si este funciona de acuerdo con la intención mostrada en su diseño y programación (Manson *et al.*, 2012; García-Valdecasas, 2016). En el caso del modelo TRANSOPE, este proceso exigió reiteradas pruebas destinadas a la detección de errores de programación que impedirían su correcto funcionamiento. Simultáneamente a estas pruebas fueron diseñados numerosos test de sensibilidad para verificar que el comportamiento de las variables de los agentes se situaba dentro de los rangos esperados. El empleo de este tipo de test para depurar errores es recomendado por Gilbert y Troitzsch (2005), preferiblemente simulando situaciones extremas con resultados fácilmente predecibles. Igualmente, la introducción del código es fuente frecuente de errores e imprecisiones (Crooks *et*

al., 2019), por lo que debe ser revisada constantemente. A tal efecto, el programa Netlogo (Wilensky, 1999) cuenta con un sistema de aviso de error de código, si bien no existen herramientas que faciliten la localización de dichos errores.

Como resultado de la aplicación del método ensayo-error para la corrección de imprecisiones, tanto de código como de comportamiento de los agentes, fueron producidas hasta 25 versiones del modelo. En la figura 4.14 pueden observarse las diferentes fases desarrolladas en el proceso de verificación de nuestro modelo, de acuerdo con el método para la validación de modelos propuesto por Ngo y See (2012).

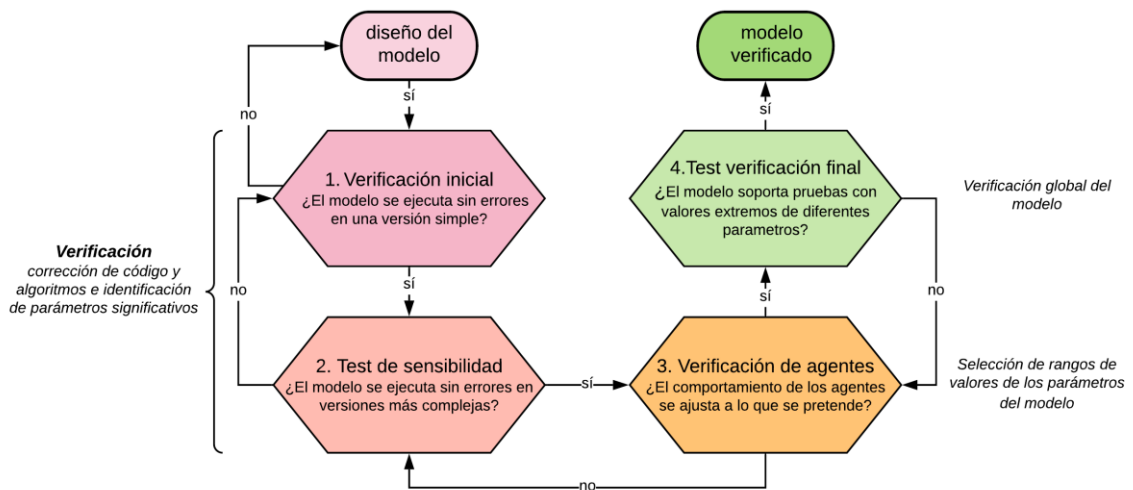


Figura 4.14. Fases en la verificación del modelo (adaptado de Ngo y See, 2012).

Por otro lado, en su intento de adecuarse lo más fielmente posible al fenómeno real que se pretende estudiar, los modelos necesitan ser calibrados previamente. Este proceso consiste adecuar lo representado a la realidad dando valores iniciales comprobados empíricamente a los parámetros del modelo (García-Valdecasas, 2016). Asimismo, más allá de dicho ajuste a las condiciones observadas de un fenómeno, la calibración puede emplearse además para estimar valores desconocidos o no observables de dichos parámetros (Crooks *et al.*, 2019). Sea como fuere, el objetivo final de todo proceso de calibración es minimizar los errores de ajuste entre valores del modelo y la realidad que se trata de representar. En nuestro modelo, este ajuste se lleva a cabo a través de dos métodos:

- *Ponderación de los resultados obtenidos en la encuesta.* Las respuestas de los encuestados referidas a los diferentes parámetros que componen el modelo fueron utilizadas tanto para ajustar los valores de salida como para establecer umbrales para cada uno de dichos parámetros. Estos valores de salida para la confianza (T), la competitividad (C) y la disponibilidad (D) se detallan en el punto 2.3 del capítulo 6. Los

márgenes de error y el nivel de confianza de estos ajustes se corresponden con los de la propia encuesta.

- *Validación aparente (face validation)*. Se trata de un método de calibración intuitiva (Crooks *et al.*, 2019) que incluye el análisis mediante observación de la dinámica de los agentes a través de varias repeticiones del modelo (Ngo y See, 2012). De acuerdo con los tres momentos de evaluación propuestos por Klügl (2008), los comportamientos dinámicos registrados por los agentes en las sucesivas iteraciones fueron chequeados en la fase de animación. A continuación, en la fase de resultados se evaluaron los resultados globales comparando los diferentes conjuntos de datos obtenidos. Finalmente, en la fase inmersiva se analiza con detalle la evolución de un agente concreto durante toda la simulación.

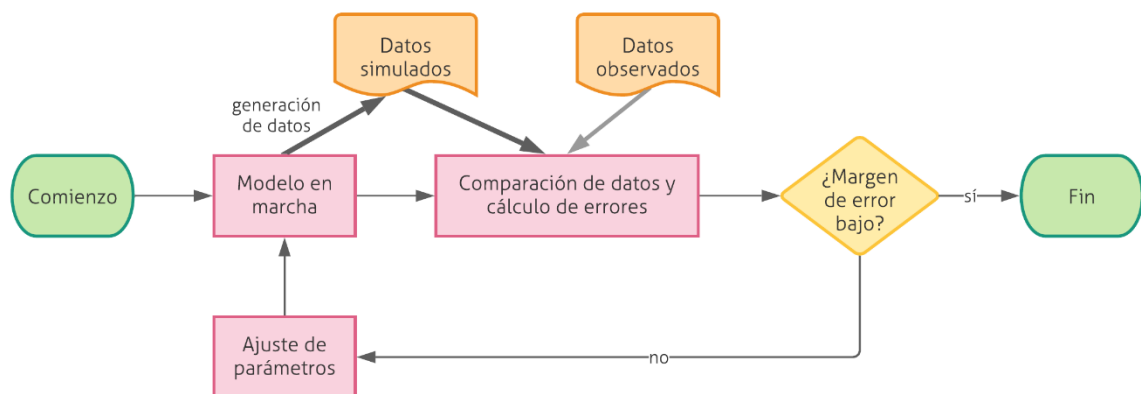


Figura 4.15. Proceso de calibración de un modelo (adaptado de Crooks *et al.*, 2019).

La base empírica del ajuste de los parámetros (Wilenski y Rand, 2015) otorga la necesaria robustez a la calibración del modelo sin necesidad de recurrir, por tanto, a otros métodos de calibración de tipo cuantitativo (Railsback y Grimm, 2011).

3.4.2. Planificación de escenarios

La complejidad de las CST está estrechamente vinculada a su enorme diversidad. Esta diversidad es producto de la gran variedad de mercados existentes, de las condiciones socioeconómicas de los entornos en los que se desarrollan y de las políticas públicas en materias como la creación de infraestructuras o la regulación de la actividad. Sin embargo, existen ciertos tipos de estructuras que se reproducen con mayor frecuencia que otras. Con el fin de obtener resultados a partir de un modelo que pueda servir de referencia para análisis posteriores en regiones concretas, en TRANSOPE la distribución de los agentes en el territorio es completamente aleatoria. Por tanto, no se pretende una proporcionalidad exacta en la densidad de las cuatro zonas. Sin embargo,

cada una de las zonas cuenta al menos con un operador logístico, dado que es este tipo de agente quien inicia las CST. En el punto 2.1 del capítulo 6 se detalla tanto el número total de agentes como su distribución por cada zona.

El diseño de la simulación requiere de la parametrización previa de cinco elementos fundamentales en el desarrollo del experimento. Estos elementos son la longitud de las cadenas de subcontratación de transporte (CST), la distancia entre zonas (δ), la situación del mercado de transporte (SMT), los kilómetros por viaje (OD) y el nivel de transferencia de conocimiento (kt).

En nuestro modelo las CST pueden componerse de tres o de cuatro agentes, tal y como se muestra en la figura 4.16, dado que para poder ser considerada como tal una CST debe implicar al menos a tres empresas. La implicación de más agentes en la CST conlleva una mayor distribución del conocimiento en el territorio, aunque ello supondrá a su vez un precio de transporte más ajustado para el último eslabón de la cadena. Al ser el tipo de estructura más abundante, la estructura A se considera como el tipo de CST preferente en un escenario normal.

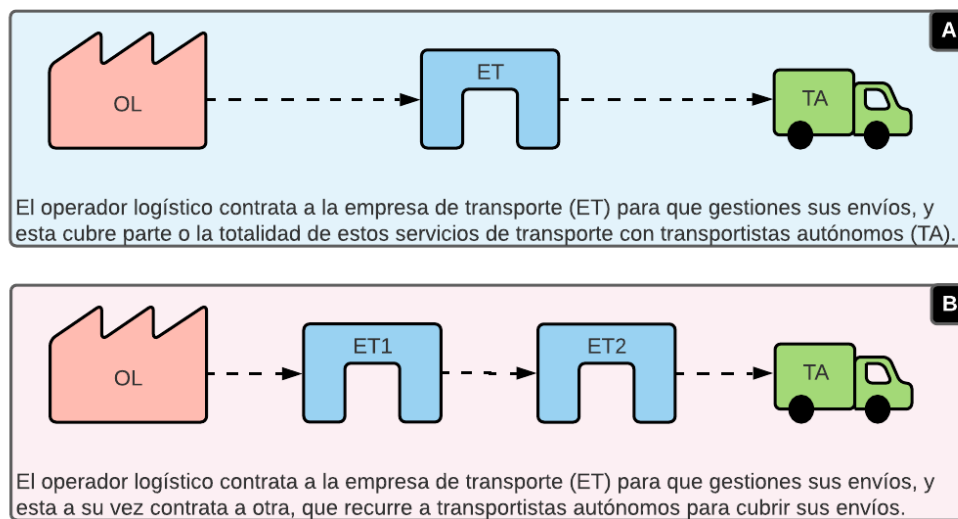


Figura 4.16. Tipos de CST en TRANSOPE.

Como se ha visto más arriba, el territorio en TRANSOPE consta de cuatro zonas que pueden estar separadas desde 0 a 40 kilómetros unas de otras. Este parámetro se fija al inicio de la simulación por medio de un deslizador. El objetivo de este parámetro es descubrir de qué manera influye la distancia en el comportamiento de los agentes en el momento de colaborar entre sí. Por ello, para este parámetro se consideran los valores $\delta \{5, 25\}$.

Del mismo modo, se plantean dos escenarios respecto a la situación del mercado del transporte, equidistantes al punto de equilibrio $SMT = 1$. Los valores de estos dos escenarios son $SMT \{0.5, 1.5\}$, que se corresponden, en el primer caso, con una situación de mayor oferta de servicios de transporte que demanda real, y en el segundo caso, mayor demanda que oferta.

En lo que respecta a los km OD, el modelo pretende representar un tipo de servicios de transporte de mercancías generales con desplazamientos de corta distancia. Este tipo de transportes puede oscilar por término medio entre 100 y 200 km OD, con su consiguiente tramo de retorno al punto de partida. Para evitar un número demasiado elevado de escenarios de análisis se plantea un valor medio único consistente en $OD\{150\}$, que implica un retorno del mismo kilometraje y, teniendo en cuenta el máximo realizable estimado de 600 kilómetros diarios, un máximo de dos viajes diarios para cada TA.

Finalmente, el nivel de transferencia de conocimiento kt puede oscilar entre los valores 0 y 1, lo que significa que un agente es capaz de transferir entre el 0 y el 100% de su conocimiento basado en la experiencia y el aprendizaje. De tal manera, se plantean dos escenarios en los que la transferencia de conocimiento adquiere los valores $kt\{0.2, 0.8\}$, que servirán para comparar el efecto de dichos diferentes niveles de aprendizaje en la formación de los clústeres logísticos. En el punto 2.2 del capítulo 6 se explican los diferentes escenarios que se contemplan para desarrollar la simulación.

3.4.3. Elección de indicadores

Con el fin de contestar a las preguntas de investigación formuladas en el primer capítulo de este trabajo, una parte del diseño del modelo se centra en la obtención de indicadores de los fenómenos que se pretende representar. En este sentido, en los modelos orientados a patrones los indicadores de organización interna son provistos por el propio sistema complejo (Grimm y Railsback, 2012), que deben ser identificados y analizados convenientemente. En el caso de nuestro modelo, estos indicadores harán referencia al comportamiento individual de cada agente en relación con el conjunto, por un lado, y a la estructura y dinámica del sistema, por otro. Los diferentes tipos de indicadores (figura 4.16) se agrupan en cuatro categorías de acuerdo con el objeto de análisis:

- Agentes:

1. *Tasas de actividad.* La participación de los agentes en las CST constituye un indicador de primer orden para analizar la dinámica de los sistemas TMC. Las colaboraciones producidas bajo condiciones operativas cambiantes proporcionan valiosa información sobre el comportamiento de los agentes como consecuencia de la toma de decisiones. Las participaciones de cada agente se computan mediante el número de contratos realizados y contratos recibidos en un periodo de una semana laborable.

2. *Métricas locales de centralidad.* La posición en la red de cada agente en relación con la actividad del sistema ofrece una serie de medidas individuales de centralidad que definen el potencial de participación de cada agente en futuras CST y su nivel de influencia dentro del conjunto.

3. *Colaboración zonal e interzonal*. Este tipo de indicadores tiene en cuenta las cuatro zonas geográficas en las que los agentes desarrollan su actividad para tratar de determinar el efecto de la fricción de la distancia en la toma de decisiones de colaboración. Se estiman, además, los roles que los agentes desempeñan en relación con dos parámetros: la colaboración dentro de sus propias zonas y la colaboración con el resto de zonas del sistema.

- CST:

4. *Dinámica de las CST*. Las contrataciones previstas para una jornada se formalizan consecutivamente hasta ser completadas, donde cada paso temporal equivale a la conformación de una CST, en la que caben dos contrataciones. El proceso se reinicia en la jornada siguiente hasta un total de cinco días, si bien el rastro (aprendizaje) fruto de las colaboraciones realizadas durante la jornada previa permanece en los agentes y el territorio. En este punto se tratará de estimar el impacto de la huella dejada por las colaboraciones a una escala temporal.

5. *Distancia entre colaboradores*. Del mismo modo, la distancia existente entre dos agentes colaboradores será analizada en relación con la evolución de las contrataciones.

6. *Relación distancia/frecuencia*. Este indicador permite conocer la relación entre la frecuencia de las colaboraciones entre los agentes y su distancia.

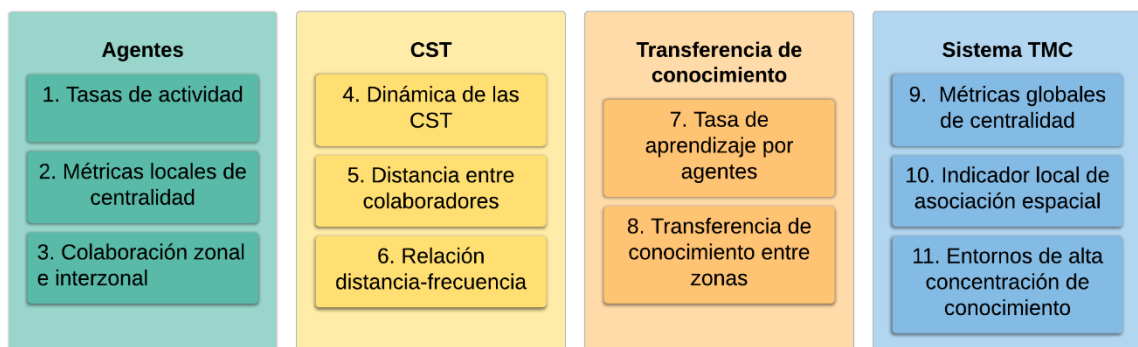


Figura 4.17. Resumen de los indicadores del modelo propuestos.

- Transferencia de conocimiento:

7. *Tasa de aprendizaje por agentes*. Este indicador compara las tasas de aprendizaje a nivel territorial. Se establecen cuatro niveles de aprendizaje en relación con el promedio de todas las parcelas.

8. *Coefficiente de eficacia de la transmisión del conocimiento (TC)*. Este indicador relaciona a aquellos agentes que se encuentran en zonas cuyo nivel de aprendizaje se encuentra por encima de la media con su actividad. El coeficiente máximo es 1, lo que significa que todos los agentes radicados en esas zonas han participado en una CST en algún momento.

- Sistema TMC:

9. *Métricas globales de centralidad*. Mediante este indicador, propuesto por Guimera y Amaral (2005) para el análisis de la modularidad en grafos, se puede medir la calidad de conexión de un agente con el resto de agentes de su área. Valores elevados de este indicador señalan una alta conexión del agente con sus vecinos.

10. *Indicador local de asociación espacial*. En este caso se trata de medir la participación de un agente en el conjunto del grafo, es decir, la uniformidad de su conexión con el resto de áreas del sistema. Para este coeficiente los valores cercanos a 1 indican una distribución uniforme de un agente entre todas las áreas y los cercanos a 0 una participación exclusiva del agente en su propia área (Guimera y Amaral, 2005).

11. *Entornos de alta concentración de conocimiento*. En este punto se agrupan una serie de medidas relativas a las dimensiones del grafo resultante tras cada simulación. Algunas de estas medidas son los grados medios (global, de entrada y de salida), la longitud, la densidad, la intermediación o betweenness y la centralidad de eigenvector.

Finalmente, estos indicadores se desarrollan y se analizan en el punto 3 del capítulo 6.

4. Conclusiones

Todo planteamiento metodológico en una investigación científica requiere de un grado mínimo de robustez para afrontar con garantías la fase analítica de los resultados. En este capítulo han sido presentadas dos herramientas metodológicas bien diferenciadas, aunque complementarias entre sí. Por un lado, la encuesta se emplea como fuente de información tanto para el diseño del modelo como en el necesario proceso de calibración y validación. Por otro, el modelo pone “en juego” los elementos del sistema TMC definidos a través de la encuesta sobre una base conceptual, proveyendo así a posteriores investigaciones con nuevas orientaciones quizás no tenidas en cuenta en la fase de diseño del cuestionario. En palabras de Torrens, “el modelo sirve como un vehículo (...) que permite aliar la teoría con los datos en algún tipo de marco analítico” (2010, p. 428).

De tal modo, este doble constructo metodológico constituye la base a partir de la cual se abordará la complejidad que presentan los sistemas TMC. El análisis de los resultados de la encuesta, que se expone a continuación, se centrará en tratar de revelar dicha complejidad, en lo que se refiere a los procesos colaborativos entre empresas de diferente rango y a las estructuras de subcontratación derivadas de los mismo, entre otros aspectos. Por su lado, pese a la dificultosa tarea que supone la simplificación de reglas en un sistema complejo (Manson, Sun y Bonsal, 2012), el diseño de nuestro modelo focaliza su atención en aquellos parámetros que pueden explicar el funcionamiento del sistema, utilizando el menor número de variables posible de acuerdo con el principio de parsimonia (Batty y Torrens, 2015). Así, los valores de estos

parámetros del modelo serán ajustados previamente a la puesta en marcha de las simulaciones conforme a los resultados obtenidos en la encuesta.

Por último, es necesario remarcar el carácter novedoso que representa en la investigación de los sistemas de transporte la figura de la CST como estructura básica de análisis en la formalización de relaciones de colaboración entre agentes. El estudio de las relaciones de subcontratación entre empresas ocupa un importante espacio del cuestionario, centrándose en identificar el establecimiento de flujos de información y conocimiento entre los agentes participantes en una operación de transporte. Una vez procesados estos datos, el tipo de estructura más frecuente será trasladado al modelo para simular su comportamiento sobre el territorio.

Capítulo 5. La encuesta TRANSOPE a profesionales del TMC

CAPÍTULO 5. LA ENCUESTA TRANSOPE A PROFESIONALES DEL TMC

1. Introducción

Los sistemas económicos se encuentran en constante cambio y evolución. Esta circunstancia es resultado de la necesaria adaptación a nuevas reglas y nuevos escenarios en un mundo extraordinariamente convulso y globalizado que, en palabras de Zygmunt Bauman, “separa en la misma medida que une” (2001, p. 21). El transporte, como sector de notable importancia estratégica, es especialmente sensible a dichos cambios en el orden económico mundial. Si aceptamos que en el hasta ahora vigente modelo económico “las oportunidades de negocio han estado cada vez más relacionadas con la movilidad de las personas, los bienes y la información” (Rodrigue *et al.*, p. 95), la irrupción de la crisis planetaria originada por el COVID-19 amenaza hoy con alterar los hábitos de consumo dependientes de dicha movilidad, lo cual afectaría profundamente a los sistemas productivos y, en consecuencia, al transporte y distribución de bienes por todo el mundo. En consecuencia, el sector del transporte debe de estar preparado ante tales cambios.

En respuesta a la necesidad de armarse de un mayor y más profundo conocimiento del sector que ayude a afrontar con éxito los desafíos del futuro se presenta la encuesta TRANSOPE, como un instrumento de medición de la colaboración entre empresas del sector del transporte de mercancías por carretera en el área de mayor densificación de esta actividad en la provincia de Gipuzkoa, es decir, las comarcas de Donostialdea y Bidasoa-Beherea.

La encuesta TRANSOPE se diseñó teniendo en cuenta las especificidades del sistema de transporte guipuzcoano, su estructura, su dinámica reciente y su distribución desigual a lo largo del territorio. El planteamiento de partida fue el de recoger evidencias suficientes sobre los procesos de interacción y colaboración entre empresas del sector a nivel operativo, es decir, en el ámbito de la subcontratación dirigida a cubrir necesidades de transporte. Por tal motivo, se estimó necesario medir el punto de vista de los actores directamente implicados en la toma de esta clase de decisiones: Los operadores de tráfico de empresas de transporte de mercancías por carretera (empresas TMC) y los transportistas autónomos. La participación de estos dos tipos de agente en la dinámica diaria del sistema de transporte se considera aquí, pues, como necesaria y trascendental. La búsqueda de patrones que expliquen la toma de decisiones de los agentes respecto a cómo, dónde y por qué se producen las operaciones de transporte es fundamental para comprender la lógica de su funcionamiento (Richardson *et al.*, 1995).

El empleo del método de encuestas es habitual en el estudio de sistemas de transporte. En la literatura académica especializada en TMC existe una gran variedad de ejemplos que recurren a este método para acceder a volúmenes de información que no podrían hacerse visibles de otro modo. Podemos encontrar desde encuestas centradas en aspectos tan concretos como el

impacto de la multimodalidad (van Schijndel y Dinwoodie, 2000) hasta macroencuestas como la encuesta francesa ECHO de 2004 (Guibault, 2008), dedicada a identificar diferentes tipos de cadenas de transporte (Gavaud *et al.*, 2011), pasando por las encuestas organizadas por instituciones públicas de la UE, como la Kraftfahrtbundesamt (KBA) en Alemania (Friedrich *et al.*, 2003) o la Encuesta Permanente de Transporte de Mercancías por Carretera (EPTMC) organizada por el Ministerio de Fomento (2019). En este sentido, el Reglamento 70/2012 del Parlamento Europeo y del Consejo (2012) establece la obligatoriedad de realizar encuestas oficiales al sector del TMC a todos los estados miembros con arreglo a la metodología que en él se indica (UE, 2012). Por lo que respecta a las encuestas procedentes del ámbito académico, salvo error de apreciación esta es la primera encuesta dirigida a profesionales del TMC realizada en el Estado Español.

Este volumen está organizado de la siguiente manera. En el apartado 2 se exponen los objetivos de la investigación. El apartado 3 recoge los planteamientos metodológicos referentes a aspectos tales como el diseño de los cuestionarios, la confección de la muestra y otras cuestiones de orden estadístico, además de los recursos y métodos usados en el tratamiento posterior de los datos recogidos. Los apartados 4 a 9 se corresponden con los bloques en los que se dividían los cuestionarios enviados tanto a operadores como a transportistas. Estos bloques son los siguientes: 4. Datos preliminares, 5. Cadenas de subcontratación, 6. Criterios de selección, 7. Creación de valor, 8. Procedimientos de trabajo y 9. Colaboración. A continuación, en el apartado 10 se exponen las conclusiones más relevantes de la investigación y se formulan propuestas que buscan el emprendimiento de acciones de mejora. Finalmente, en los apartados 11 y 12 puede consultarse, por un lado, un anexo estadístico con los resultados de índices de fiabilidad de las series y otras medidas estadísticas de interés, y por otro, las referencias bibliográficas empleadas en el estudio.

Para finalizar, es necesario mencionar que el contenido de este capítulo se corresponde con el apartado de análisis de resultados que figura en el trabajo de Salas-Peña (2021), derivados de la encuesta realizada en 2019 a operadores de transporte de empresas de diferente rango y a transportistas autónomos. La encuesta fue desarrollada en el marco de la colaboración entre Fundación Guitrans Fundazioa y los grupos de investigación Transporte, Infraestructura y Territorio (t-GIS) de la Universidad Complutense de Madrid y Computer Vision and Pattern Discovery (CVPD) de la Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea.

2. Datos preliminares

Los datos recogidos en el primer bloque de la encuesta sirven para establecer un perfil-tipo del personal que desempeña su actividad en las empresas del sector del TMC. Estos datos se refieren al sexo, la edad y el lugar de procedencia, a la formación académica y la experiencia, y finalmente, a la especialización dentro del sector.

2.1. Estructura por sexo, edad y lugar de procedencia

En primer lugar, la estructura por sexo muestra un sector fuertemente masculinizado. Si bien el predominio de varones es tradicional entre los transportistas autónomos, el porcentaje de feminización en las funciones operativas de gestión de tráfico es llamativamente baja (**preguntas O.P6 y T.P4**). Además, no se observa cambio de tendencia en este sentido con respecto a la incorporación de mujeres a las labores de operador de tráfico. Más allá de la necesaria cautela a la hora de interpretar estos datos, llama la atención el hecho de que la tasa de mujeres menores de 40 años ocupadas en esta actividad solo sea del 30%, ligeramente superior a la tasa general.

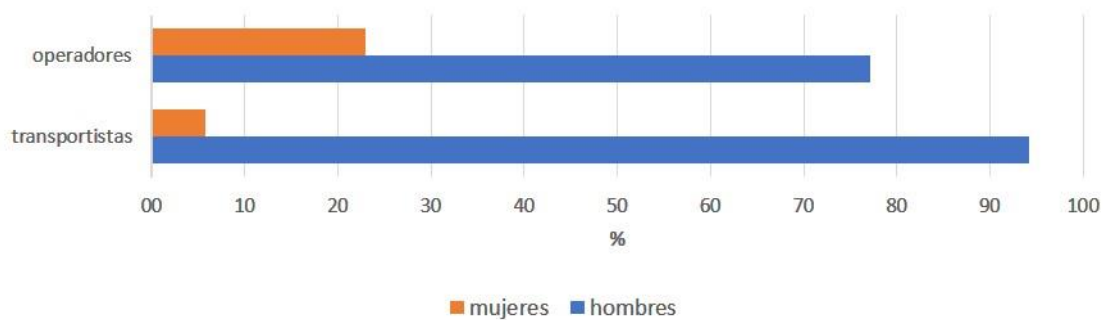


Figura 5.1. Estructura de los operadores de tráfico y transportistas autónomos por sexo.

En lo relativo a la edad (**preguntas O.P5 y T.P3**), los datos ponen de relieve un acusado envejecimiento del sector, en el que los transportistas muestran una media de edad de 51,8 años frente a los 47 años de los operadores. Asimismo, la figura 5.2 es muy significativa, ya que proporciona información sobre la incorporación de jóvenes a cualquiera de las dos actividades de TMC analizadas en este trabajo.

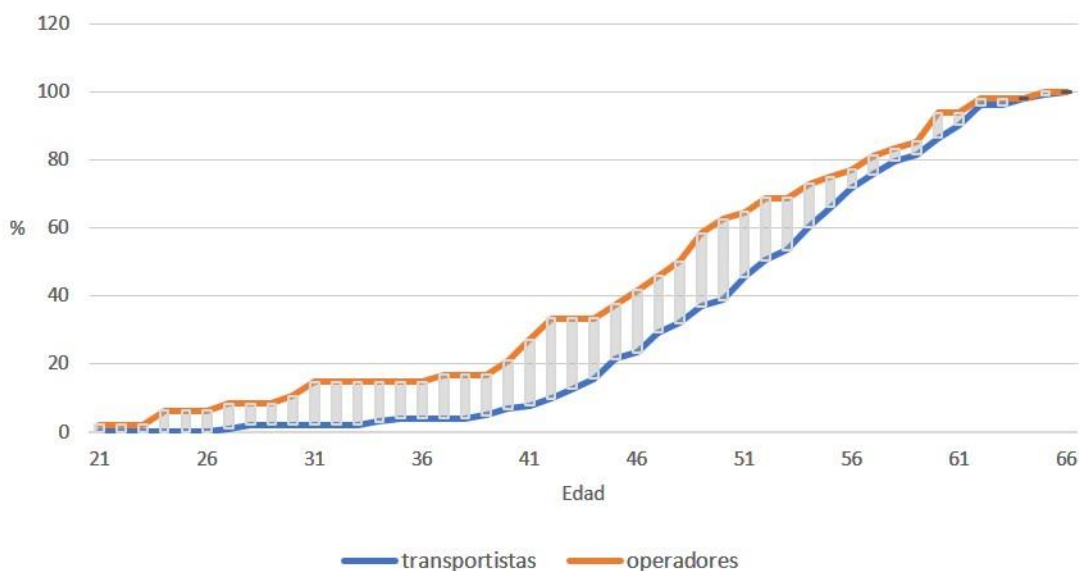


Figura 5.2. Distribución de operadores de tráfico y transportistas autónomos por edades.

En efecto, pese a la mayor presencia de jóvenes en funciones de operador de tráfico, ambas profesiones del sector muestran una estructura de edad en fase de franco envejecimiento (figura 5.3), con una presencia de jóvenes de hasta 35 años menor del 4% entre los transportistas y menor del 14,5% entre los operadores. Estos datos sugieren que uno de los problemas que amenazan con afectar al sector en el futuro podría ser el relevo generacional, tanto en las labores de operador de tráfico como al volante de vehículos de carga. La excesiva masculinización de ambas profesiones podría estar igualmente relacionada con este hecho, quizás por resultar estas poco atractivas o estimulantes entre las mujeres que se incorporan al mercado laboral.

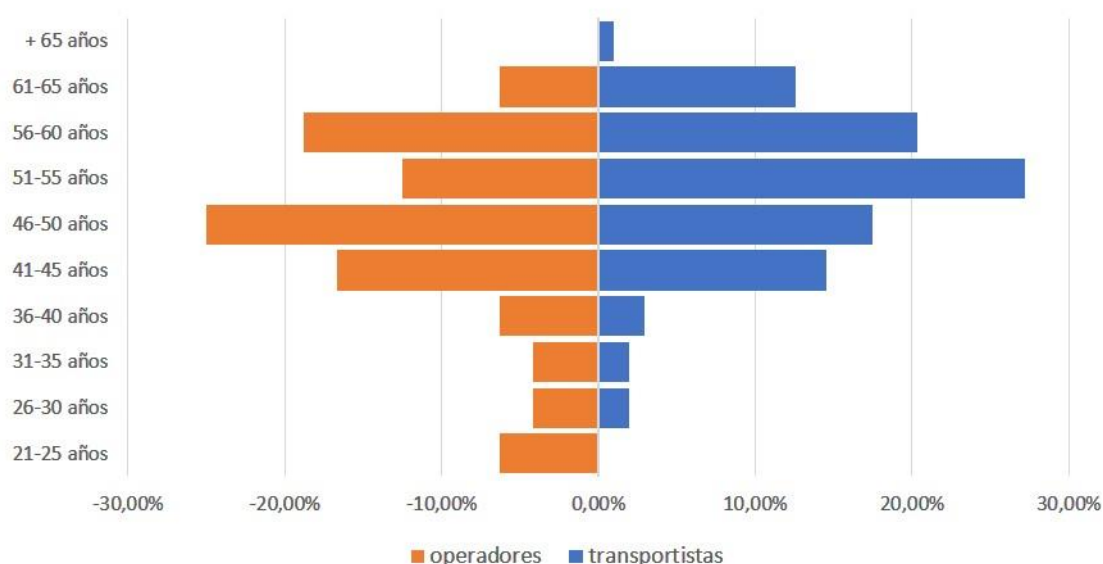


Figura 5.3. Pirámide comparativa de edad en los dos grupos.

Por último, la orientación de muchas empresas del sector de TMC hacia el transporte internacional ha motivado habitualmente la contratación de personal extranjero para ejercer como operador de tráfico. En este sentido, la **pregunta O.P7** revela que el 13% de los operadores de transporte procede del extranjero. Sin embargo, en el caso de los transportistas autónomos, la dominancia de nativos en el sector es abrumadora, siendo la presencia de extranjeros meramente testimonial (**pregunta T.P5**).

2.2. Formación académica y experiencia

En cuanto a la formación académica, la encuesta arroja resultados dispares para cada grupo laboral. En el caso de los transportistas, la formación académica es básica o profesional para casi 8 de cada 10 encuestados, mientras que en el caso de los operadores esta relación se rebaja a 4 de cada 10.

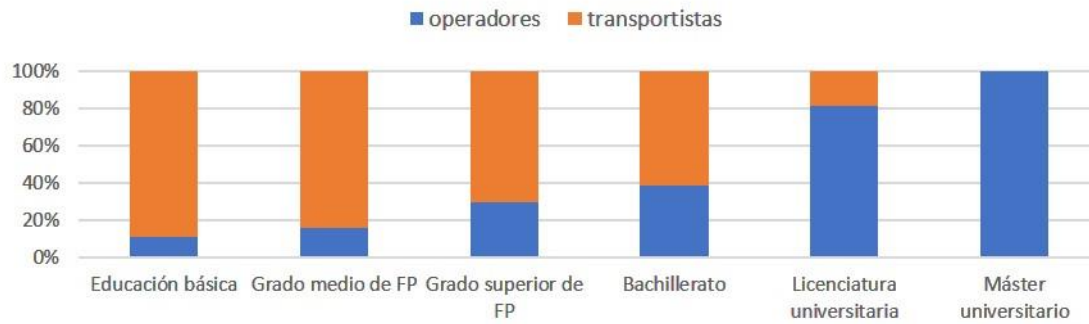


Figura 5.4. Distribución comparativa de la formación académica en los dos grupos.

Del mismo modo la formación universitaria muestra muy diferente comportamiento en los dos grupos. Así, uno de cada tres operadores de tráfico posee un título universitario mientras que este tipo de formación es muy residual entre los transportistas.

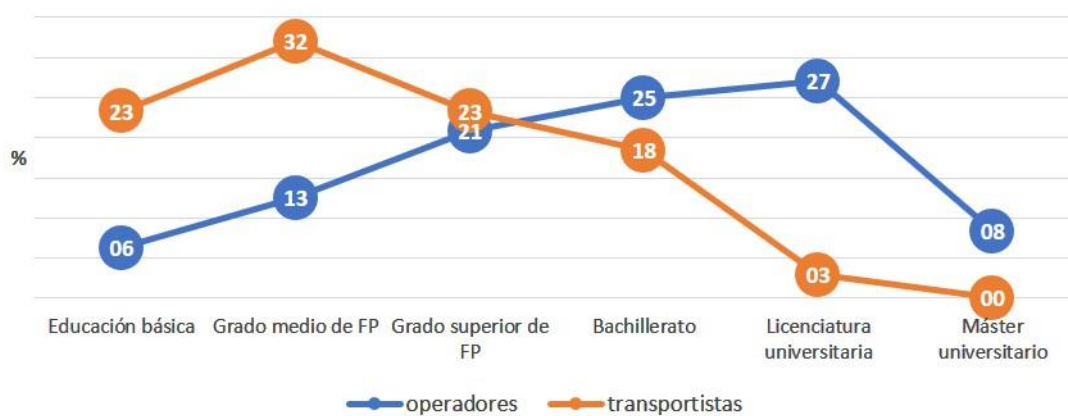


Figura 5.5. Distribución porcentual según la formación académica.

Los datos recogidos por la encuesta muestran, por otro lado, un sector muy experimentado profesionalmente. En el caso de los transportistas (**pregunta T.P8**) es muy evidente la correlación entre edad y años dedicados a la actividad del transporte, mostrando una media de 26,2 años de experiencia profesional en el sector. Igualmente, a pesar de que la experiencia de los operadores está más repartida entre todos los tramos guarda una alta correlación con la distribución de la edad (**pregunta O.P10**). La media de experiencia de los operadores es de 21,8 años en el sector.

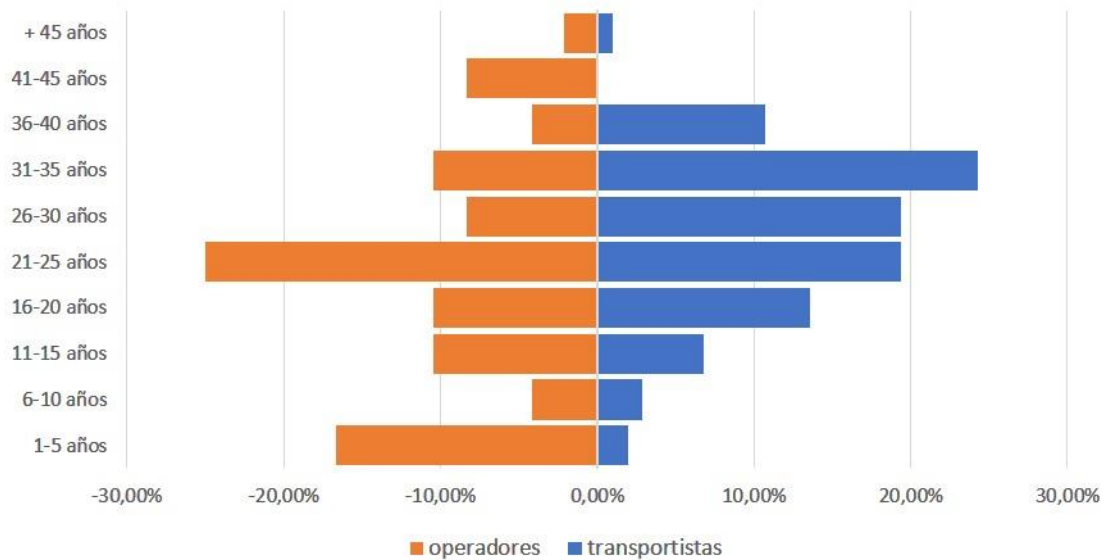


Figura 5.6. Pirámide comparativa de años de experiencia en el sector para los dos grupos.

Los datos muestran una base de empleados/as con una experiencia entre 1 y 5 años que alcanza el 16,7%, mientras que el promedio años de experiencia de los operadores entre 21 y 39 años es de 4,75 años. De tal modo, estos datos vendrían a indicar una incorporación tardía a las tareas de operador de tráfico.

Finalmente, otro dato de importancia lo proporciona la relación de permanencia en una misma empresa, que resulta de la división de los años de experiencia entre el número de empresas de transporte en las que el operador ha trabajado (**pregunta O.P11**). De acuerdo con los datos recogidos el promedio de permanencia es de 13,8 años.

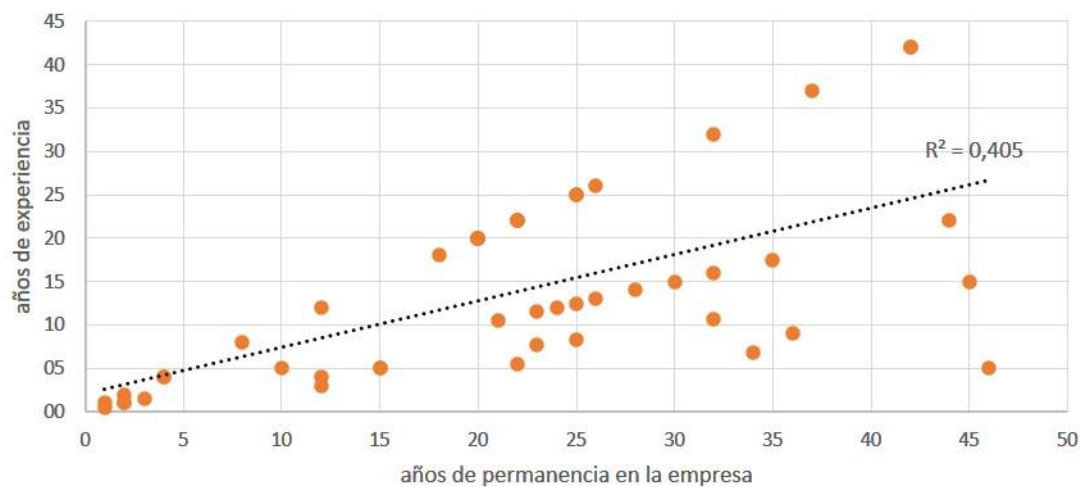


Figura 5.7. Correlación entre años de experiencia de los operadores y años de permanencia en una misma empresa.

Sin embargo, como puede verse en la línea de tendencia de la figura 5.7 la correlación entre ambas variables no es demasiado alta, debido a las grandes diferencias de hábitos de permanencia en el conjunto de operadores de tráfico.

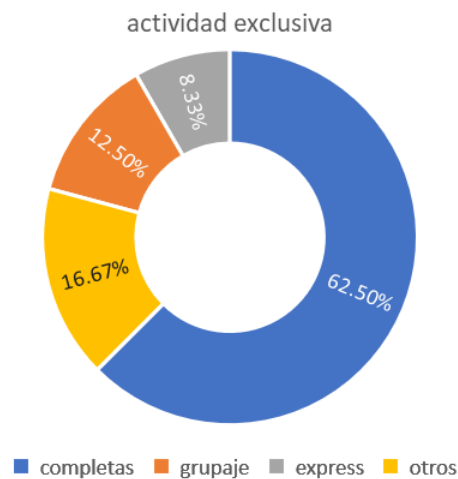
2.3. Especialización de la actividad

En este punto se revisan los datos relativos a la especialización de cada grupo atendiendo a aspectos tales como el volumen transportado, el ámbito de acción o el tipo de mercancía transportada.

2.3.1. Especialización de los operadores de tráfico

Cada empresa de TMC centra su actividad especializándose generalmente en un tipo concreto de transporte en función de las necesidades del mercado. De tal modo, tanto las actividades de los operadores de tráfico como las de los transportistas autónomos pueden ayudar a determinar cuál es el grado de especialización del transporte en Gipuzkoa.

En cuanto a los volúmenes transportados (**pregunta O.P2**), los tipos más comunes en el sector del transporte de mercancías por carretera son el transporte de cargas completas, seguido por el grupaje y el transporte express. Sin embargo, la encuesta revela que solo la mitad de los operadores desempeña exclusivamente su actividad en uno de ellos. En efecto, uno de cada dos simultanea dos o más tipos de transporte:



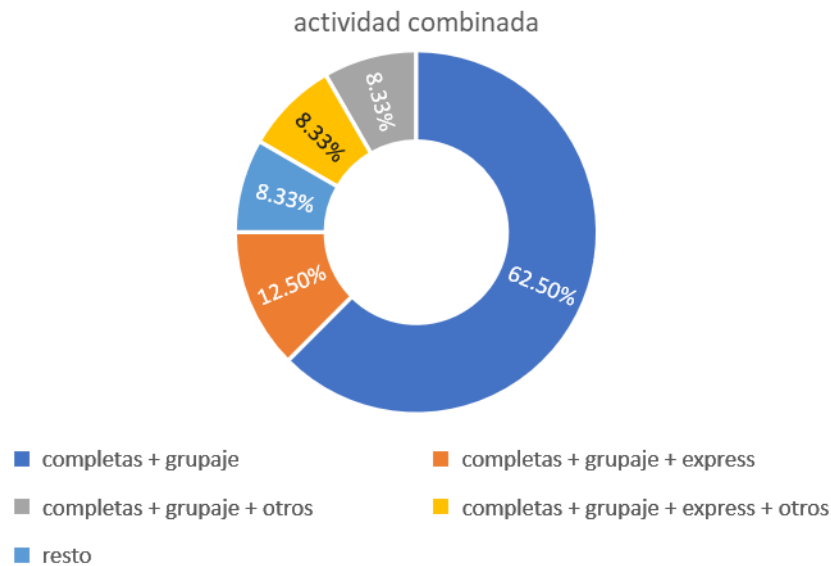


Figura 5.8. Especialización de los operadores en función del volumen transportado.

Algo similar ocurre en lo relativo al ámbito comercial de las operaciones de tráfico, donde diferenciamos entre exportación, importación y tráfico nacional (**pregunta O.P3**). Solo el 30% de los operadores afirma dedicarse en exclusiva a una de estas tres modalidades, otro 30% compagina dos de ellas, mientras que 4 de cada 10 se dedica a las tres en mayor o menor medida.

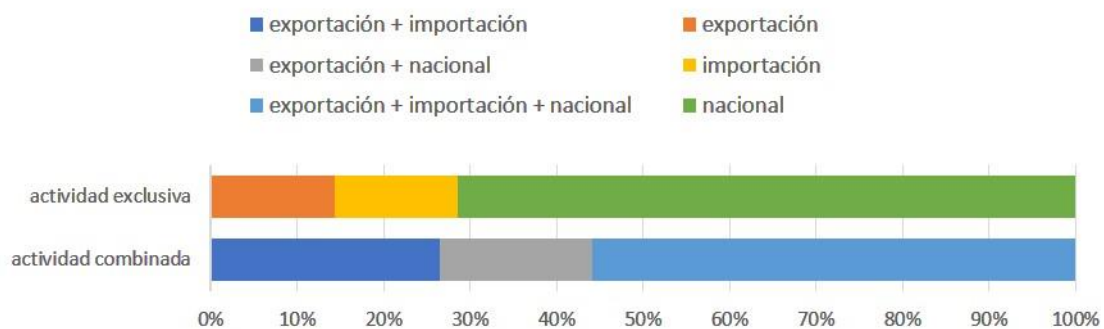


Figura 5.9. Especialización de los operadores en función del ámbito comercial del tráfico.

Además, en función del tipo de mercancías gestionadas se observan tasas similares de especialización (**pregunta O.P4**). La gestión de transporte de un solo tipo mercancías en exclusiva ocupa a un 55% de los operadores encuestados, entre las cuales las mercancías generales son las más frecuentes al ocupar en exclusiva a 8 de cada 10 operadores.



Figura 5.10. Vista en proporción de la especialización de los operadores en función del tipo de mercancía.

Por otro lado, el 45% de los encuestados trabaja habitualmente con dos o más tipos de mercancías, siendo las mercancías generales una de ellas en todos los casos. En el caso del transporte de mercancías peligrosas (ADR), el 15% de los operadores gestiona envíos con este tipo de productos además de otros, mientras que los productos a granel como los residuos metálicos suponen menos del 9%.

2.3.2. Especialización de los transportistas autónomos

Dejando a un margen los certificados de cualificación profesional y otros títulos como la capacitación de transporte o el ADR, los datos que pueden servir como indicadores de especialización en el caso de los transportistas autónomos tienen que ver, en primer lugar, con las funciones que desarrollan dentro de su propia empresa, y, en segundo lugar, con el tipo de vehículo con el cuentan para el transporte de mercancías.

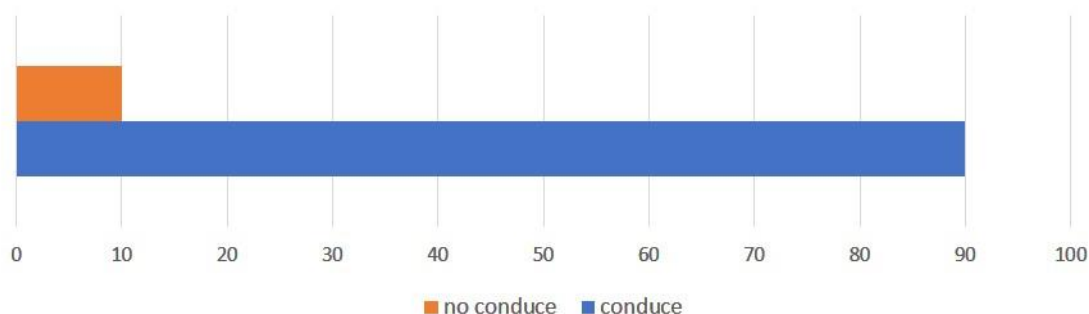


Figura 5.11. Transportistas autónomos en relación con las labores de conducción.

Respecto al primer indicador, es necesario señalar en primer lugar que uno de cada diez encuestados no realiza labores de conducción en su empresa (**pregunta T.P9**). Sus labores se concentran mayormente en el control de su flota y en la gestión administrativa. Por otro lado, de

entre quienes sí trabajan al volante de su vehículo, es decir, el 90% de los encuestados, 6 de cada 10 se dedican exclusivamente a la conducción, mientras que el resto compagina la conducción con otras labores secundarias.

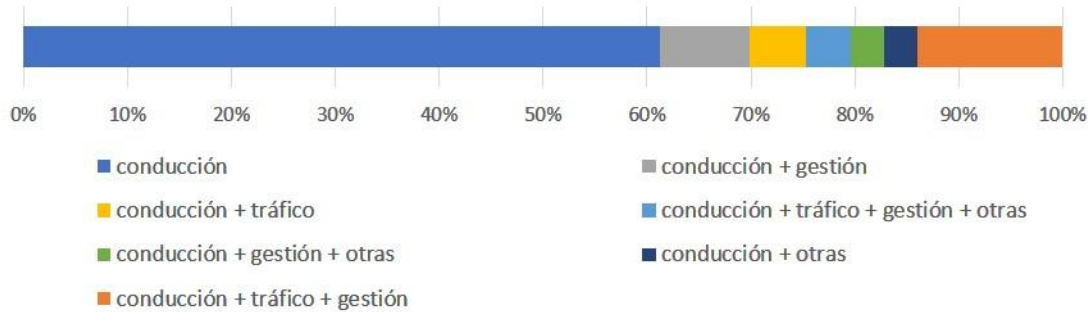


Figura 5.12. Transportistas autónomos en relación con las labores de conducción.

Estas labores secundarias se refieren al control de tráfico de sus propios vehículos, a la gestión administrativa o a otras actividades relacionadas con la administración empresarial. La dedicación a varias tareas dentro de la empresa puede llevar a una menor especialización en alguna de ellas o en varias, debido a la necesidad de invertir una determinada cantidad de tiempo a cada una de ellas en lugar de concentrar todo el potencial de trabajo en la tarea principal.

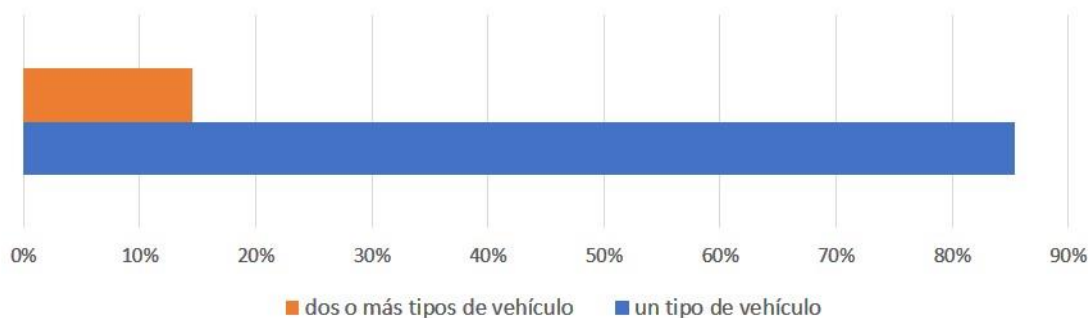


Figura 5.13. Especialización de los transportistas autónomos por tipo de vehículo.

El segundo indicador de especialización de los transportistas autónomos es el tipo o tipos de vehículo con los que estos realizan su trabajo. A este respecto hay que decir que solo el 17% posee más de un vehículo (**pregunta T.A3**), y que de estos solo un 44% decide ampliar su flota con un vehículo del mismo tipo del que ya poseen. Este hecho podría indicar un menor refuerzo al tipo de transporte que se venía realizando hasta ese momento. Sin embargo, la utilización de diferentes vehículos puede ser entendida al mismo tiempo como un indicador de flexibilidad y adaptación a las diferentes necesidades de los clientes.

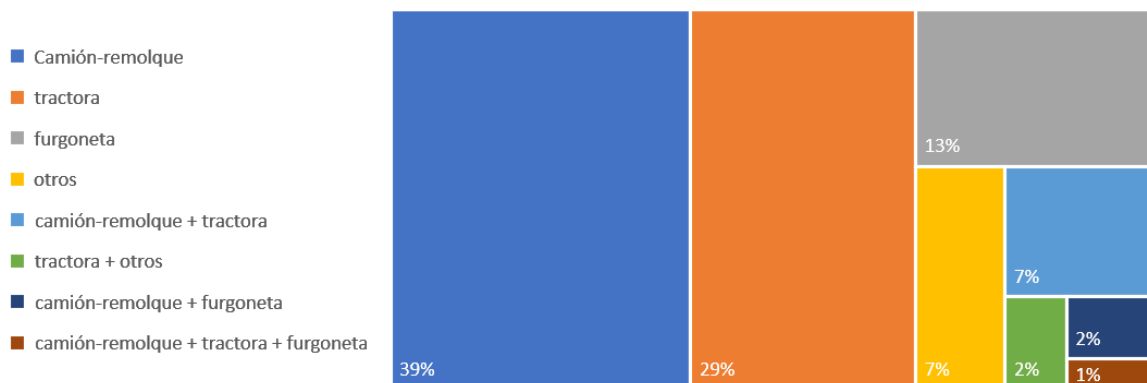


Figura 5.14. Vista en proporción de los tipos de vehículo y combinaciones de diferentes tipos.

Sea como fuere, los datos recogidos (**pregunta T.A4**) muestran un claro dominio del camión-remolque o camión rígido entre los transportistas autónomos encuestados, seguido de las cabezas tractoras y las furgonetas. Como puede verse en la figura 5.15, el camión-remolque representa casi 4 de cada 10 empresas con un solo vehículo en la zona de estudio, mientras que las cabezas tractoras son casi 3 de cada 10. Finalmente, las furgonetas se encuentran a bastante distancia de las dos primeras, con un 13%. El resto de vehículos y combinaciones entre ellos son mucho menos frecuentes que los tres primeros.

Respecto a los destinos más habituales (**pregunta T.B4**) la zona corta, es decir, Euskadi-Navarra-País Vascofrancés copa la actividad de 2 de cada 3 transportistas autónomos. A mucha distancia siguen los viajes a destinos dentro de la península (11,5%) y viajes al oeste de Europa (Francia, Alemania y Benelux), con un 7,2%.



Figura 5.15. Vista en proporción de los destinos más habituales de los transportistas autónomos.

El hecho de que dos terceras partes de los transportistas autónomos de Gipuzkoa desarrollen su actividad profesional en zonas de corto recorrido es muy significativo, dado que ello supone que

las empresas del sector dedicadas a la exportación-importación dependen de transportistas no locales para la realización de sus envíos.

3. Las cadenas de subcontratación

En este bloque se expondrán los datos referidos al modo en que se forman las cadenas de subcontratación, las cuales dan lugar a las cadenas de transporte. Entendemos por cadenas de subcontratación aquellas estructuras contractuales formadas por más de dos actores, en las que un actor presta un servicio a otro, quien a su vez presta un servicio a un tercero. En el sector de TMC este tipo de estructuras son frecuentes, donde el primer eslabón siempre es el cargador y el último siempre el conductor del vehículo. Entre estos dos actores necesarios pueden encontrarse varios intermediarios de diferente índole y rango. Además, estas cadenas presentan un fuerte grado de jerarquización, al reducirse el ámbito de decisión de un eslabón al siguiente en lo que a la operación de transporte se refiere.

3.1. Categorías de los actores

Los transportistas autónomos pueden ser categorizados en relación con su régimen de trabajo (**Pregunta T.A1**). En este sentido, la mayor parte de ellos, un 60%, se dedica en exclusiva a servir a un solo cliente, mientras que 1 de cada 4 afirma trabajar prioritariamente para uno solo, aunque ocasionalmente también trabaja para otros. Solo en el 16% de los casos el trabajo para un solo cliente es inferior al 50% de los viajes.

De tal modo, podemos dividir a los transportistas entre “transportistas habituales”, es decir, aquellos que trabajan entre el 50% y el 100% para un solo cliente, y “transportistas no habituales”, esto es, aquellos que trabajan menos del 50% con un solo cliente.



Figura 5.16. Dedicación de los transportistas autónomos a un solo cliente.

Por lo que respecta a los operadores de tráfico, su categorización depende del tipo de actividad que desempeña la empresa para la que trabajan. Así, la **agencia de transporte** es una empresa intermediaria entre cargadores y transportistas que carece de flota propia; el **almacenista-**

distribuidor administra, manipula, custodia y acondiciona mercancías ajenas y las distribuye con medios propios o externos; la **empresa de transporte** posee flota propia para realizar servicios de transporte, aunque igualmente puede ejercer como agencia de transporte; y, finalmente, el **transitario** realiza trámites aduaneros, depósito de mercancías, consolidación de cargas y funciones de agencia de transporte y, al igual que esta, carece de flota propia.

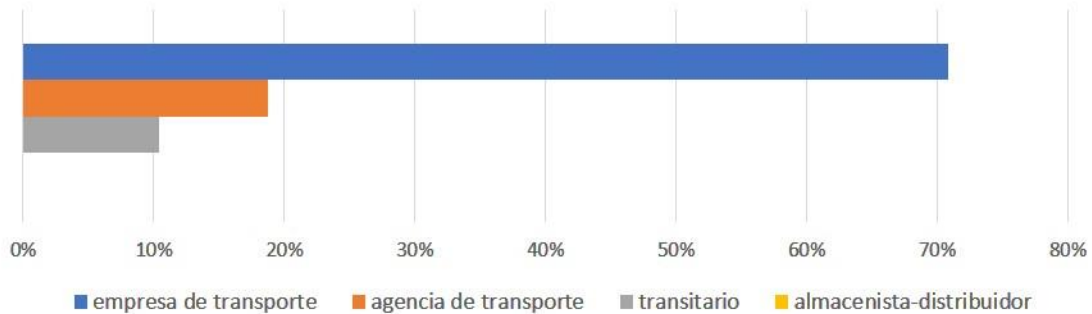


Figura 5.17. Distribución de operadores según la actividad de su empresa.

En lo referente a los resultados arrojados por la encuesta (**pregunta O.A1**), una gran mayoría de operadores, 7 de cada 10, declara formar parte de empresas de transporte, 2 de cada 10 trabajan en agencias de transporte y solo uno de cada 10 lo hace en un transitario. Ningún encuestado afirmó trabajar para un almacenista-distribuidor.

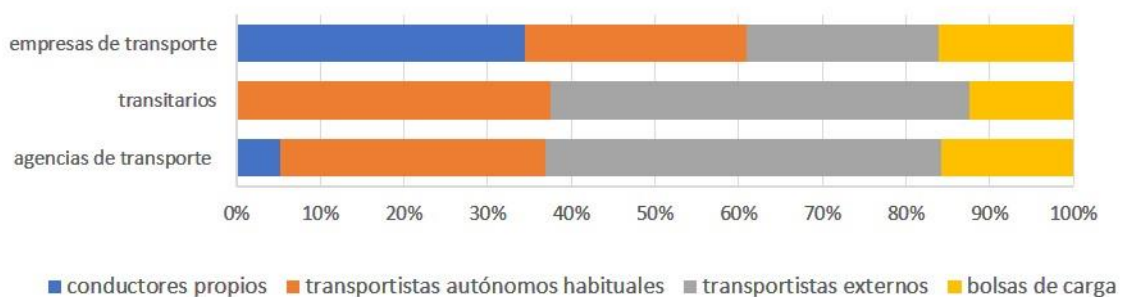


Figura 5.18. Recurso por parte de los operadores de tráfico a diferentes proveedores de transporte.

Finalmente, los operadores indicaron con qué tipo de transportistas trabajan habitualmente (**pregunta O.B1**). En este caso, la categoría “*transportistas externos*” está formado tanto por transportistas autónomos no habituales como por empresas y agencias de transporte. Al observar la figura 5.18 llama la atención la tendencia a la proporcionalidad entre las cuatro categorías en la columna de las empresas de transporte.

3.2. Asignación de cargas

En este apartado se estudia la procedencia y la asignación de las cargas dependiendo del tipo de agente. Se pretende averiguar, en primer lugar, qué agentes toman parte en las cadenas de subcontratación en el transporte de mercancías por carretera.

En la pregunta **A.2**, tanto en el cuestionario de los operadores de tráfico como en el de los transportistas autónomos, se pedía a los encuestados que señalaran la procedencia de 10 cargas en una semana normal según el tipo de cliente que se las asignaba. Además, en la pregunta **A.3** del cuestionario de los operadores era el propio operador como cliente quien debía distribuir 10 cargas entre diferentes tipos de proveedor de servicio de transporte. Para considerarse una respuesta válida el total acumulado en cada pregunta debía sumar 10. Sin embargo, se registraron numerosos errores en las tres preguntas mencionadas por lo que fue necesario normalizar las respuestas erróneas, a pesar de lo cual existe cierta discrepancia entre las series que utilizan únicamente los valores correctos y las series que incluyen todos los valores, como puede verse en las figuras 5.19, 5.20 y 5.21. El porcentaje de respuestas erróneas fue ligeramente menor en el caso de los transportistas: 33% y 38% en las dos preguntas dirigidas a los operadores y 31% en la dirigida a los transportistas autónomos.



Figura 5.19. Cargas recibidas por los operadores según el tipo de cliente que las asigna: Comparativa entre respuestas válidas y respuestas erróneas normalizadas.

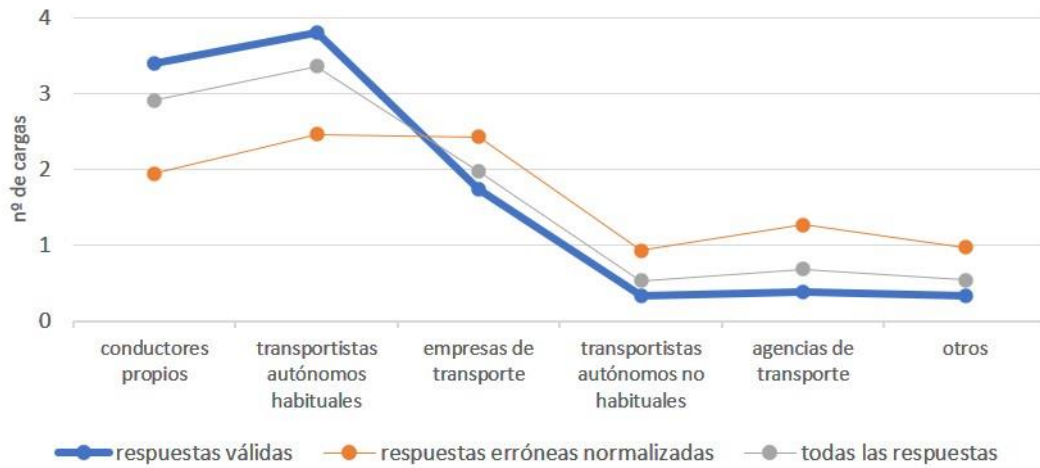


Figura 5.20. Cargas asignadas por los operadores según el tipo de proveedor que las recibe: Comparativa entre respuestas válidas y respuestas erróneas normalizadas.

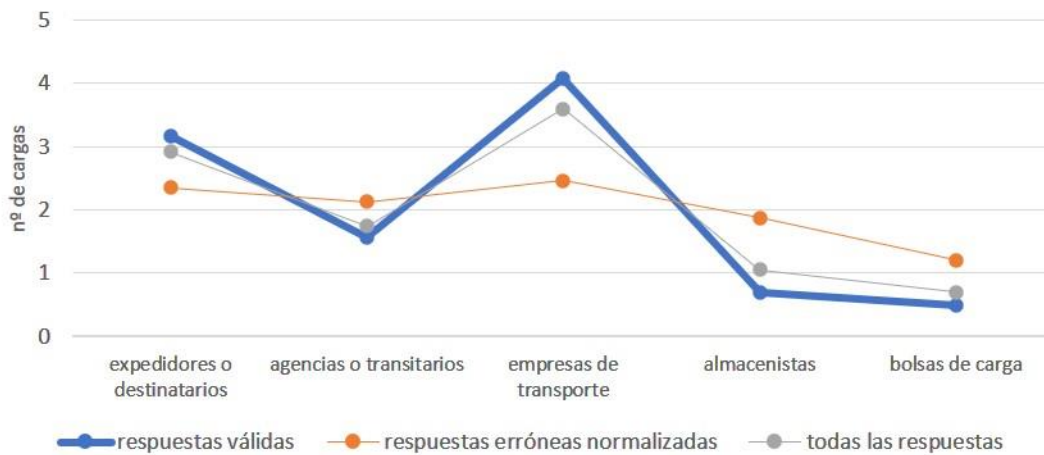


Figura 5.21. Cargas recibidas por los transportistas autónomos según el tipo de cliente que las asigna: Comparativa entre respuestas válidas y respuestas erróneas normalizadas.

En los tres casos se observa que la varianza entre las series de “respuestas válidas” y las series de “todas las respuestas” es muy pequeña, por lo que se optó por buscar un valor intermedio entre ambas series para establecerlo como referencia. En la tabla 5.1 puede observarse la distribución estimada de 10 cargas en función del tipo de agente. Por ejemplo, tras una primera lectura resulta significativa la dependencia de los clientes directos (expedidores y destinatarios) que tienen los operadores en su aprovisionamiento de cargas, entre 63 y el 75%. El resto de la cartera de cargas se reparte uniformemente entre diferentes agentes.

Tabla 5.1. Distribución estimada de 10 cargas recibidas por los operadores de tráfico.

TIPOS DE EMPRESA→	agencias de transporte	empresas de transporte	transitarios
RECIBEN CARGA DE ↓			
<i>expedidores</i>	6,52	5,01	6,31
<i>destinatarios</i>	0,44	1,36	1,26
<i>agencias de transporte</i>	0,45	1,49	0,7
<i>empresas de transporte</i>	0,55	0,97	0,65
<i>transitarios</i>	0,84	0,69	0,55
<i>almacenistas</i>	1,2	0,48	0,53
TOTAL	10	10	10

En la tabla 5.2 son los operadores los que asignan cargas a los diferentes agentes. Hay que apuntar que la categoría “otros” que figuraba en el cuestionario se ha sumado a la de “transportistas no habituales” para hacer más comprensibles los resultados. Lo más llamativo en este caso es el alto porcentaje de viajes subcontratados por los operadores de las empresas de transporte, hasta un 60%, ya que estas, a diferencia de agencias y transitarios, poseen flota propia. Además, destaca la alta asignación de viajes a empresas de transporte por parte de agencias (31%) y transitarios (43%).

Tabla 5.2. Distribución estimada de 10 cargas asignadas por los operadores de tráfico.

TIPOS DE EMPRESA→	agencias de transporte	empresas de transporte	transitarios
DAN CARGA A ↓			
<i>conductores propios</i>	0,16	4	0,19
<i>transportistas autónomos habituales</i>	5,01	2,96	2,2
<i>empresas de transporte</i>	3,08	1,42	4,29
<i>transportistas autónomos no habituales</i>	0,98	1,02	1,9
<i>agencias de transporte</i>	0,77	0,6	1,42
TOTAL	10	10	10

Por último, la tabla 5.3 resume las cargas recibidas por los transportistas autónomos. Se consideran transportistas habituales aquellos que tienen dedicación total a un cliente o los que realizan más del 50% de su actividad con un solo cliente, y los no habituales quienes trabajan menos del 50% con un solo cliente y transportistas en otros regímenes (consultar figura 5.16). Los resultados indican una dependencia de las empresas intermediarias de transporte del 70% y

del 60% respectivamente, lo cual refuerza la idea de un sistema de TMC muy densificado e interdependiente localmente.

Tabla 5.3. Distribución estimada de 10 cargas recibidas por los transportistas autónomos.

TIPOS DE TRANSPORTISTA→ RECIBEN CARGA DE ↓	Transportistas autónomos habituales	transportistas autónomos no habituales
<i>expedidores / destinatarios</i>	2,87	4,01
<i>agencias / transitarios</i>	1,78	0,76
<i>empresas de transporte</i>	3,94	2,69
<i>almacenistas</i>	0,85	1,36
<i>bolsas de carga</i>	0,56	1,18
TOTAL	10	10

En la figura 1 se representan las interacciones entre los diferentes actores que intervienen en las cadenas de subcontratación, siendo el nexo (flechas) entre ellas la asignación de cargas. Los agentes con colores más oscuros son aquellos que tienen mayor grado de salida, es decir, quienes reparten cargas a mayor número de agentes. Por otro lado, a mayor tamaño mayor cantidad de cargas recibidas, es decir, los nodos más grandes son los que más reciben y los pequeños no reciben ninguna. Por último, el grosor de las flechas es proporcional al número de cargas que un agente asigna a otro. Obsérvese que algunos agentes tienen flechas dirigidas a sí mismos, ya que existe la posibilidad de asignación de cargas dentro de agentes de la misma categoría.

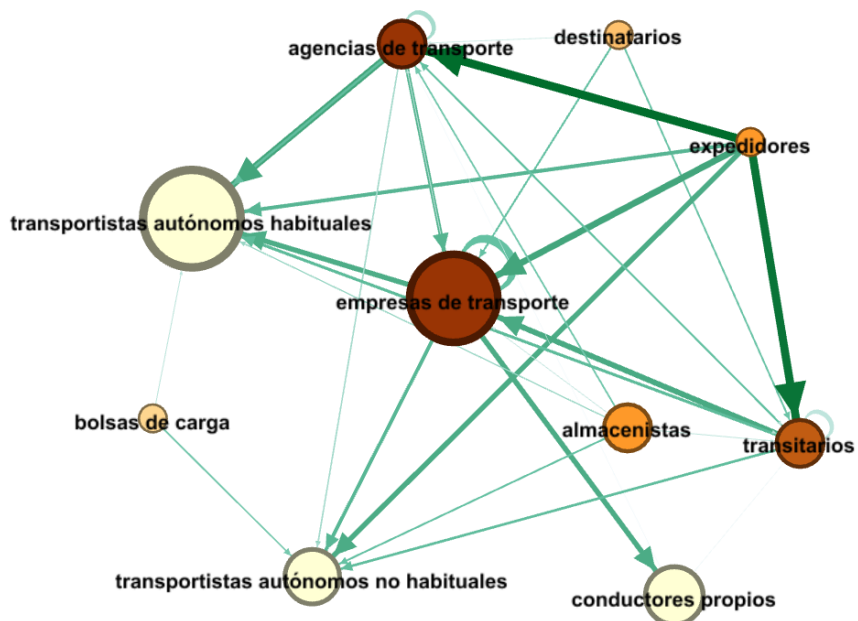


Figura 5.22. Grafo que representa el peso de cada agente en el conjunto del sistema de TMC.

De esta representación se extrae que las empresas de transporte ocupan tanto un alto rango tanto de entrada como de salida de cargas, lo cual es indicativo de su importancia dentro del conjunto. Asimismo, hay que señalar que los expedidores son quienes inyectan al sistema mayor número de cargas, y además lo hacen a través de varios proveedores de transporte. Por último, la culminación de las operaciones de transporte tiene como principales protagonistas a los transportistas autónomos, y dentro de estos a aquellos que trabajan habitualmente con un solo cliente. A este respecto, según los datos de la encuesta los operadores de las empresas de transporte (**pregunta O.A4**), a pesar de tener flota propia, recurren a transportistas autónomos en un 40% de los envíos. Como principales argumentos ante este hecho los encuestados con flota propia valoraron entre 1 (= nunca) y 5 (= siempre) cinco posibles razones, resultando la más puntuada la falta de conductores propios disponibles en ese momento (2,68), seguida por la existencia de compromisos de carga con transportistas autónomos (2,33).

En este sentido, un factor que puede justificar dicho compromiso de carga con los transportistas autónomos es que estos exploten un semirremolque del cliente para el que trabajan. Sin embargo, los datos de la encuesta (**pregunta T.A5**) muestran que solo una de cada 5 cabezas tractoras de transportistas autónomos trabaja al enganche, es decir, con semirremolque ajeno.

3.3. Cadenas de subcontratación

En el último apartado de este bloque se estudian las cadenas de subcontratación, es decir, las estructuras organizativas en operaciones de TMC. Su enorme diversidad es una muestra de la complejidad de estos sistemas. Aquí los encuestados debían valorar la frecuencia de hasta quince tipos de cadenas de subcontratación diferenciadas a partir de dos cuestiones:

- 1) ¿Qué agentes toman parte en ellas?
- 2) ¿Se comunican entre sí esos agentes?

Analizaremos los resultados de operadores y transportistas por separado, ya que se trata de estructuras distintas al variar su posición en la cadena.

3.3.1. Cadenas de subcontratación desde la perspectiva de los operadores de tráfico

Los tipos de estructuras sobre los que los operadores tuvieron que pronunciarse están distribuidos en cinco grupos. Cada grupo tiene tres variantes, figurando en todas ellas el mismo número de actores. La diferencia se encuentra en la transmisión de comunicaciones entre los diferentes participantes, simbolizadas mediante flechas bidireccionales. En todos los modelos figuran siempre los actores necesarios, es decir, el cliente, el expedidor y el transportista (conductor). Además, la empresa de los operadores encuestados figura bajo el rótulo “mi empresa”. El resto de actores son intermediarios.

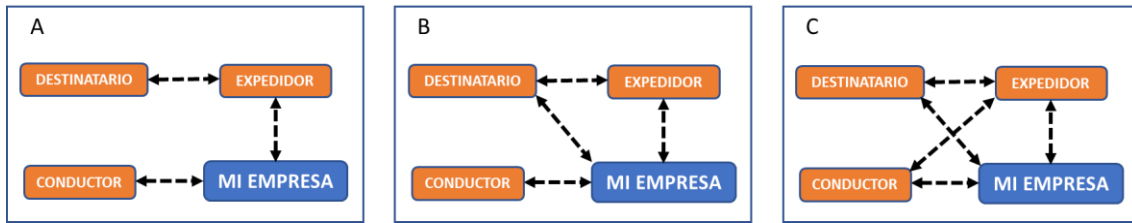


Figura 5.23. Operaciones en las que mi cliente es el cliente directo y mi proveedor es el propio conductor.

(Pregunta O.A5). Este es el tipo de estructura más sencilla en la que participan los dos actores incluidos en esta encuesta: los operadores de tráfico y los transportistas autónomos. En el modelo organizativo **A** la transmisión de la información es de uno a uno, mientras que la **C** la comunicación es compartida entre todos los participantes en la operación. El modelo **B** es intermedio.

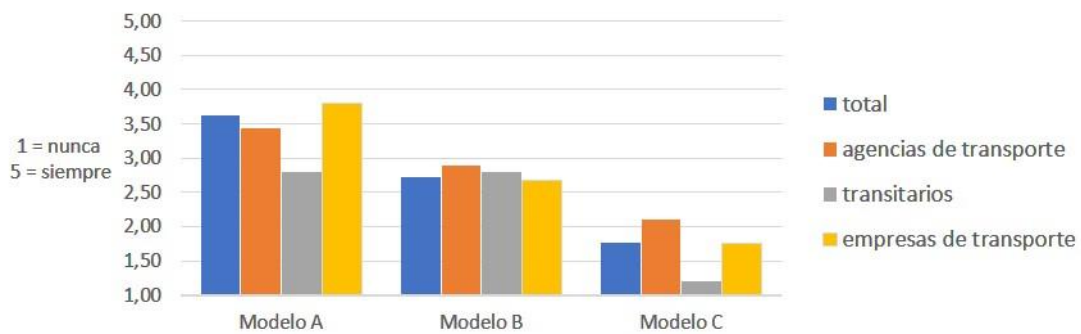


Figura 5.24. Frecuencia de operaciones en modelos organizativos A, B y C por tipo de operador.

Los resultados muestran una preferencia general de los operadores por la estructura de comunicación A, en especial los de las empresas de transporte. Por el contrario, los operadores de agencias de transporte mantienen preferentemente comunicación con todos los actores participantes en la operación (modelo B). Finalmente, la posibilidad de intercambio directo de información entre el transportista y el resto de actores es muy infrecuente en todos los tipo de empresa.

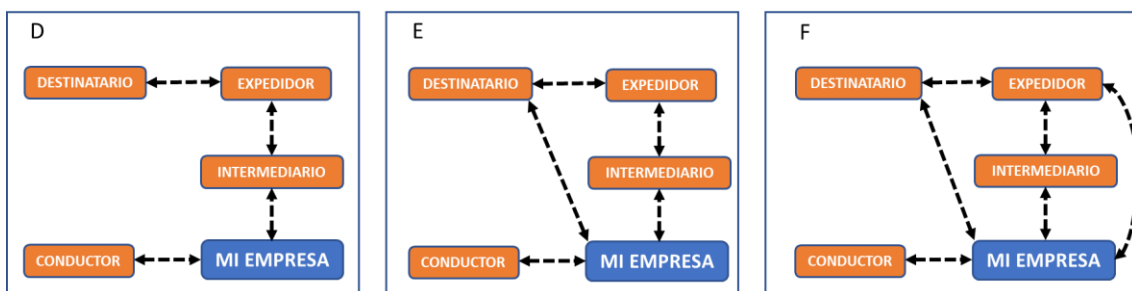


Figura 5.25. Operaciones en las que mi cliente es un intermediario y mi proveedor es el propio conductor (sea de mi empresa o autónomo).

(Pregunta O.A6). En este conjunto de estructuras (D, E y F) ha sido introducido un segundo intermediario entre el expedidor y el conductor. El alargamiento de la cadena de subcontratación puede dar lugar a una pérdida de control del desarrollo de la operación de transporte por parte del primero de ellos, al no tener comunicación directa con el realizador material del transporte. La variante entre los tres modelos es la existencia o no de comunicación entre la empresa del encuestado y el expedidor y destinatario del envío.

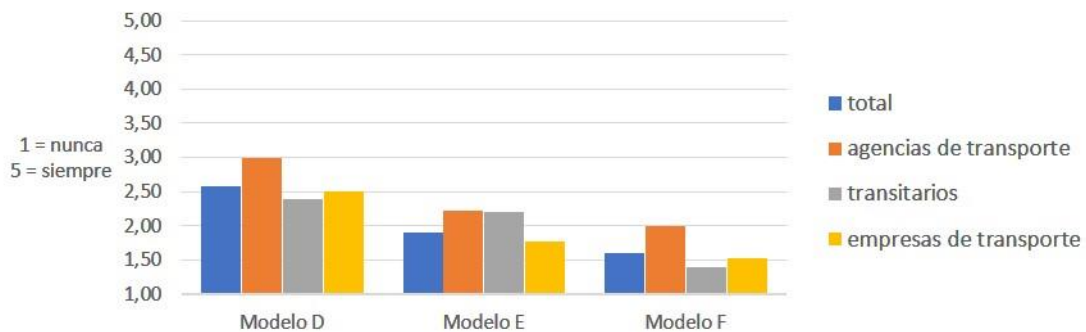


Figura 5.26. Frecuencia de operaciones en modelos organizativos D, E y F por tipo de operador.

La existencia de un intermediario existente entre el cliente directo y el conductor es más habitual para los operadores de agencias de transporte que para el resto de operadores, incluso en el modelo F. Sin embargo, este tipo de cadena de subcontratación puede resultar poco interesante para los segundos intermediarios debido al principio de reducción del ámbito de decisión según se avanza en la cadena.

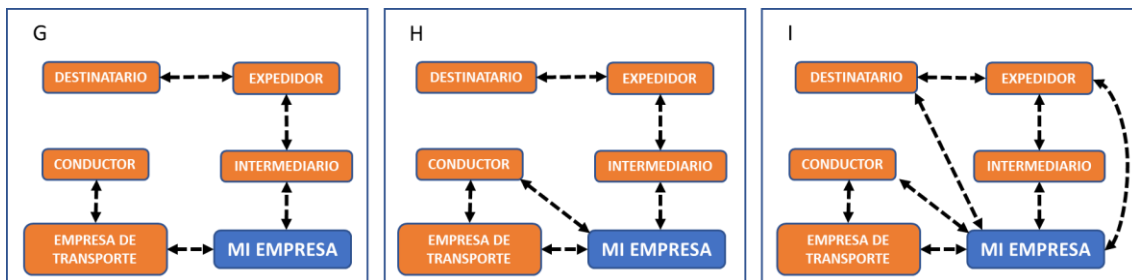


Figura 5.27. Operaciones en las que mi cliente es un intermediario y mi proveedor no es el conductor, sino una empresa de transporte.

(Pregunta O.A7). Este grupo de estructuras (G, H e I) recoge los modelos con la máxima longitud de cadena. En ellas participan hasta seis actores, tres de los cuales son puramente intermediarios. La empresa del operador encuestado se encuentra entre los otros dos intermediarios y en cada modelo, como en los anteriores, se produce un diferente grado de comunicación con el resto de actores participantes. La capacidad de acción del operador encuestado será mayor cuantas más posibilidades de comunicación tenga con el resto, sobre todo con el transportista y el destinatario. Sin embargo, ninguno de esos contactos son contactos directos suyos, sino de su proveedor y su cliente respectivamente.

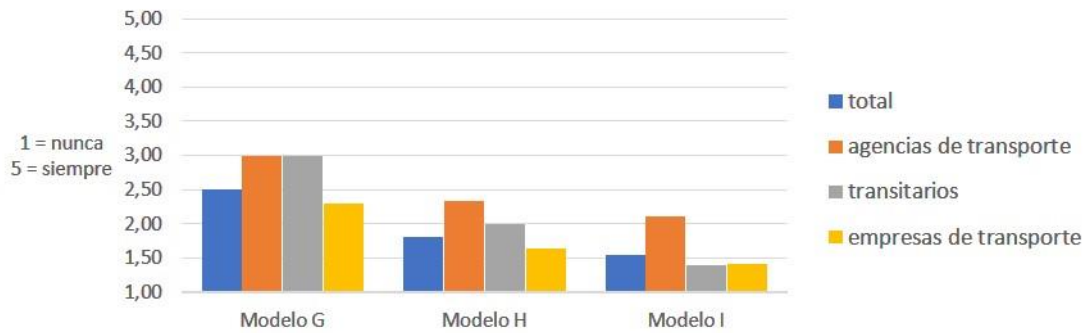


Figura 5.28. Frecuencia de operaciones en modelos organizativos G, H y I por tipo de operador.

Nuevamente son los operadores de las agencias de transporte los que más frecuentemente participan en cadenas con fuerte subcontratación. Es algo lógico pensar que su modalidad empresarial les obliga a subcontratar empresas de transporte, pero sin embargo también son subcontratadas a su vez por otros agentes que trabajan para clientes directos. Por otro lado, el hecho de que en el modelo I la diferencia entre agencias de transporte y el resto de empresas sea tan abultada es indicador, como en el modelo F, de la mayor necesidad de las primeras por llevar el control total de la operación.

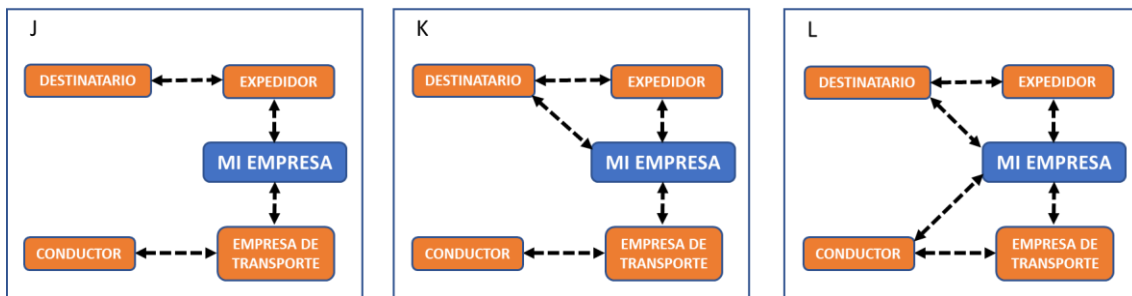


Figura 5.29. Operaciones en las que mi cliente es el expedidor y mi proveedor es una empresa de transporte.

(Pregunta O.A8). Estos tres modelos organizativos (J, K y L) son una variante de los modelos D, E y F. La diferencia estriba en la posición que ocupa en la cadena la empresa del operador encuestado: En estas estructuras la empresa encuestada es proveedora del cliente directo y subcontrata a una empresa de transporte, la cual a su vez subcontrata a un transportista. Como en los anteriores grupos los tres modelos se diferencian por el nivel de comunicación existente entre los actores participantes.

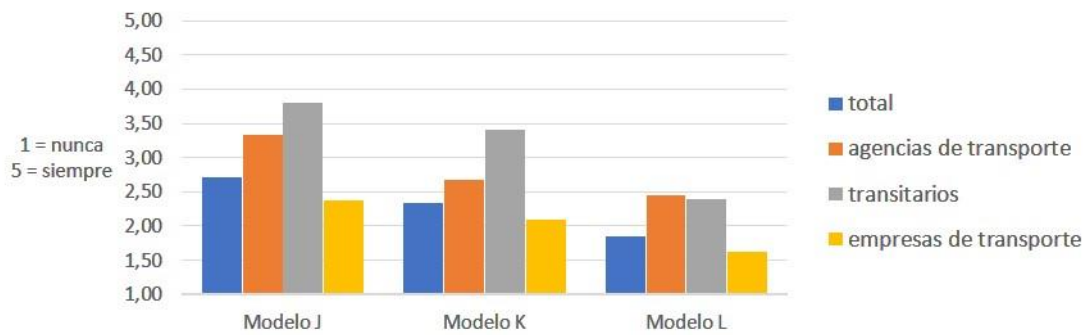


Figura 5.30. Frecuencia de operaciones en modelos organizativos J, K y L por tipo de operador.

En esta ocasión son los operadores de las empresas transitarias los que muestran mayor afinidad con este tipo de modelos en los que la capacidad de decisión es mayor, ya que se encuentran en el nivel superior de la cadena. De tal modo, estas empresas pueden llevar a cabo un mayor control de la operación de transporte, haciéndolo efectivo a través de la supervisión de la actividad de los diferentes actores. Es por ello por lo que los modelos K y L parecen ser más representativos para operadores de empresas transitarias y agencias de transporte que los modelos H e I, donde ocupaban un rango inferior en la cadena.

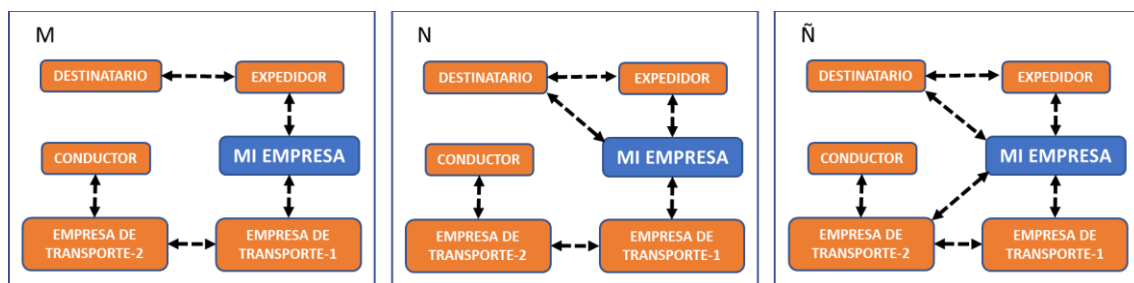


Figura 5.31. Operaciones en las que mi cliente es el expedidor y mi proveedor es una empresa de transporte intermediaria.

(Pregunta O.A9). En este último grupo de modelos de estructuras organizativas de cadenas de subcontratación (M, N y Ñ) podemos ver una versión de los modelos G, H e I, con la diferencia en la posición de la empresa del operador encuestado, que en esta ocasión se sitúa como proveedor del cliente directo, sea este el expedidor o el destinatario. Nuevamente se trata de los modelos con mayor número de agentes implicados, lo que implica una transmisión de la información (instrucciones, imprevistos, confirmaciones de carga y descarga, etc...) más complicada e irregular que en estructuras menos concurridas. En este tipo de cadenas, por tanto, el control de la operación es aún más complicado que en la versión mencionada anteriormente, ya que la empresa del encuestado cuenta con dos intermediarios entre ella y el realizador efectivo del transporte.

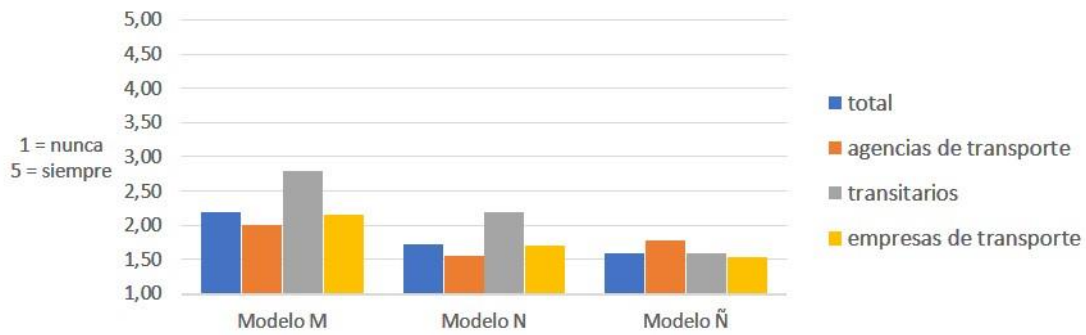


Figura 5.32. Frecuencia de operaciones en modelos organizativos M, N y Ñ por tipo de operador.

Al igual que el grupo de modelos anterior, son los operadores de las empresas transitarias los que se identifican más con estas estructuras, si bien es necesario decir que son menos frecuentes que aquellas. El máximo control de la operación representado en el modelo Ñ, en cambio, es muy infrecuente, lo que revela la poca operatividad de este tipo de estructuras, en las que la transmisión de información trascendental para el desarrollo de la operación debe pasar por diferentes actores con capacidad de acción reducida.

3.3.2. Cadenas de subcontratación desde la perspectiva de los transportistas autónomos

Al igual que en el caso de los operadores de tráfico, en las estructuras vistas desde la perspectiva de los transportistas autónomos existen actores necesarios, entre los que se encuentra el propio transportista, expresado con el rótulo “yo”. Los modelos están ordenados en cuatro grupos de tres modelos cada uno, que se diferencian entre sí por las diferentes relaciones de comunicación entre los agentes. Dicha comunicación, como en los modelos de los operadores, se simboliza mediante flechas bidireccionales, y hace referencia a la transmisión de datos relativos a la operación de transporte.

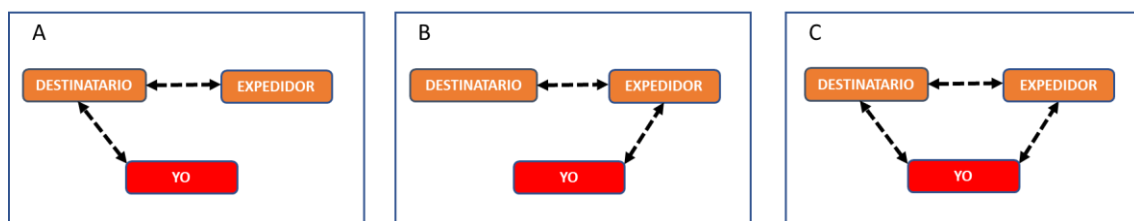


Figura 5.33. Operaciones en las que mi cliente es el cliente directo (expedidor o destinatario).

(Pregunta T.A6). En este tipo de modelos (A, B y C) no hay intermediarios entre el transportista y el cliente directo, es decir, el transportista trabaja o bien para el expedidor o bien para el destinatario. Es la estructura organizativa más básica en la que interviene un servicio de transporte público. En el modelo A el transportista se comunica únicamente con el destinatario, en el B lo hace solo con el expedidor y el C se forma un triángulo de información entre los tres agentes.

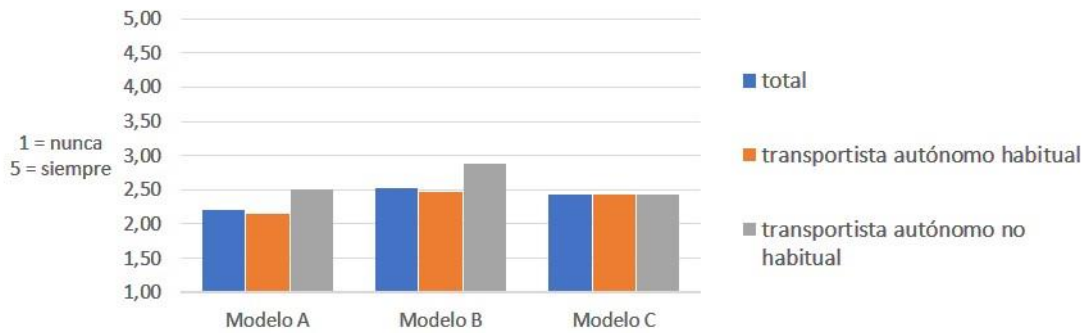


Figura 5.34. Frecuencia de operaciones en modelos organizativos A, B y C por tipo de transportista.

Las respuestas de los encuestados muestran una inclinación de los transportistas no habituales, es decir, aquellos que trabajan menos del 50% para un solo cliente, a hacerlo con clientes directos más frecuentemente que los transportistas habituales. De los tres modelos la relación entre expedidor y transportista parece ser la más usual. Estos modelos de relación entre transportistas autónomos y fabricantes obedecen a una lógica tradicional de subcontratación directa cada vez menos presente en el sector, la cual ha ido siendo sustituida en las últimas décadas por sistemas organizativos basados en la cesión de la gestión logística a intermediarios de transporte.

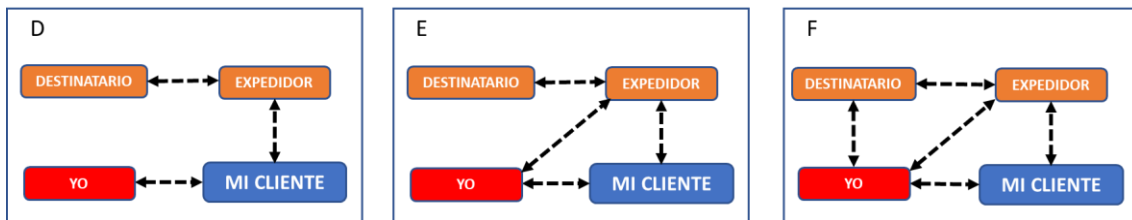


Figura 5.35. Operaciones en las que mi cliente es un intermediario entre el cliente directo y yo mismo.

(Pregunta T.A7). El siguiente grupo de modelos (D, E y F) incluye un intermediario entre el cliente directo y el transportista autónomo. De acuerdo con el modelo D el transportista solo se comunica con el intermediario, mientras que en el modelo E existe un triángulo de información entre tres actores y en el modelo F los cuatro actores participantes en la operación de transporte están comunicados entre sí.

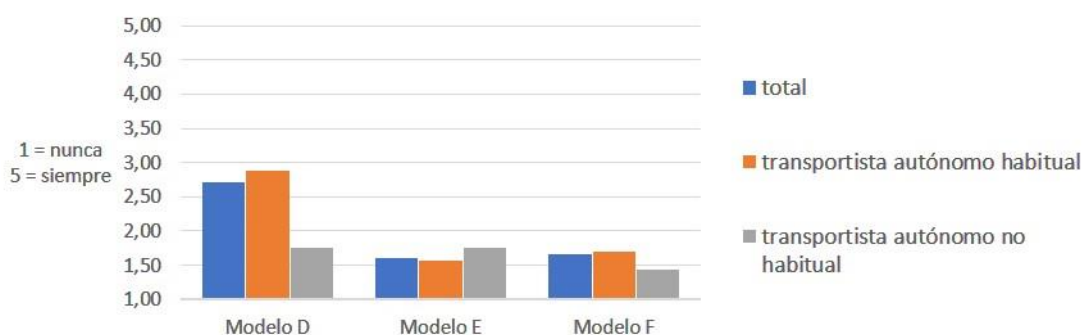


Figura 5.36. Frecuencia de operaciones en modelos organizativos D, E y F por tipo de transportista.

Esta estructura de subcontratación formada por cuatro agentes es la más habitual entre los transportistas autónomos que se dedican mayoritariamente a un solo cliente. Sin embargo, el modelo organizativo más sencillo, en el que las comunicaciones se establecen de modo jerárquico y no compartido (modelo D) es con diferencia el más frecuente. Esta estructura de transmisión de la información es equivalente al modelo A valorado por los operadores de tráfico, que igualmente fue considerado por estos como el más presente en su día a día.

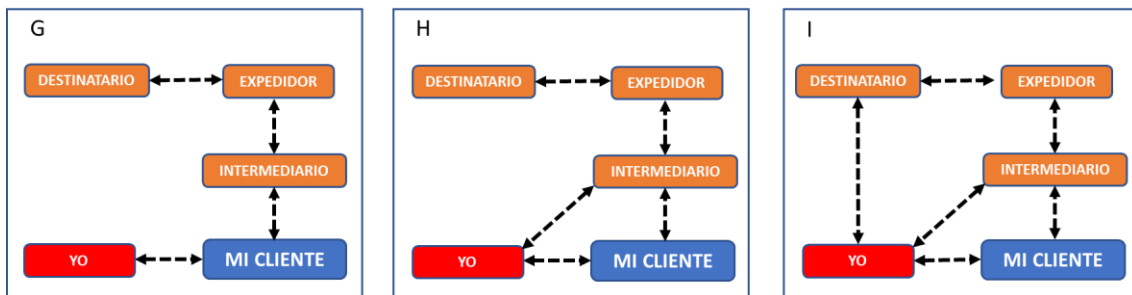


Figura 5.37. Operaciones en las que hay un intermediario entre mi cliente y el cliente directo.

(Pregunta T.A8). La participación de un nuevo intermediario es el aspecto novedoso en estos modelos (G, H e I), en los que la cadena subcontratación se alarga en detrimento de la capacidad de acción y beneficio del transportista autónomo. En el modelo G la comunicación es exclusivamente jerárquica, esto es, se interactúa únicamente con el cliente. En el modelo H la comunicación es a tres y en el modelo I la comunicación incluye al destinatario, a quien se reporta directamente sobre horario previsto de llegada o cuestiones análogas.

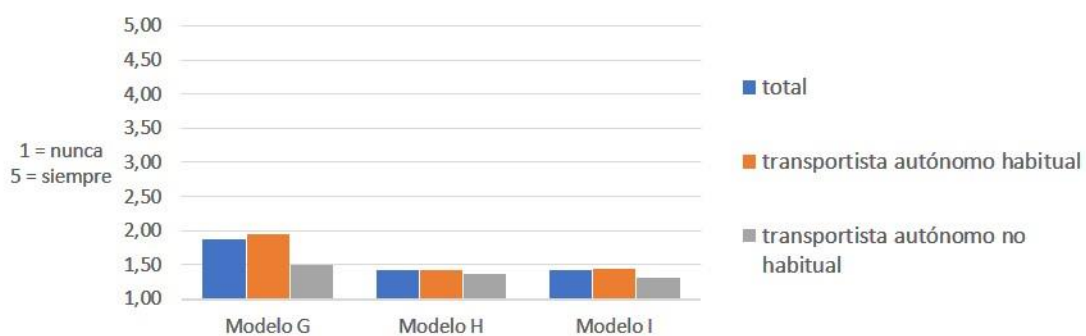


Figura 5.38. Frecuencia de operaciones en modelos organizativos G, H y I por tipo de transportista.

A pesar de no ser generalizada en nuestro ámbito geográfico, los datos recogidos demuestran la presencia de esta estructura organizativa sobre todo entre los transportistas autónomos habituales. Al igual que en el resto de estructuras analizadas hasta el momento, la opción de comunicación más básica es la valorada como la más frecuente (modelo G), habituales. Los modelos H e I, en los que se establecen mayores canales de información entre agentes, fueron valorados como muy infrecuentes por los transportistas autónomos encuestados.



Figura 5.39. Operaciones en las que hay dos intermediarios entre mi cliente y el cliente directo.

(Pregunta T.A9). Por último, se pidió a los encuestados que valoraran la frecuencia de operaciones de transporte con una estructura formada por tres intermediarios entre ellos mismos y el expedidor de la mercancía (J, K y L). Nuevamente, la diferencia entre los tres modelos estriba en la circulación de la información entre los diferentes agentes que toman parte en la operación.

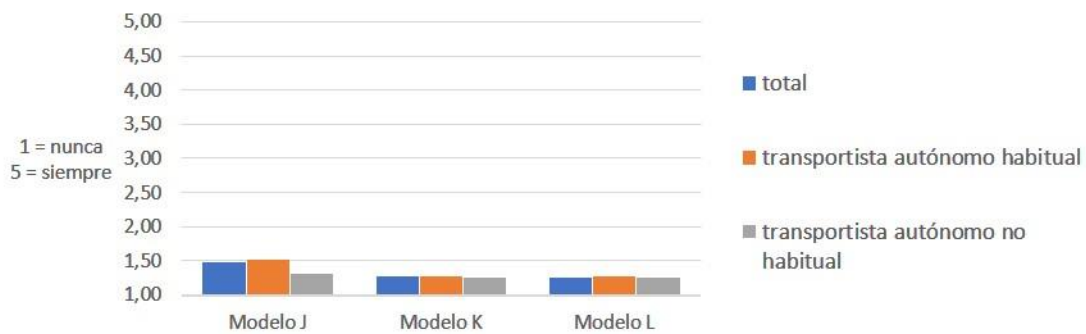


Figura 5.40. Frecuencia de operaciones en modelos organizativos J, K y L por tipo de transportista.

Los resultados muestran la escasa presencia de este tipo de estructura organizativa en las operaciones de transporte en las que toman parte los transportistas autónomos encuestados, si bien para un transportista resulta complicado identificarlas dada la confidencialidad con la que normalmente se efectúan las subcontrataciones de transporte, por lo que podrían ser más frecuentes de lo que aquí se muestra. En este sentido, la opinión de los transportistas autónomos contrasta con la de los operadores en los modelos análogos M, N y Ñ donde, por ejemplo, puede observarse que la valoración de los transitarios es cercana a 3 sobre 5.

4. Criterios de selección

Una vez analizadas las cadenas de subcontratación más frecuentes, nos centraremos en identificar cuáles son los criterios de selección en los que los operadores basan su toma de decisiones a la hora de subcontratar proveedores de transporte.

4.1. Ranking de criterios

Existen numerosos ejemplos de encuestas en la literatura que utilizan un número variable de criterios de selección y en los cuales, además, se emplean diferentes metodologías de medición. En esta encuesta se ha optado por 10 criterios de selección valorados en una escala de Likert del 1 (ninguna importancia) al 7 (máxima importancia). Para todas estas escalas de medida fueron realizadas pruebas de fiabilidad que pueden consultarse en el Anexo.

En la tabla 5.4 se exponen los criterios ordenados por importancia otorgada por los operadores de tráfico encuestados. En la columna “promedio” se observan la media aritmética de todas las respuestas para cada criterio, mientras que en la columna “mediana” se muestra el valor central de todas las respuestas de cada variable ordenada, por ejemplo, de menor a mayor.

Tabla 5.4. Valoración de la importancia de los criterios de selección de proveedores de transporte por parte de los operadores de tráfico, ordenados según promedio.

criterios de selección de proveedores de transporte	mediana	promedio
1. <i>Tener el equipamiento adecuado</i>	6	5,48
2. <i>Cumplir con las medidas de seguridad</i>	6	5,42
3. <i>Tener disponibilidad de vehículos</i>	6	5,31
4. <i>Confiar en su profesionalidad</i>	6	5,21
5. <i>Mantener buena comunicación e intercambio de información</i>	6	5,21
6. <i>Mostrar capacidad de reacción ante imprevistos</i>	6	5,17
7. <i>Tener un precio competitivo</i>	5	4,88
8. <i>Tener experiencia previa en este tipo de viajes</i>	6	4,67
9. <i>Tener reputación en el sector</i>	5	4,31
10. <i>Ser una empresa de la comarca o alrededores</i>	4	3,60

El promedio de las valoraciones de los operadores (**pregunta O.B2**) revela que el criterio más valorado es “tener el equipamiento adecuado”, mientras que “ser una empresa de la comarca o alrededores” es el criterio al que menos importancia se le otorga.

En la figura 5.41 puede comprobarse la valoración de los operadores a dichos criterios detallada según el tipo de empresa. Con el fin de averiguar si los tipos de empresa tiene comportamientos diferentes entre sí se realizaron pruebas de homogeneidad de varianzas y análisis ANOVA, cuyo resultado fue que no existen diferencias significativas entre los tres grupos (consultar Anexo). Sin embargo, cada grupo prioriza diferentes criterios. Para los operadores de agencias de transporte el más valorado es “tener el equipamiento adecuado”, seguido de la “confianza en la profesionalidad del proveedor”. En cambio, para los transitarios el “mostrar capacidad de reacción ante imprevistos” es lo más importante, mientras que los operadores de empresas de transporte otorgan la mayor puntuación tanto a “tener el equipamiento adecuado” como al

“cumplimiento de las medidas de seguridad”. En el lado opuesto, todos coinciden en considerar como lo menos importante “ser una empresa de la comarca o alrededores”. Del mismo modo, la “reputación en el sector” y la “experiencia previa en un tipo de viajes” no es considerada por ninguno de los tres grupos como demasiado relevante.

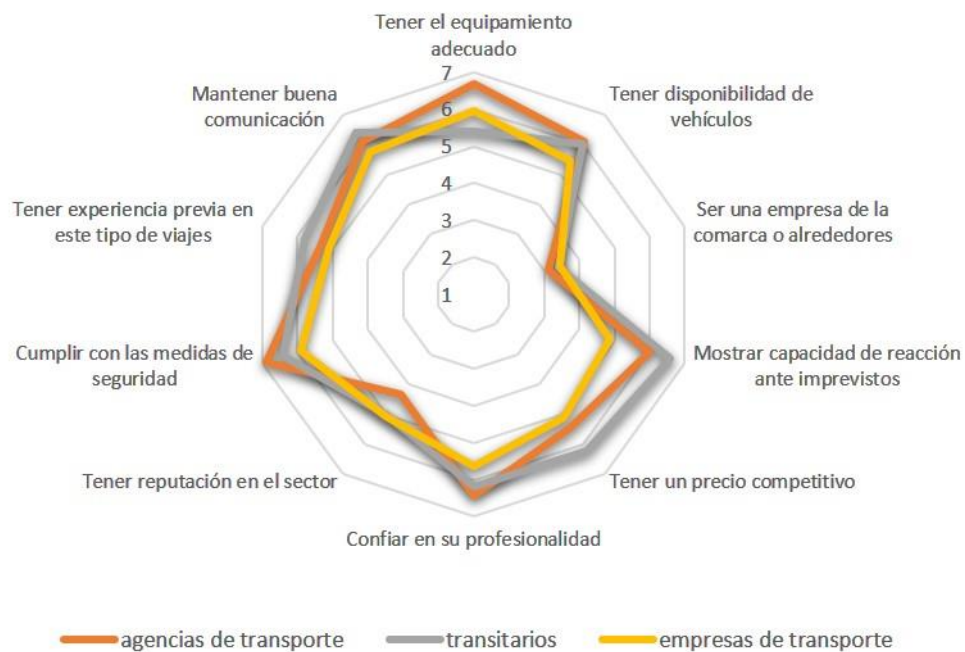


Figura 5.41. Importancia dada a cada criterio de selección según tipo de operador.

Simultáneamente, los transportistas autónomos también fueron preguntados acerca de la importancia de aquellos aspectos clave para el desarrollo de su trabajo (**preguntas T.B1 a T.B3**). Su valoración hay que situarla en un ámbito distinto al de los operadores, ya que los transportistas se encuentran al final de la cadena de subcontratación. Sin embargo, sus consideraciones son de gran valor para ponderar las puntuaciones de los operadores, ya que ellos aportan la visión del profesional seleccionado.

De tal modo, los resultados de tales valoraciones difieren notablemente de las de los operadores. A modo de ejemplo, los dos aspectos que reciben mayor puntuación por parte de los transportistas son la “confianza del cliente en mi profesionalidad” y “mi experiencia en el sector”, mientras que los operadores sitúan estos aspectos en cuarto y octavo lugar respectivamente.

Tabla 5.5. Valoración de los transportistas de los aspectos de su desempeño profesional, ordenados según promedio.

aspectos del desempeño profesional de los transportistas	mediana	promedio
1. Confianza del cliente en mi profesionalidad	7	6,72
2. Mi experiencia en el sector	7	6,68
3. Tener un equipamiento adecuado y en buen estado	7	6,67
4. Respetar las normas de seguridad	7	6,63
5. Mantener buena comunicación	7	6,57
6. Estar disponible cuando mi cliente lo necesita	7	6,50
7. Tener capacidad de reacción ante imprevistos	7	6,41
8. Ofrecer precios competitivos	6	5,79
9. Ubicación del cliente en mi comarca o alrededores	7	5,68
10. Poder elegir los viajes/rutas que más me convienen	6	5,58

Por grupos, los transportistas muestran afinidad en todas las respuestas salvo en dos: La “ubicación del cliente en la comarca de residencia del propio transportista o alrededores”, y la “posibilidad de elegir viajes a su conveniencia”. En la mayor valoración de estos aspectos por parte de los transportistas que trabajan entre el 50 y el 100% con un solo cliente se evidencia la búsqueda de mayor regularidad y estabilidad en los viajes.



Figura 5.42. Importancia dada a cada aspecto del desempeño profesional según tipo de transportista.

Por el contrario, cuando son los propios transportistas autónomos quienes han de calificar la actividad de sus clientes (**pregunta T.B3**) los resultados arrojan lecturas diferentes. Las principales discrepancias entre transportistas autónomos habituales y aquellos que dedican menos del 50% de su trabajo a un solo cliente están en cuestiones referentes a la retribución de los servicios de transporte prestados.



Figura 5.43. Valoración dada por los transportistas autónomos a diferentes aspectos del desempeño de sus clientes, según tipo de transportista.

Mientras los transportistas autónomos están más satisfechos con la puntualidad en los pagos, sus compañeros transportistas no habituales lo están con los precios y tarifas de los servicios de transporte. De tal manera, los datos recogidos parecen mostrar que los precios de viajes ocasionales son más rentables que los viajes regulares, si bien el cobro de los primeros resulta más irregular que cuando la relación entre proveedor y cliente es permanente.

4.2. Análisis cruzado de criterios de selección

En este apartado los operadores de tráfico encuestados ponderaron el valor de los diez criterios de selección señalados más arriba en función de cuatro variables contenidas en otros tantos criterios de selección (**preguntas O.B3 a O.B6**). Dichas variables son las siguientes:

- A) *Confianza*, contenida en el criterio de selección “confiar en su profesionalidad”.
- B) *Competitividad*, contenida en el criterio “tener un precio competitivo”.
- C) *Disponibilidad*, contenida en el criterio “tener disponibilidad de vehículos”.
- D) *Proximidad*, contenida en el criterio “ser una empresa de la comarca o alrededores”.

Esta serie de preguntas tiene por objetivo comprobar cómo se comporta el resto de criterios de selección cuando hay una máxima exigencia de uno de las variables mencionadas, por ejemplo, cuando un operador necesita de su proveedor el máximo de disponibilidad de vehículos.

Los resultados se exponen en la tabla 5.6. En la columna de la izquierda puede observarse el ranking de la valoración general de criterios de selección realizada anteriormente por los operadores, y en las siguientes columnas figuran las valoraciones de dichos criterios en función de la exigencia máxima de cada una de las cuatro variables mencionadas. Los cuadros coincidentes con su mismo criterio aparecen en gris.

Tabla 5.6. Ranking de valoración de importancia de criterios de selección en relación con la máxima exigencia de las variables confianza, competitividad, disponibilidad y proximidad.

Valoración general de criterios de selección	para máxima confianza	para máxima competitividad	para máxima disponibilidad	para máxima proximidad
1. Cumplir con las medidas de seguridad	1	1	1	3
2. Tener el equipamiento adecuado	2	2	2	6
3. Mantener buena comunicación	3	3	3	1
4. Confiar en su profesionalidad		4	5	2
5. Tener disponibilidad de vehículos	5	6		5
6. Tener un precio competitivo	6		6	9
7. Mostrar capacidad de reacción ante imprevistos	4	5	4	4
8. Tener experiencia previa en envíos concretos	7	7	7	7
9. Tener reputación en el sector	8	8	8	8
10. Ser una empresa de la comarca o alrededores	9	9	9	

Los resultados obtenidos por este cruce de las variables muestran poca variabilidad respecto a la valoración general. Los tres primeros y los tres últimos puestos no varían en cuanto a la máxima exigencia de confianza, competitividad y disponibilidad. Solo hay pequeñas variaciones en la mitad de la tabla, como por ejemplo el criterio “mostrar capacidad de reacción ante imprevistos”, que se revaloriza en los tres casos respecto al ranking general.

Sin embargo, en la última columna se valoran las ventajas que presentan los proveedores de servicios de transporte por el hecho de encontrarse en las proximidades de las empresas de los operadores de tráfico. En esta ocasión la valoración es bastante diferente a las anteriores, ya que

la comunicación y la confianza en su profesionalidad pasan a ser los criterios más ventajosos y el precio competitivo pasa a la última posición, al considerarse como un efecto negativo de proximidad geográfica.

Por último, los operadores de tráfico que utilizan las bolsas de carga para subcontratar proveedores de transporte valoraron la importancia de los criterios de selección que intervienen en estos casos (**pregunta O.B7**).

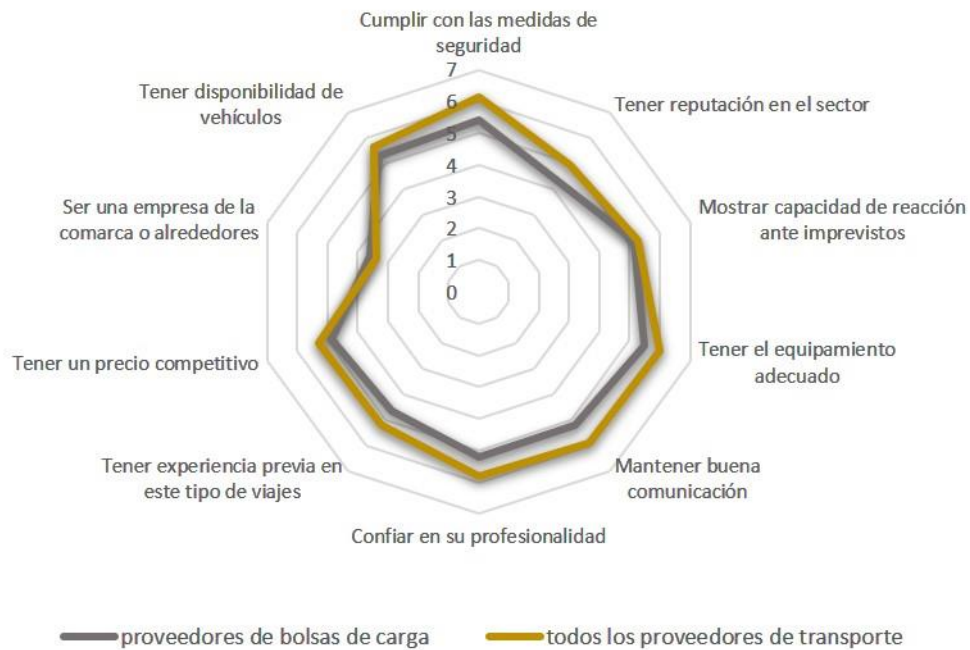


Figura 5.44. Criterios de selección de proveedores de transporte según la importancia dada por los operadores de tráfico: Comparativa entre proveedores procedentes de bolsas de carga y el resto.

Por norma general se es menos exigente con los proveedores de servicios de transporte subcontratados a través de bolsas de carga, como muestra la figura 5.44. No obstante, un aspecto llamativo ofrecido por esta comparativa es la coincidencia de los operadores en considerar de escasa importancia la ubicación de los proveedores en la comarca o en sus alrededores, tanto si proceden de bolsa de carga como si se trata de proveedores habituales.

4.3. Correlación entre los criterios de selección

Tras haber analizado los seis test de valoración de criterios en función de diferentes factores dirigidos a los operadores, se procedió a calcular los coeficientes de correlación lineal de Pearson y su ordenación en tablas para establecer su posible relación y su significancia estadística. Con el fin de obtener una visión general se elaboró una matriz-resumen con los promedios de las seis matrices de correlación (tabla 5.7).

Tabla 5.7. Matriz-resumen de correlación lineal entre las variables que intervienen en la selección de proveedores.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1									
2	0,87	1								
3	0,71	0,68	1							
4	0,73	0,77	0,83	1						
5	0,76	0,75	0,77	0,82	1					
6	0,76	0,76	0,76	0,82	0,78	1				
7	0,55	0,58	0,70	0,66	0,62	0,66	1			
8	0,57	0,65	0,64	0,71	0,63	0,69	0,58	1		
9	0,52	0,53	0,56	0,65	0,59	0,65	0,52	0,65	1	
10	0,21	0,28	0,29	0,34	0,23	0,36	0,36	0,50	0,59	1

1= Tener el equipamiento adecuado; 2= Cumplir con las medidas de seguridad; 3= Tener disponibilidad de vehículos; 4= Confiar en la profesionalidad del proveedor; 5= Mantener una buena comunicación...; 6= Tener capacidad de reacción ante imprevistos; 7= Tener un precio competitivo; 8= Tener experiencia previa en envíos concretos; 9= Tener reputación en el sector; 10= Ser una empresa de la comarca o alrededores.

Sin evidencias de que exista relación de causalidad alguna entre las diferentes variables, en la tabla 5.7 podemos observar cómo algunos de estos criterios de selección tienen un alto grado de asociación entre sí (coeficientes sombreados con valor igual o superior a 0,7). Cuanto más cerca de 1 esté su coeficiente mayor será su relación positiva. Por el contrario, cuanto más cerca de 0 esté el coeficiente de dos variables menos relación tendrán entre sí. De tal modo, los seis primeros criterios de selección tienen altos niveles de asociación entre sí en todos los supuestos que se han planteado. Esto podría significar que al seleccionar un proveedor de transporte un operador exija implícitamente el cumplimiento de estos seis criterios, es decir, equipamiento adecuado, cumplimiento de medidas de seguridad, disponibilidad de vehículos, profesionalidad, mantener una buena comunicación y reaccionar ante imprevistos.

Por el otro lado, a pesar de mantener valores de correlación positivos, tenemos una serie de criterios cuya relación con el resto y entre sí es más moderada o incluso débil, es decir, la exigencia de los seis criterios anteriores no implicaría necesariamente el cumplimiento de estos cuatro: Ofrecer un precio competitivo, tener experiencia en el viaje que se oferta, tener reputación en el sector y ser una empresa de la comarca o alrededores. Es llamativo el hecho de que este último criterio de selección sea con diferencia el que menor grado de asociación muestra con el resto de variables, salvo con la experiencia previa.

5. Creación de valor

El presente bloque se dedica a los factores que determinan la creación de valor en las empresas del sector a partir del conocimiento. En el día a día de las empresas del sector del transporte la toma de decisiones es constante. Normalmente esas decisiones se fundamentan en

conocimientos previos, y a su vez producen nuevo conocimiento. Esto permite a las empresas acumular *know-how* como condición para generar innovaciones y mejorar la productividad y la competitividad (Coccia, 2008). En esta encuesta se ha tratado de investigar la creación de valor a partir de cuatro factores: motivación, experiencia, procesos comunicativos y saturación de trabajo. A cada factor le correspondían 6 indicadores, por lo que los encuestados valoraron 24 sentencias o afirmaciones destinadas a medir dichos aspectos. Para ello fueron empleadas nuevamente escalas de Likert con 7 niveles de respuesta. Para cada aspecto se extrajeron coeficientes Alfa de Cronbach y coeficientes de Spearman-Brown de con el fin de comprobar la fiabilidad de los resultados tanto en el grupo de operadores como en el de transportistas (consultar anexo). Los datos se representan en cuatro gráficos de frecuencias relativas, donde se agrupan las valoraciones por factores y grupos de encuestados para cada nivel de respuesta. Finalmente, a modo de aclaración se establece que los niveles 6 y 7 suponen una consideración positiva del factor que se mide, los niveles 3, 4 y 5 una consideración moderada y los niveles 1 y 2 una consideración baja o muy baja.

5.1. Motivación

La toma de decisiones requiere de creatividad cuando las soluciones conocidas no sirven para resolver una nueva situación. Así, para que dichos procesos creativos se activen el nivel de motivación juega un papel crucial (Argote y Miron-Spektor, 2011; Kreuels, 2018). Este es el caso del TMC, donde el dinamismo de la actividad hace que constantemente se generen nuevos escenarios.

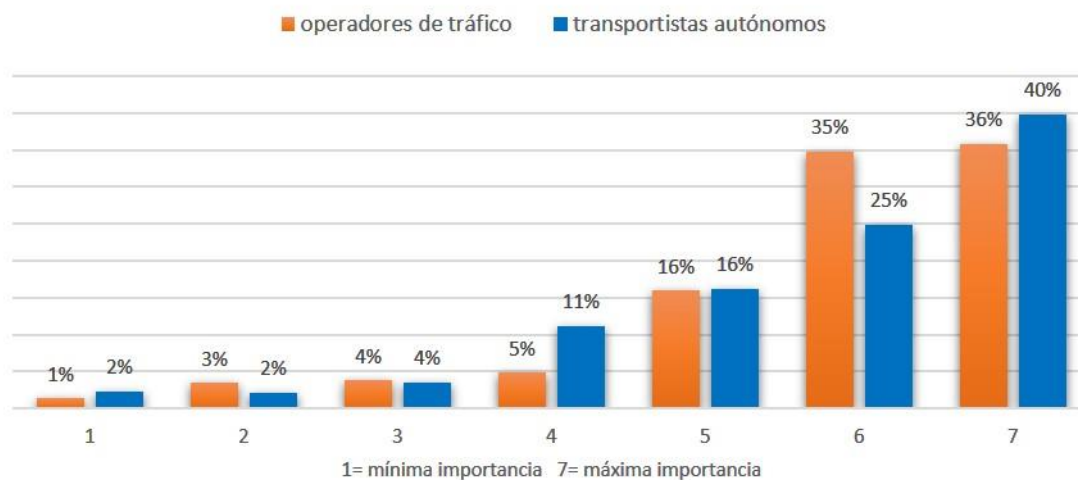


Figura 5.45. Valoración de la motivación por parte de los dos grupos de encuestados: Frecuencias relativas.

En la figura 5.45 se representa la valoración de la motivación por parte de los dos grupos encuestados. Estos niveles se obtienen a partir de la agrupación de la puntuación de los seis indicadores que miden la motivación: Las sentencias **O.C1** a **O.C6** en el caso de los operadores y **T.C1** a **T.C6** en el caso de los transportistas.

A la vista de los resultados es destacable la alta valoración que tiene la motivación en los dos grupos como elemento clave para el desempeño de la labor profesional, concretamente el 71% en los operadores y el 65% en los transportistas. Entre otras consideraciones, esto significa que ambos grupos profesionales comparten la idea de que la falta de motivación afecta negativamente a la calidad y la cantidad de información y conocimiento que se recibe y se transmite.

5.2. Experiencia

A continuación, se pidió a los encuestados que valoraran otras seis sentencias (**O.C7** a **O.C12** y **T.C7** a **T.C12**), en este caso relacionadas con el papel que juega la experiencia en la toma de decisiones. Las cuestiones se referían al impacto de la experiencia en la transmisión de información, en la colaboración o en la capacidad de resolución de problemas, de tal modo que a mayor puntuación mayor valoración de dicho factor. La figura 5.46 expresa los valores agrupados de las seis preguntas para cada grupo en forma de frecuencias relativas.

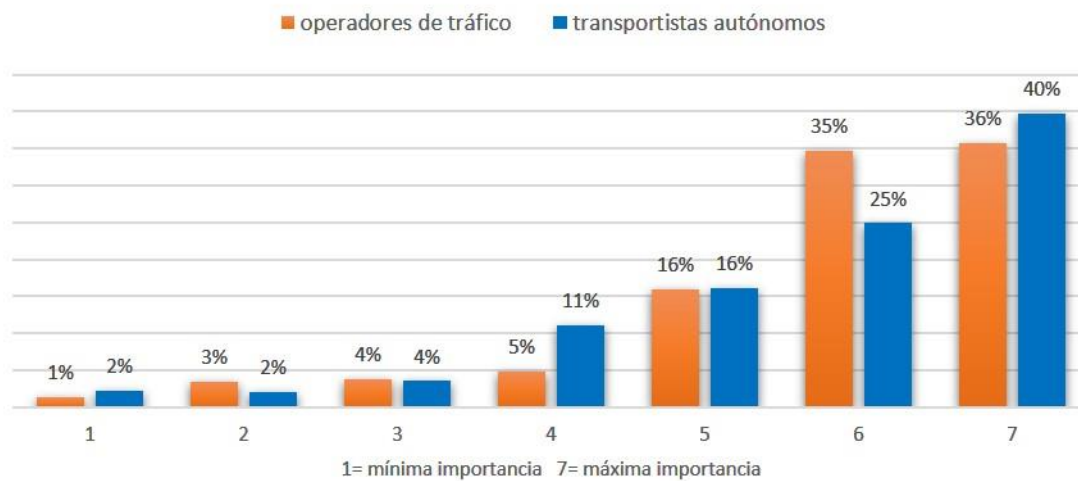


Figura 5.46. Valoración de la experiencia por parte de los dos grupos de encuestados: Frecuencias relativas.

Considerando la suma de las frecuencias de los niveles de mayor aceptación (niveles de respuesta 6 y 7), puede observarse una valoración más positiva de la experiencia por parte de los transportistas que de los operadores. Además, destaca el hecho de que los operadores otorguen mayor valor a sentirse motivados en la empresa que a los beneficios que la experiencia les pueda aportar en su labor, 71% frente al 61%.

5.3. Procesos comunicativos

Tal y como se mencionaba más arriba, la toma de decisiones reclama creatividad cuando las soluciones conocidas no bastan para resolver una nueva situación. Sin embargo, estas “nuevas soluciones” deben ser compartidas e incorporadas a los procesos operativos para que la transferencia de conocimiento tenga lugar, dentro de lo que se conoce como aprendizaje organizacional (Argote y Miron-Spektor, 2011; Gamero *et al.*, 2018) o conocimiento compartido (Blumenberg *et al.*, 2009; Zhou y Benton, 2007). Por ello los encuestados valoraron 6 nuevos ítems (O.C13 a O.C18 y T.C13 a T.C18) relacionados con los procesos comunicativos con el fin de estimar la importancia de este factor en su proceder cotidiano.

Para obtener un nivel aceptable de fiabilidad de los datos fue necesario depurar dos de los seis indicadores en la encuesta de operadores. Los ítems O.C13 y O.C14 fueron por lo tanto eliminados. En el caso de los transportistas no fue necesario eliminar ningún ítem.

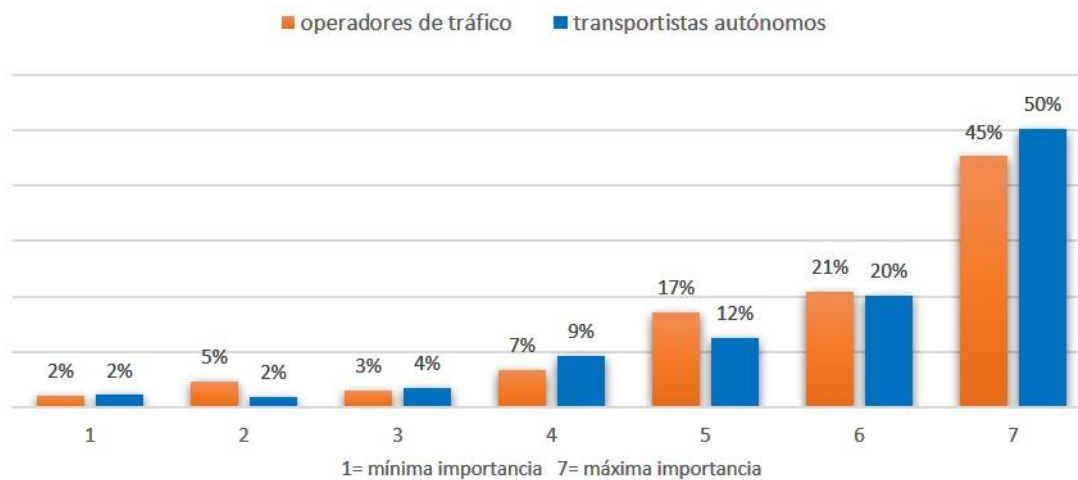


Figura 5.47. Valoración de los procesos comunicativos por parte de los dos grupos de encuestados: Frecuencias relativas.

Como puede apreciarse en el gráfico de frecuencias (figura 5.47), es generalizado el consenso de los dos grupos respecto de la importancia de la comunicación e intercambio de información entre los diferentes actores que toman parte en las operaciones de transporte. Estos resultados tienen una interesante lectura, toda vez que los grupos profesionales encuestados no pertenecen a una misma organización empresarial, y por lo tanto la transferencia de información y conocimiento se enmarca en un contexto espacial.

5.4. Sobrecarga de trabajo

El último factor que los encuestados tuvieron que valorar fue la sobrecarga de trabajo (ítems O.C19 a O.C24 y T.C19 a T.C24). En este caso y a diferencia del resto de factores, la sobrecarga

incide negativamente en la creación de valor, es decir, a mayor puntuación mayor perjuicio causado por el exceso de trabajo en los procesos operativos. Este factor, por lo tanto, contrarresta el efecto positivo de los factores anteriores actuando como obstáculo a las buenas prácticas.

Al igual que con el factor anterior, dos de los seis ítems de cada encuesta fueron depurados con el fin de conseguir una mayor fiabilidad de los resultados finales. Estos ítems fueron el O.C19 y el O.C24 en la encuesta de operadores y el T.C19 y el T.C24 en la encuesta de transportistas. Por lo tanto, los resultados acumulan la puntuación de únicamente cuatro indicadores y no de seis.

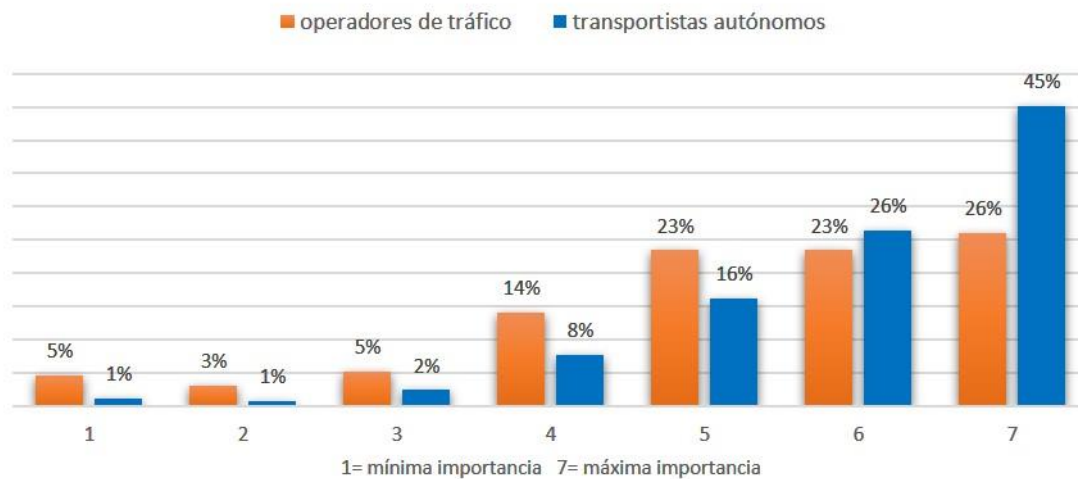


Figura 5.48. Valoración del nivel de sobrecarga en el trabajo por parte de los dos grupos de encuestados: Frecuencias relativas.

Como puede apreciarse en la figura 5.48 las valoraciones de los dos grupos discrepan en cuanto al impacto de la sobrecarga de trabajo en los procesos operativos y de transmisión de la información. Mientras un 72% de los transportistas autónomos considera la saturación de trabajo como un elemento altamente decisivo que influye negativamente en el desarrollo de su labor, solo un 49% de los operadores de tráfico lo considera de igual modo.

5.5. Resumen

La transferencia de conocimiento y el aprendizaje organizacional son procesos fundamentales en el transporte. Las prácticas que los hacen posibles introducen a su vez el concepto de valor compartido, que eleva la competitividad de las empresas y permite alcanzar mayores niveles de progreso, tanto para la propia actividad económica como para la comunidad en la que ésta opera (Kramer y Porter, 2011). Estos cuatro factores responsables de la creación de valor no son los únicos que intervienen en la actividad operativa del TMC. Sin embargo, se trata de factores humanos presentes en el día a día del sector del transporte y estrechamente interrelacionados entre sí. La optimización de la motivación, la experiencia y los procesos comunicativos puede

verse amenazada por la sobrecarga excesiva de trabajo, y ello podría comprometer seriamente la creación y difusión de valor.

Tabla 5.8. Grado de importancia dado por cada grupo profesional a cada factor: Frecuencias relativas agrupadas en tres rangos (oper = operadores de tráfico; trans = transportistas autónomos).

	mínima importancia		Importancia moderada		máxima importancia	
	oper	trans	oper	trans	oper	trans
<i>Motivación</i>	5%	4%	25%	31%	70%	65%
<i>Experiencia</i>	6%	5%	33%	25%	61%	70%
<i>Procesos comunicativos</i>	7%	4%	27%	25%	66%	71%
<i>Sobrecarga de trabajo</i>	8%	2%	43%	26%	49%	72%

Si bien con algunas diferencias, la valoración de los encuestados resumida en la tabla 5.8 pone de manifiesto la importancia de los cuatro factores en su quehacer diario, tanto al volante de un vehículo como en la gestión operativa de envíos. Pero quizá de entre todos ellos la alta valoración de los procesos comunicativos tiene un valor especial en lo que a la capacidad de interacción se refiere, tanto dentro de la organización a la que se pertenece como en las colaboraciones con otras empresas y/o profesionales del sector.

6. Procedimientos de trabajo

Los procesos internos, la organización del trabajo y los métodos empleados aportan una valiosa información sobre el modo en que los diferentes agentes desarrollan su labor e interactúan profesionalmente con sus colaboradores. En este bloque las preguntas se refieren al funcionamiento de algunos de esos procesos tanto en caso de los operadores de tráfico como en el de los transportistas autónomos.

6.1. Procedimientos de los operadores de tráfico

El número de viajes gestionados cada día es el volumen de trabajo medio asumido diariamente por cada operador. Se trata de un factor decisivo que ayuda a comprender hasta qué punto es necesaria la existencia de procedimientos organizativos eficientes. En el caso de los operadores de tráfico la horquilla de 11 a 15 viajes gestionados diariamente representa el trabajo de uno de cada tres empleados (**pregunta O. D1**). Si elevamos la horquilla encontramos que la mitad de los operadores encuestados gestionan de promedio entre 11 y 20 envíos al día.

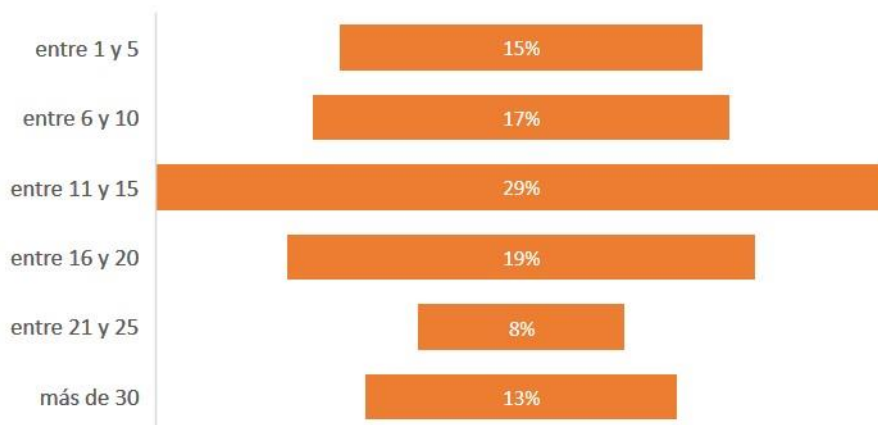


Figura 5.49. Número de viajes gestionados por un operador en una jornada.

Por tipo de empresa es interesante resaltar que el 100% de los operadores consultados de empresas transitarías afirman gestionar 16 o más envíos diarios, mientras que casi el 70% de los operadores de empresas de transporte y de agencias de transporte gestionan 15 o menos envíos al día de promedio.

La colaboración y coordinación con el resto de operadores del departamento de tráfico es también un importante factor que influye en la eficacia de los procesos de gestión interna (**pregunta O.D2**). Tal y como se puede comprobar en la figura 5.50, la coordinación entre operadores de tráfico se circunscribe predominantemente a un ámbito reducido de trabajadores, representando los grupos de hasta dos personas el 50% del total y los grupos de hasta 5 personas el 80%.

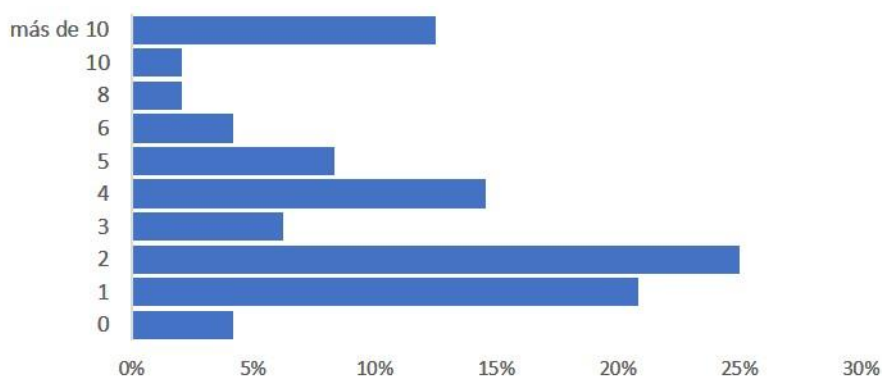


Figura 5.50. Número de compañeros con los que un operador se coordina diariamente.

El siguiente aspecto que considerar es el referido al tratamiento de los pedidos que un operador recibe y el modo en que se tramitan y se registran (**pregunta O.D3**). La tendencia a utilizar aplicaciones informáticas y programas de gestión integral es cada vez mayor en el sector del transporte de mercancías. Sin embargo, de acuerdo con los datos de la encuesta, todavía hoy

siguen empleándose procedimientos convencionales del tipo plantillas o “plannings” sobre papel u otros procedimientos no integrados dentro de los sistemas de gestión. En este sentido, son los operadores de las empresas de transporte quienes más utilizan este tipo de procedimientos al menos durante una parte de proceso de gestión cada envío.

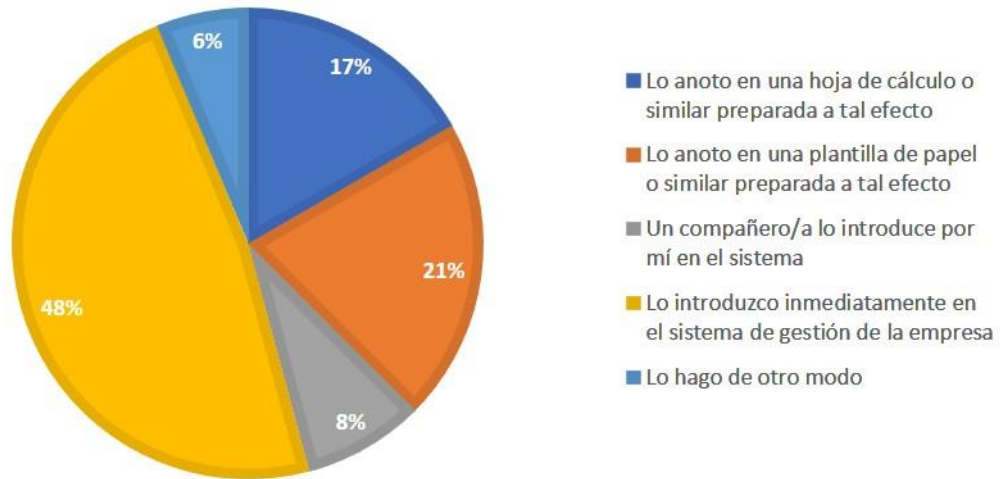


Figura 5.51. Procedimientos de gestión de pedidos por parte de los operadores de tráfico.

Por otro lado, un elemento importante para analizar los procedimientos de gestión del tráfico rodado es el modo en que se establecen las comunicaciones entre los clientes y los proveedores de servicios de transporte. En las últimas décadas las nuevas tecnologías han irrumpido con fuerza en el ámbito de las relaciones interempresariales, aportando importantes mejoras en aspectos como la inmediatez, la flexibilidad y la eficacia en las interacciones. Los datos arrojados por la encuesta (**pregunta O.D4**) son muy clarificadores al respecto en lo referente a las comunicaciones entre clientes y empresas proveedoras de servicios de transporte, ya que certifican la total sustitución del fax por el email, si bien las comunicaciones telefónicas siguen teniendo mucha presencia en los contactos con los clientes.

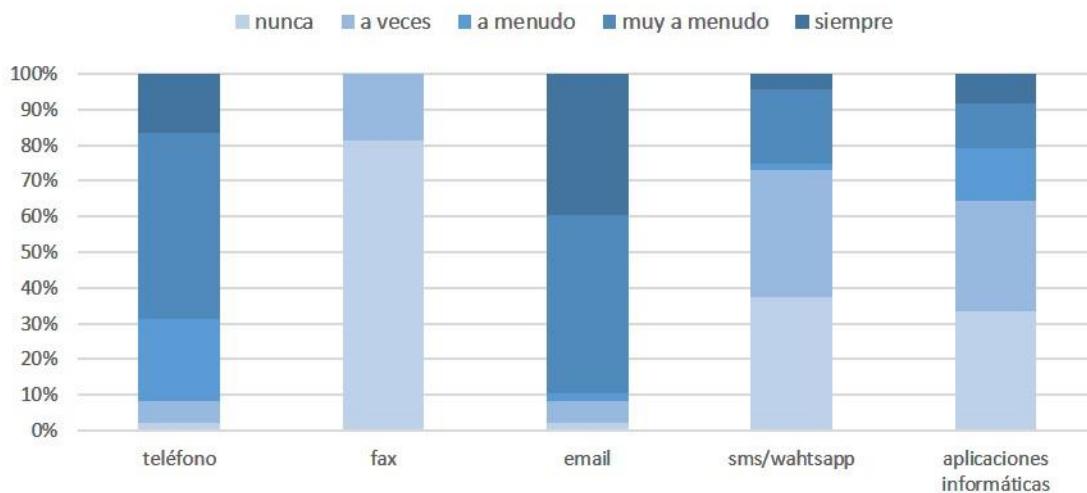


Figura 5.52. Frecuencia de utilización de diferentes medios de comunicación por parte de los operadores de tráfico en sus comunicaciones con clientes.

Del mismo modo, las comunicaciones entre empresas de transporte, transitarios o agencias y transportistas autónomos y conductores propios también han experimentado cambios en los últimos tiempos (**pregunta O.D5**). Si bien sigue existiendo cierta dependencia de la comunicación verbal, sea por teléfono principalmente o en persona en menor medida, el empleo de sistemas como los mensajes sms y, sobre todo, whatsapp es cada vez más frecuente al ampliar las posibilidades de comunicación de manera fiable y segura entre empresas y transportistas en cuestión de segundos.

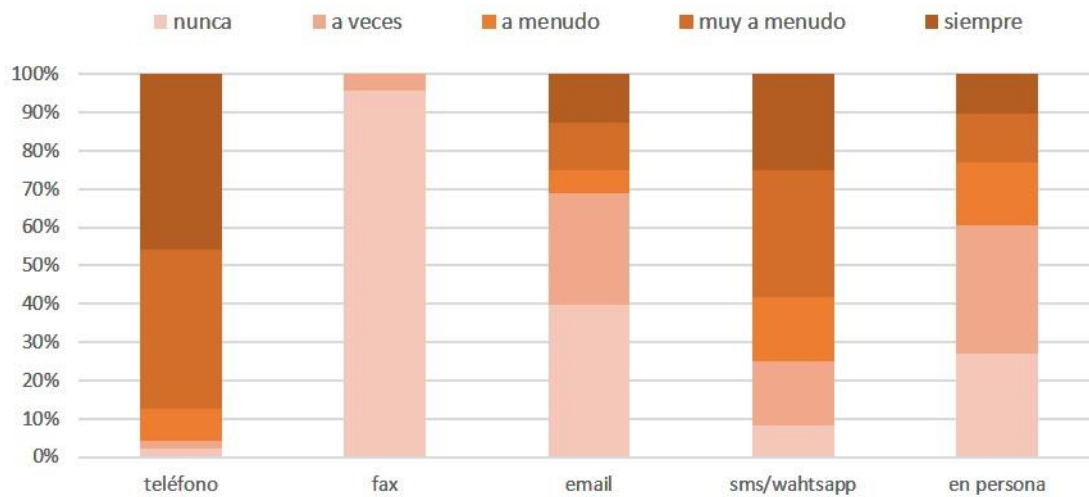


Figura 5.53. Frecuencia de utilización de diferentes medios de comunicación por parte de los operadores de tráfico en sus comunicaciones con transportistas autónomos y conductores.

El tipo de comunicación mantenida con cada agente involucrado en las operaciones de transporte es asimismo un elemento importante de análisis. No se trata únicamente de comprender cómo se establecen las comunicaciones entre agentes sino también de averiguar si dichas comunicaciones siguen un patrón determinado o si, por el contrario, no tienen una estructura fija.

En la **pregunta O.D6** se pedía a los operadores de transporte que indicaran con qué agentes se comunican en función del tipo de mensaje. Dichos tipos de mensaje se establecieron en 7 en función de la acción a la que se refiere cada uno:

Tabla 5.9. Tipos de mensajes entre operadores de tráfico y sus proveedores y clientes en función de la información ofrecida o solicitada.

1. *Aceptar el pedido u orden de carga por parte del cliente*
2. *Enviar la orden de carga al proveedor de servicio de transporte*
3. *Pedir confirmación de aceptación de carga*
4. *Enviar la ubicación geográfica del vehículo*
5. *Pedir ubicación geográfica del vehículo*
6. *Enviar confirmación cuando la entrega se ha realizado correctamente*
7. *Pedir confirmación de que la entrega se ha realizado correctamente*

La figura 5.54 resume las interrelaciones comunicativas entre agentes a partir de los tipos de mensaje mencionados. En la izquierda de la figura están representadas las respuestas de los operadores de empresas de transporte y a la derecha las de los operadores de agencias y transitarios, muy coincidentes entre sí. El grosor de las líneas indica la frecuencia con que cada tipo de mensaje tiene lugar entre cada par de agentes. Asimismo, en el recuadro se señala el porcentaje de encuestados que afirma mantener ese tipo de comunicación con cada agente. Con el fin de no saturar el gráfico, para cada par de agentes han sido seleccionados los tres tipos de mensajes más frecuentes.

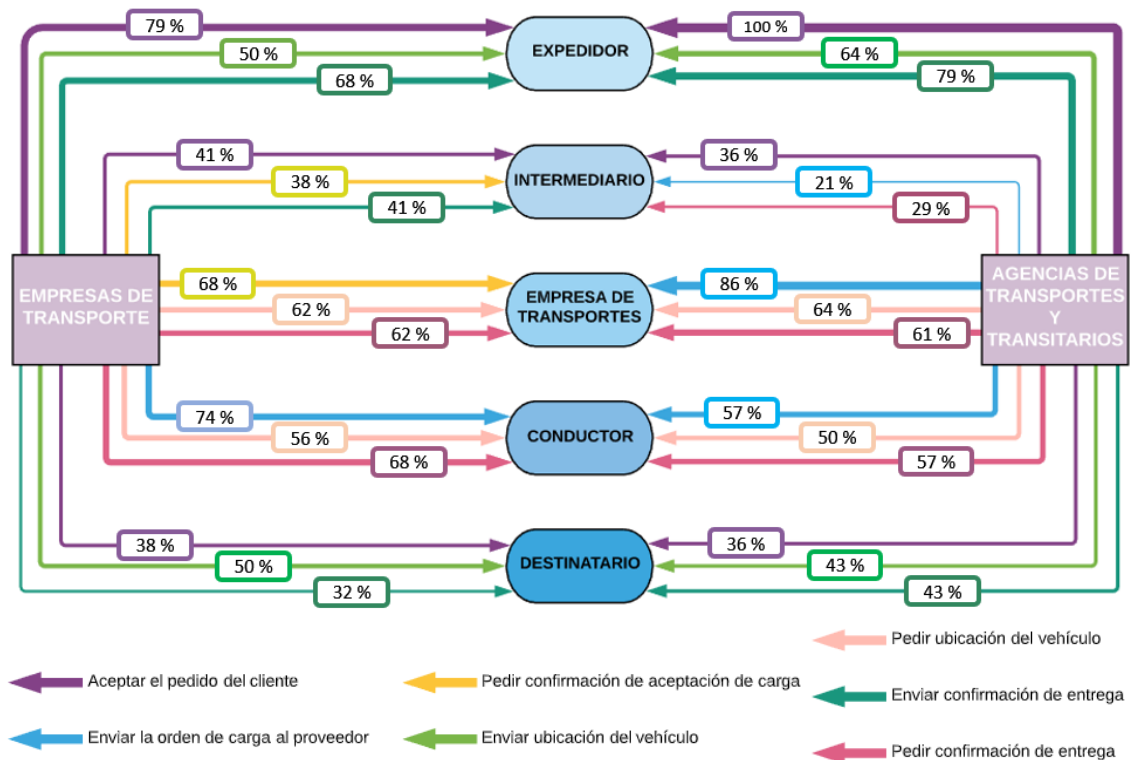


Figura 5.54. Frecuencia de comunicaciones entre operadores de tráfico y el resto de agentes dependiendo del tipo de mensaje.

Los resultados muestran grandes diferencias en el modo de proceder de los encuestados, indicando la poca probabilidad de un patrón fijo de comunicaciones entre agentes durante la gestión de una operación de transporte. Para poder considerar cada tipo de mensaje como procedimental debe presentar una frecuencia en torno al 80%. Dichas frecuencias se observan más en transitarios y agencias de transporte que en empresas de transporte, lo que podría sugerir la existencia de procedimientos más pautados en los primeros frente a la mayor heterogeneidad de los segundos.

Finalmente, más allá de la posibilidad de dificultades en la comunicación debidas a problemas técnicos, la interacción entre los diferentes agentes puede verse a menudo comprometida por otro tipo de aspectos relacionados con el desempeño profesional y la capacidad de colaboración.



Figura 5.55. Valoración de dificultades en el establecimiento de comunicación entre operadores de tráfico y otros agentes.

Los operadores de tráfico fueron encuestados acerca de estas dificultades de comunicación con sus clientes y con sus proveedores de transporte en las **preguntas O.D7 y O.D8**. La observación de los resultados no muestra demasiadas diferencias entre los diferentes tipos de problema, aunque existe una clara correlación en aspectos problemáticos de la comunicación como la demora de respuesta y la escasez y calidad de la información.

6.2. Procedimientos de los transportistas autónomos

Al tratarse de actividades diferentes los procedimientos de trabajo de los transportistas autónomos difieren de los de los operadores de tráfico. Sin embargo, ambos están muy relacionados ya que sus actividades son interdependientes.

En lo que respecta a la frecuencia de encargos de transportistas autónomos, con el fin de obtener un valor más ajustado a la realidad, se preguntó por el número medio de viajes realizados al mes (**pregunta T.D1**). El resultado muestra la predominancia de los viajes de corto recorrido, ya que la mitad realiza 26 o más viajes al mes de promedio.

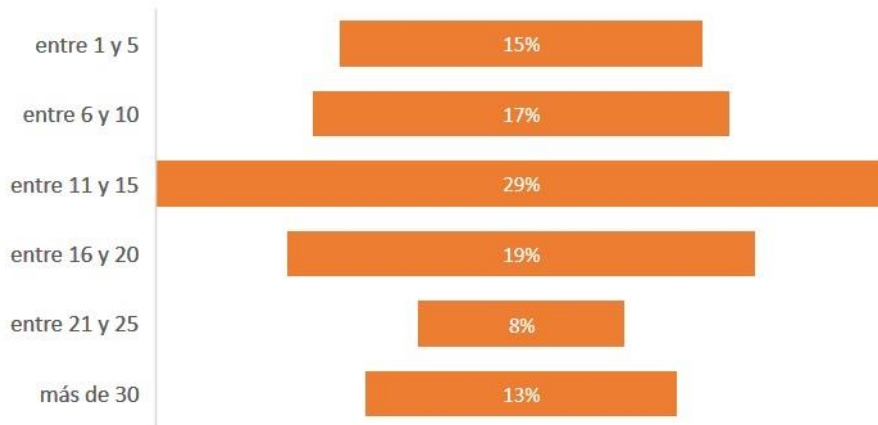


Figura 5.56. Número de viajes realizados por un transportista autónomo en un mes.

El siguiente aspecto por considerar es la organización de tareas cuando se recibe un pedido. En la **pregunta T.D2** se pidió a los transportistas que señalaran el orden en que acometen normalmente el desempeño de cinco tareas concretas. El objetivo, al igual que con los operadores de tráfico, era descubrir si existe algún patrón operativo estándar compartido entre los conductores autónomos.

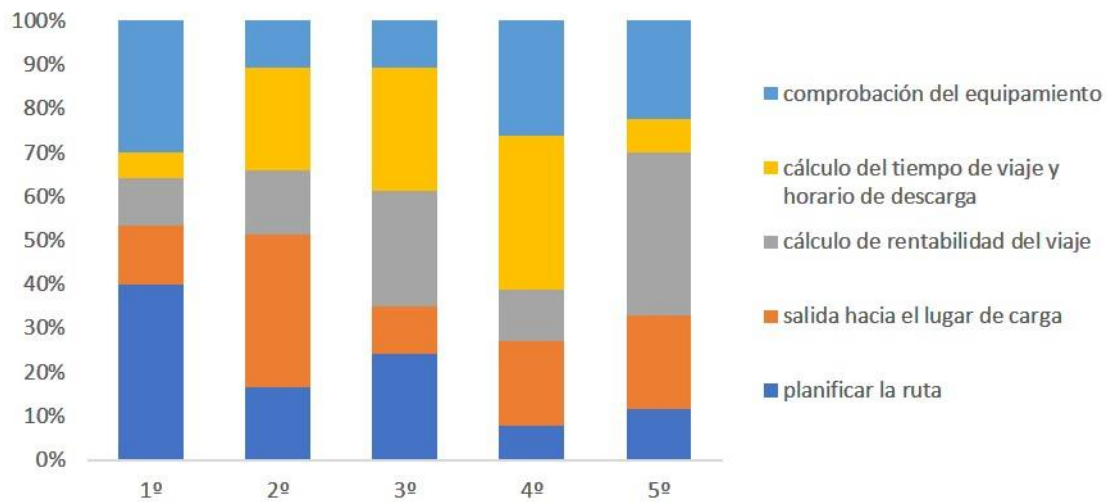


Figura 5.57. Ranking de tareas realizadas por los transportistas autónomos al recibir un pedido.

Lo primero que podemos observar en la figura 5.57 es una gran diversidad en el orden en que los transportistas realizan las cinco tareas mencionadas. A pesar de ello, parece claro que “la planificación de la ruta” y la “comprobación del equipamiento” son las primeras tareas que. Asimismo, la “puesta en marcha hacia el lugar de carga” parece ser para un 35% la segunda tarea a completar. A continuación, la tercera tarea al recibir el pedido resulta mucho más repartida que las anteriores dos, pudiendo ser el “cálculo del tiempo de viaje y horario de descarga” (28%), el “cálculo de rentabilidad del viaje” (26%) o la “planificación de la ruta” (24%). No obstante, el “cálculo de tiempo del viaje y horario de descarga” es para un 35% una tarea menos prioritaria

que el resto y por ello la colocan en cuarto lugar. Finalmente, “el cálculo de la rentabilidad” es para un 37% de los transportistas encuestados la tarea menos urgente de todas.

Los motivos de rechazo de cargas también son analizados en este bloque (**pregunta T.D3**). Al poder los encuestados seleccionar más de una opción en esta pregunta los porcentajes están calculados sobre el total de respuestas recogidas y no sobre la población encuestada. El motivo más frecuente tiene que ver con las exigencias de los clientes en cuanto a los horarios de recogida y/o entrega de la carga. Los precios ajustados también parecen ser una razón frecuente para el rechazo de cargas. Por último, la amenaza de tiempos de espera prolongados en el proceso de carga y/o de descarga también provoca que algunos transportistas no se comprometan con algunos clientes. Una parte importante, en cambio, afirma no rechazar nunca una carga a pesar de todas estas objeciones.

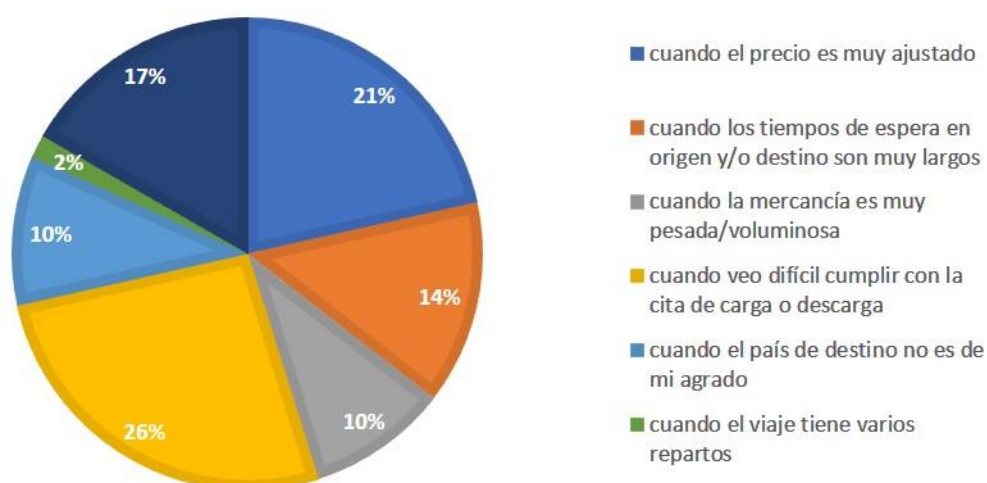


Figura 5.58. Motivos de rechazo de viajes por parte de los transportistas autónomos según su frecuencia.

Las modalidades de facturación empleadas por los transportistas autónomos se incluyen asimismo en este bloque, puesto que su tipología puede influir en la organización y adecuación del trabajo a las necesidades mínimas de ingresos mensuales (**pregunta T.D4**). En este caso se han separado los datos referentes a transportistas autónomos habituales (más del 50% de la facturación con un solo cliente) y los no habituales (menos del 50% de la facturación con un solo cliente). Las tarifas fijas según destinos son más habituales para los transportistas habituales, mientras que otros tipos de modalidades son más frecuentes en los no habituales. Las tarifas por kilómetro o por tonelada parecen tener una presencia similar en los dos grupos de transportistas.

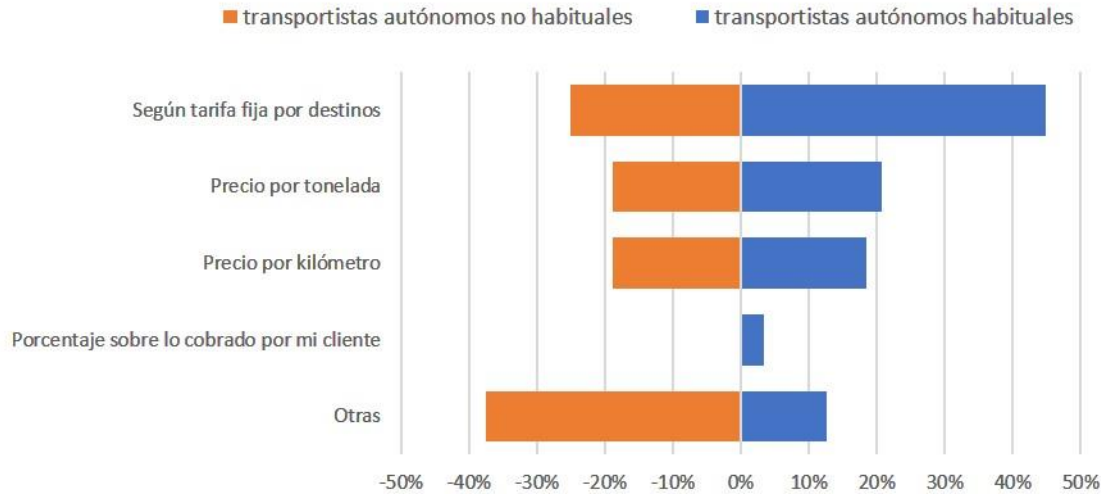


Figura 5.59. Modalidades de facturación por grupos de transportistas autónomos.

En lo que respecta a las modalidades de comunicación empleadas por los transportistas autónomos cuando contactan con sus clientes (**pregunta T.D5**) existen varias coincidencias entre sus respuestas y las de los operadores de tráfico. Por ejemplo, el 88% de los operadores admite utilizar el teléfono muy a menudo o siempre para contactar con sus proveedores de transporte, mientras que el 90 % de los transportistas utiliza el teléfono de igual modo en sus comunicaciones con clientes. Este mismo hecho se repite con la utilización del email en las franjas “siempre” o “muy a menudo”: 26% de operadores hacia proveedores de transporte y 25% de transportistas autónomos a clientes.

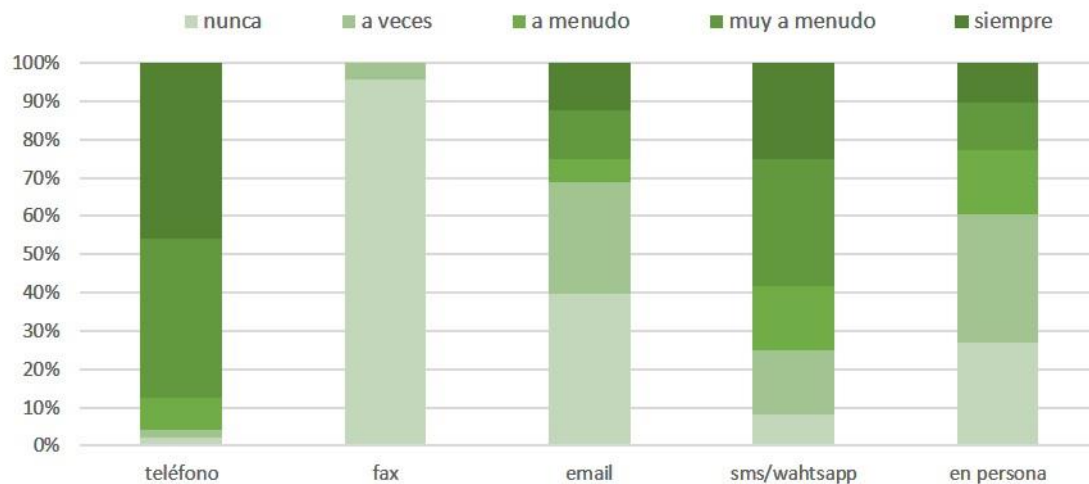


Figura 5.60. Frecuencia de utilización de diferentes modalidades de comunicación por parte de los transportistas autónomos en los contactos con sus clientes.

Sin embargo, ambas mediciones discrepan al observar otros medios de comunicación empleados. Así, el 58% de los operadores encuestados afirman emplear las aplicaciones de mensajes (sms/whatsapp) siempre o muy a menudo con sus proveedores, si bien solo el 34% de los

transportistas admite utilizarlas con esa frecuencia en sus comunicaciones con clientes. Algo similar ocurre con las comunicaciones en persona con clientes, muy frecuentes entre los transportistas (45% siempre o muy a menudo), mientras que solo se dan en un 23% de los operadores con esa frecuencia. Sea como fuere, los datos muestran una importante presencia de las nuevas tecnologías en los procedimientos de comunicación de los transportistas con sus clientes, cuya consolidación deberá ser comprobada a través de cuestionarios periódicos.

Por otro lado, al igual que en el caso de los operadores de tráfico también los transportistas autónomos fueron preguntados sobre el tipo de mensajes que intercambiaban con los distintos agentes intervinientes en las operaciones de transporte (**pregunta T.D6**). Estos mensajes hacen alusión a diferentes acciones a realizar durante una operación de transporte. Son los siguientes:

Tabla 5.10. Tipos de mensajes entre transportistas autónomos y sus clientes en función de la información ofrecida o solicitada.

- 1. Aceptar la orden de carga enviada por el cliente*
- 2. Enviar confirmación de llegada al lugar de carga*
- 3. Comunicar horario previsto de llegada a destino*
- 4. Comunicar la posición del vehículo durante el viaje*
- 5. Confirmar la llegada al lugar de descarga*
- 6. Confirmar que la descarga se ha realizado según lo previsto*

En la figura 5.61 podemos ver dicho intercambio de mensajes entre transportistas y el resto de agentes implicados. Los datos están separados por transportistas autónomos habituales, es decir, aquellos que trabajan el 50% o más con un solo cliente, y los transportistas autónomos no habituales, cuya facturación con un solo cliente es inferior al 50%. Al igual que en la figura 10, por cada par de agentes solo se muestran los tres tipos de mensajes más frecuentes. Los finos grosores de las líneas y los porcentajes señalan una baja frecuencia en todos los mensajes y la práctica ausencia de un procedimiento de comunicación común compartido entre los transportistas autónomos, tanto los habituales como los no habituales.

A pesar de estas bajas frecuencias, parece claro que los mayores porcentajes de comunicación se dan entre los transportistas no habituales y los expedidores, quienes además presumiblemente son sus clientes, como confirma el 56% de estos transportistas al enviar mensajes de aceptación de carga. La relación de comunicación con los destinatarios parece también de importancia entre este grupo de transportistas, sobre todo en lo relativo a la comunicación del horario de descarga. Por lo que respecta a los transportistas habituales, llama la atención los bajos porcentajes en la frecuencia de todos los tipos de comunicaciones. La no presencia de comunicaciones programadas entre clientes y proveedores en relación con el seguimiento de las operaciones de transporte podría tener diferentes lecturas sobre la eficacia de los sistemas de gestión y control de envíos, si bien sería necesario completar los datos aportados por esta encuesta con un estudio más específico en torno a este aspecto.

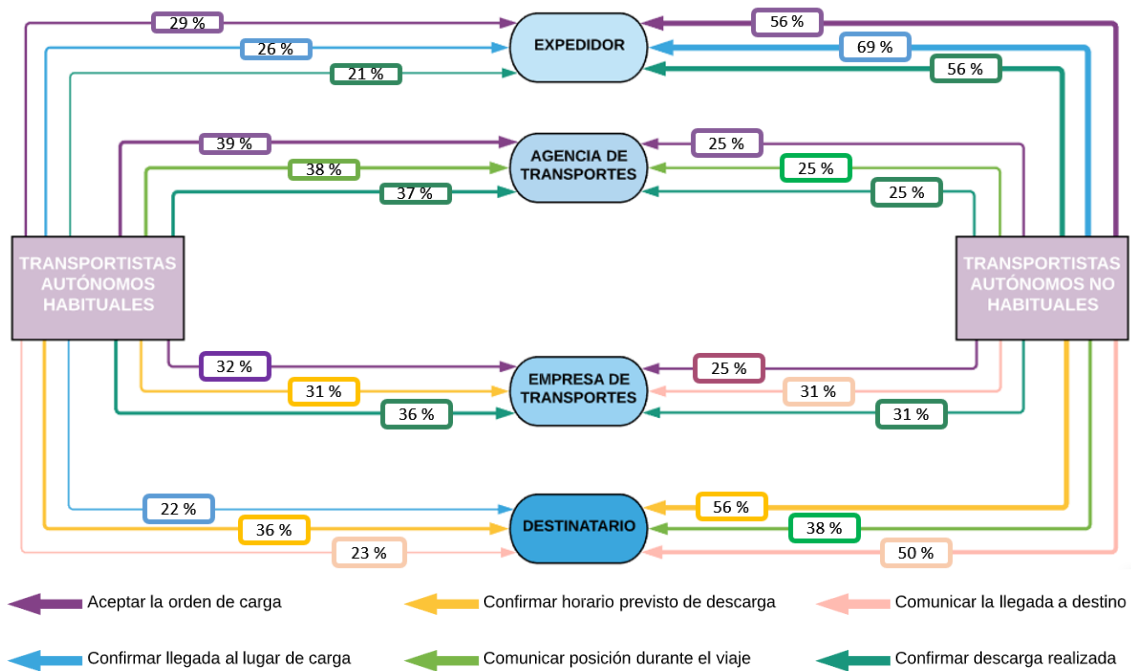


Figura 5.61. Frecuencia de comunicaciones entre transportistas autónomos y el resto de agentes dependiendo del tipo de mensaje.

El último aspecto de los procedimientos de comunicación a tratar desde la óptica de los transportistas autónomos son las dificultades de comunicación con sus clientes (**pregunta T.D7**). Los resultados se exponen en la figura 5.62 separados por grupos.

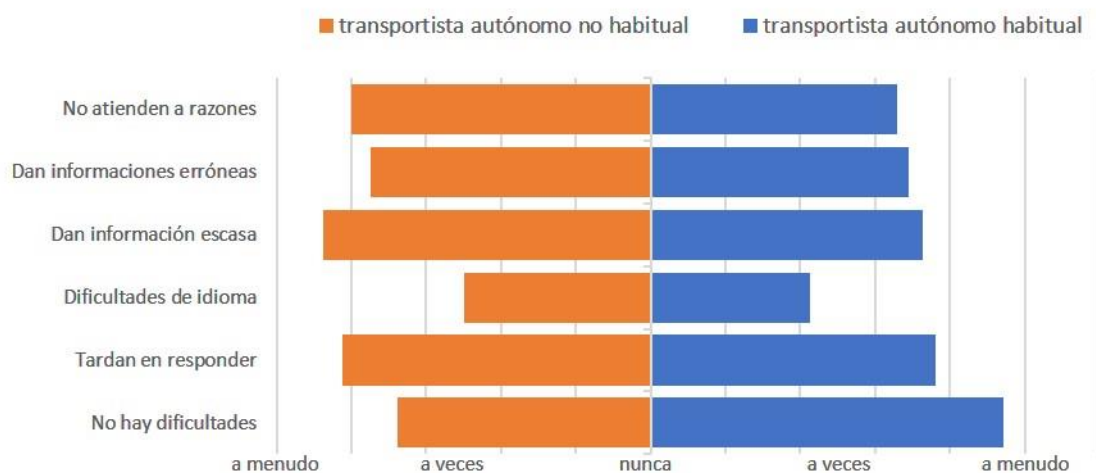


Figura 5.62. Valoración de dificultades en el establecimiento de comunicación entre los transportistas autónomos y sus clientes.

A pesar de la notable correlación en los resultados de los dos grupos, se aprecia una mención más explícita a problemas de comunicación por parte de los transportistas no habituales, en cuanto a

la cantidad de información recibida, al tiempo de respuesta y a la comprensión por parte de los clientes. Estos tres tipos de problemas se presentan a menudo, de acuerdo con la opinión de los encuestados de este grupo, mientras que la ausencia de dificultades de comunicación es lo más habitual entre los transportistas autónomos habituales.

7. Colaboración

Este último bloque se dedica a analizar las relaciones de colaboración de los encuestados en función de su ámbito territorial de procedencia. En él se plantearon dos únicas cuestiones a cada grupo de encuestados con la intención de contrastar las preferencias declaradas de los encuestados en cuanto a sus ámbitos territoriales de colaboración, es decir, sus elecciones hipotéticas, y sus preferencias reveladas, esto es, sus elecciones observadas (Ortúzar y Willumsen, 2011).

7.1. Ámbito territorial preferente

En primer lugar, se planteó a los encuestados que valoraran de 1 a 7 sus preferencias de colaboración con otras empresas del sector en función de su ámbito de procedencia (**preguntas O.E1** para operadores y **T.E1** para transportistas). Se realizaron los controles habituales de fiabilidad y solidez de los datos (consultar anexo) y se agruparon las respuestas para hacer más legibles los resultados. Las puntuaciones 1 y 2 se agruparon en el nivel “preferencia baja”, las puntuaciones 3, 4 y 5 en el nivel “preferencia moderada” y las puntuaciones 6 y 7 “alta preferencia”.

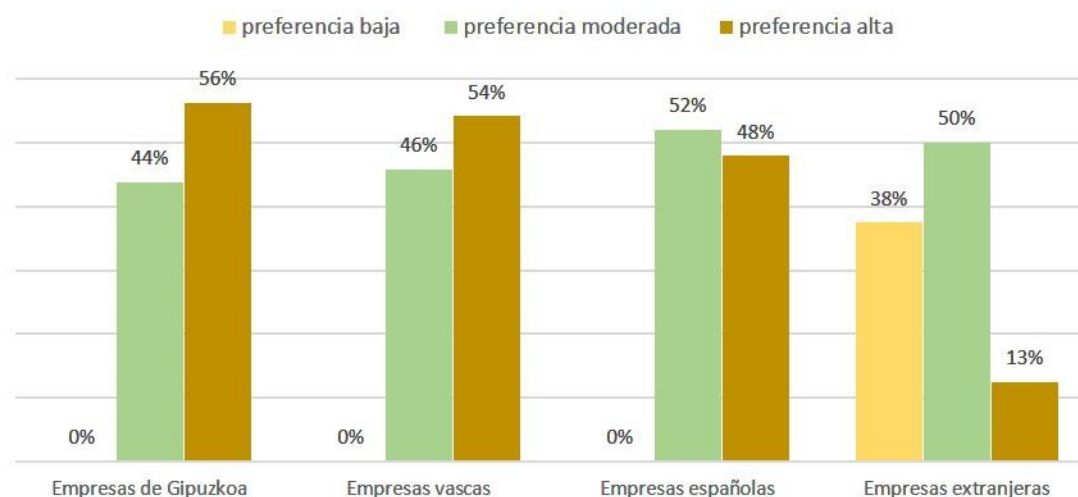


Figura 5.63. Preferencia de colaboración de los operadores de tráfico según el ámbito de procedencia del colaborador.

A la vista de la representación de los datos (figura 5.63) parece claro que la preferencia de colaboración de los operadores de tráfico es más alta cuanto mayor es la proximidad del potencial colaborador. Esta circunstancia contrasta con la evaluación de criterios de selección, donde “ser una empresa de la comarca o alrededores” era el criterio menos valorado por los operadores de tráfico a la hora de escoger un proveedor de transporte. Sin embargo, este hecho no indica necesariamente contradicción, ya que las preferencias indican únicamente intención o predisposición hacia una opción de colaboración por delante de otras alternativas. La comparación mediante prueba ANOVA de las medias de los tres tipos de empresa (agencias, empresas de transporte y transitarios) determinó que no existen diferencias significativas entre ellos, es decir, ningún tipo de empresa se decanta más que del resto por colaboradores de un ámbito de procedencia determinado.

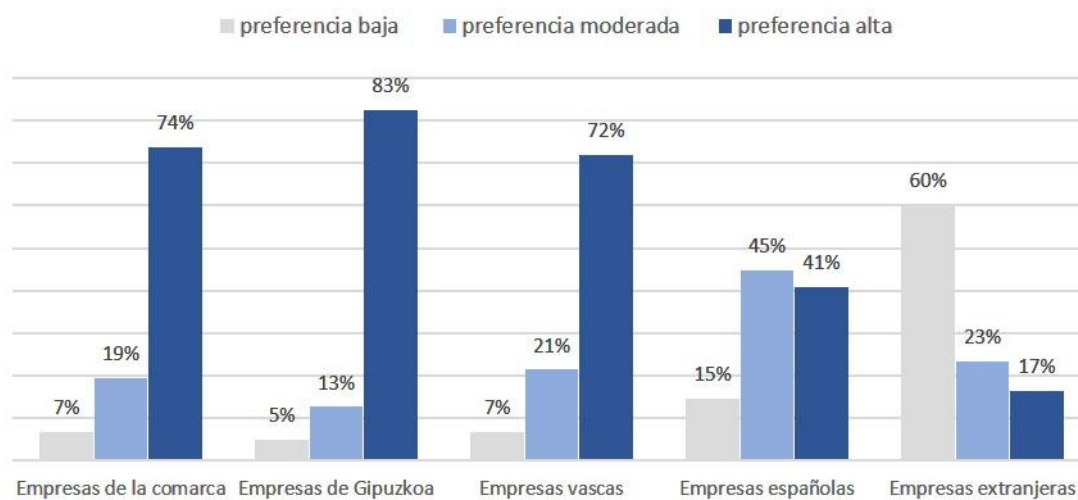


Figura 5.64. Preferencia de colaboración de los transportistas autónomos según el ámbito de procedencia del colaborador.

Por lo que respecta a los transportistas autónomos, la tendencia es similar a la de los operadores de tráfico si bien el nivel de “preferencia alta” es muy superior a los otros dos niveles en el caso de empresas del entorno, de Gipuzkoa y de Euskadi. También en este caso se realizó una comparación de medias entre transportistas autónomos habituales y no habituales, de donde se extrajo que no existen diferencias significativas en sus preferencias, salvo en el caso de las empresas españolas, por las que los transportistas autónomos habituales se decantan con mayor intensidad que los no habituales.

7.2. Colaboración entre empresas TMC y transportistas autónomos del entorno

En la segunda pregunta de este último bloque se trató de recabar información para comprender el comportamiento de las empresas del sector en nuestro ámbito territorial a través la colaboración que estas mantienen entre sí.

En ella se solicitó a los encuestados que facilitaran el nombre de empresas, transitarios y/o agencias de transporte del entorno Euskadi-Navarra-Aquitania con los que trabajan más habitualmente (**preguntas O.E2 y T.E2**). A los operadores de tráfico se les pidió entre cinco y diez nombres de empresas TMC colaboradoras, indicando además si esas empresas eran clientes o proveedoras de servicios de transporte. Por su parte, a los transportistas autónomos se les solicitó el nombre de entre una y cinco empresas TMC clientes.

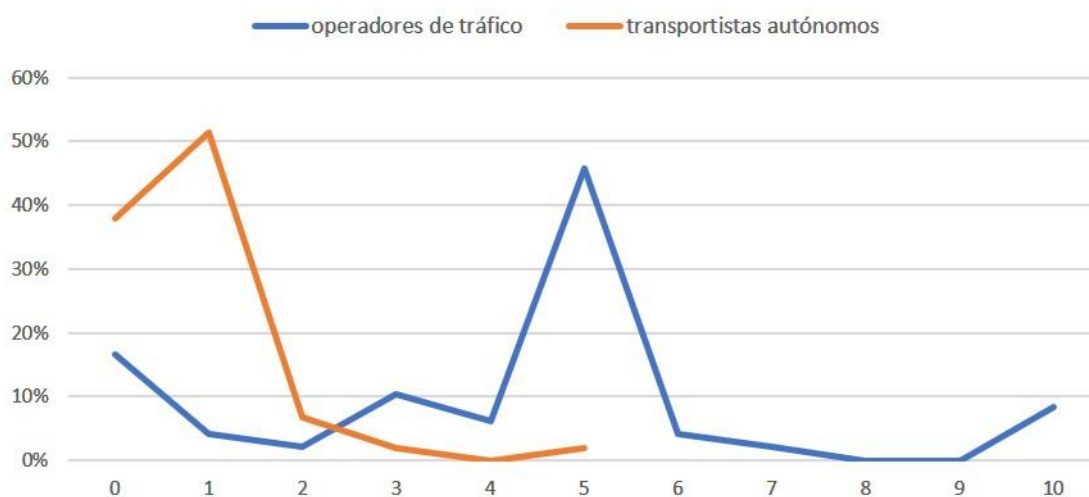


Figura 5.65. Niveles de respuesta a las preguntas O.E2 y T.E2.

En el momento de contestar a esta pregunta un porcentaje significativo de encuestados rechazó aportar nombres de colaboradores o clientes por cuestiones de confidencialidad. En otros casos los datos aportados no se correspondían con la información demandada. De tal modo, los nombres de empresas cargadoras u otras no pertenecientes al sector del transporte no fueron considerados. En conclusión, la tasa de respuestas no válidas fue de 17% para los operadores de tráfico y de 38% para los transportistas autónomos. En relación con las respuestas válidas, solo un 46% de los operadores aportó cinco nombres de empresas TMC colaboradoras, tal y como se solicitaba. En el lado de los transportistas, un 51% aportó un único nombre de empresa y un 11% amplió su respuesta entre dos y cinco nombres.

A partir de las respuestas recabadas es posible representar y analizar la conectividad del conjunto de empresas TMC del área DABB a través de un grafo, en el que cada empresa se muestra como un nodo y las relaciones entre ellas como flechas o arcos. Los datos que se ofrecen a continuación no tienen en cuenta los nodos (empresas) que no contestaron o los que dieron respuestas no válidas. En la figura 5.66 se representan las respuestas de los operadores de tráfico en un grafo formado por 130 nodos y 201 arcos: El 28,5% de los nodos se corresponde con las empresas encuestadas y el 71,5% son las empresas de transporte por carretera citadas por los operadores en sus respuestas. De las 130 empresas hay 90 (69,23%) fuertemente conectadas entre sí y solo 3 (2,31%) débilmente conectadas. El resto de empresas no está conectado a la componente gigante. El tamaño de los nodos hace referencia al grado de cada empresa, esto es, a la suma de las conexiones que cada nodo tiene como proveedor y como cliente. En relación con este aspecto

es reseñable la importancia que cobran los transitarios en el sistema, además de algunas empresas de transporte.

Otro dato importante es la longitud media de camino o la distancia media que separa una empresa de cualquier otra del sistema. En este grafo esa distancia es de 4,764, es decir, el número medio de nodos que separan a dos empresas del sistema. Otras medidas de centralidad del grafo se ofrecen en el Anexo. Finalmente, el grado medio es de 1,546, que resulta de dividir el número de conexiones (arcos) entre el número de empresas (nodos).

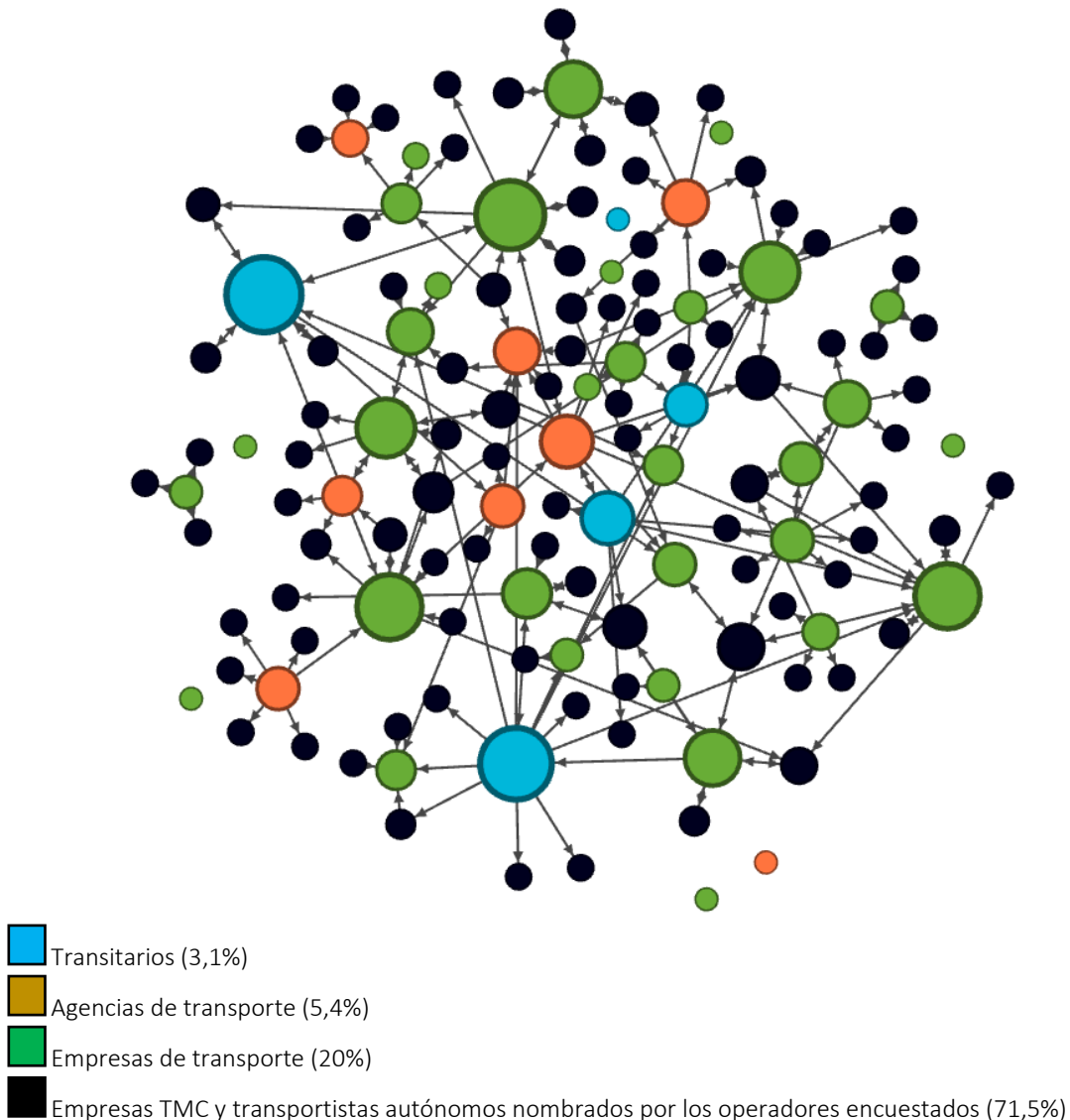


Figura 5.66. Conectividad entre empresas TMC del área DABB de acuerdo con las respuestas de los operadores de tráfico.

Una vez comprobada la fuerte conectividad del sistema formado por las empresas de TMC, se procede a añadir al grafo anterior a los transportistas autónomos junto con la información de sus colaboraciones recogida en la pregunta T.E2. El resultado se muestra en la figura 5.67, donde

podemos observar un número importante de nodos no conectados debido a la alta tasa de respuestas no válidas en el grupo de los transportistas autónomos (38%).

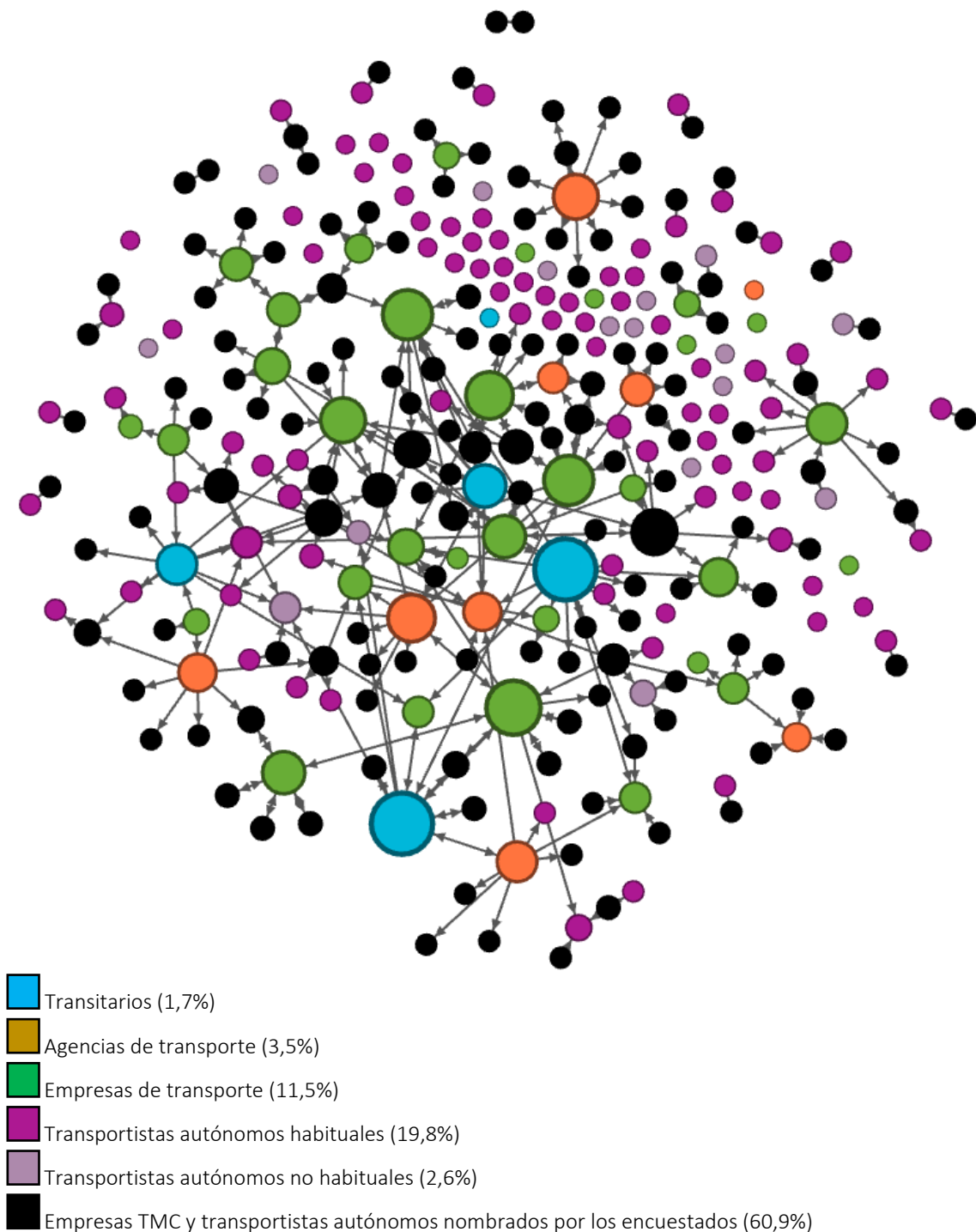


Figura 5.67. Conectividad entre empresas TMC y transportistas autónomos del área DABB de acuerdo con las respuestas de operadores de tráfico y transportistas autónomos.

A pesar de este hecho, la conectividad es considerable: El 56,36% de todas las empresas están conectadas entre sí en una componente gigante. El 83,5% de las aristas o relaciones entre empresas ocurren en este grupo gigante. El resto forma pequeños grupos o no forma parte de ninguno. Los nodos de color negro suponen el 60,9% del total de nodos (excluyendo las empresas que no contestaron y las que dieron respuestas no válidas) y representan, como en el grafo anterior, a empresas citadas por los encuestados de los dos grupos.

La longitud media de camino o distancia media entre dos empresas es ligeramente mayor que en el grafo precedente: 4,831, es decir, menos de 5 nodos de distancia de media entre una empresa y cualquier otra del sistema. El grado medio de este grafo es inferior al anterior, ya que la relación entre conexiones y empresas es de 297/233, obteniéndose un grado medio de 1,275. En lo que respecta a la estructura organizativa del sistema, aquí también se aprecia el peso de los transitarios en el conjunto de empresas, que incluso llega a aumentar respecto al grafo anterior por el mayor número de conexiones con los transportistas autónomos. Igualmente, en el Anexo se ofrecen métricos más detallados de este grafo.

En resumen, el nivel de cohesión y conectividad mostrado por el sistema de empresas es muy notable. Más aun, el hecho de que un número importante de encuestados manifestara reticencias a ofrecer los nombres de las empresas TMC con las que colaboran o a las que ofrecen servicios de transporte invita a pensar que en la realidad del día a día el nivel de conectividad del sistema es mucho mayor y que la longitud de camino medio entre empresas se reduce considerablemente. Finalmente, el otro aspecto a destacar es la organización jerárquica que se desprende de los grafos, donde los transitarios ocupan una posición de mayor rango, seguida de empresas y agencias de transporte.

8. Conclusiones

La complejidad es el rasgo que mejor define a los sistemas de transporte, ya sea a escala global, como es el caso del transporte aéreo, o a escala local, como es el sistema de transporte del área DABB. La base de esos complejos sistemas espaciales la constituyen las infraestructuras, terminales, modos y redes de transporte (Rodrigue *et al.*, 2017), elementos clave que, parafraseando a Bauman (2001), estructuran y compactan unos territorios en la misma medida que aíslan a otros. Sin embargo, el verdadero desencadenante de la complejidad es la interacción entre los diferentes agentes que conforman dichos sistemas. El caso analizado en este trabajo es uno de ellos, un sistema compuesto por empresas de diferentes tamaños y capacidades de acción, con distintos objetivos y ámbitos de actividad, pero todas formadas por individuos que toman decisiones diariamente y que voluntaria o involuntariamente transfieren información y conocimiento a sus colaboradores. De todo lo expuesto en las páginas precedentes pueden extraerse varias conclusiones de interés en relación con los objetivos señalados al comienzo.

El primer aspecto importante que se constata en esta investigación es una evidente necesidad de subcontratación de las empresas TMC para hacer frente a sus necesidades de servicios de transporte, incluso para aquellas empresas que gozan de medios propios. A partir de esta

interacción entre diferentes agentes se genera una interdependencia productiva, pese a que su estructura de relación y capacidad de decisión es a menudo ostensiblemente jerárquica, y en la cual los intercambios de información son preferentemente de par a par. Independientemente del tipo y de la cantidad de agentes que integren estas cadenas de subcontratación, el flujo de información que en ellas tiene lugar responde más a modelos de colaboración vertical, que buscan ante todo minimizar costes y optimizar recursos (Crujssen *et al.*, 2007) regidos aun por el esquema clásico “cliente-proveedor” en la transmisión de información, que a verdaderos sistemas de cooperación horizontal, en los que, a un nivel deseado, la información relevante se intercambia dentro de la red de empresas gracias a las relaciones de confianza entre ellas (Leitner *et al.*, 2011). Sin embargo, a pesar de la prevalencia del primer tipo de estructuras y modelos de colaboración, el sistema de transporte del área DABB presenta un tamaño y unas condiciones tales que permiten la flexibilización de sus estructuras de subcontratación y la adaptación a cambios en sus relaciones de cooperación entre proveedores de servicios de transporte y sistema productivo.

La segunda conclusión se refiere a los criterios de selección de proveedores y a las implicaciones que estos tienen en el sistema de transporte estudiado. Los datos recogidos demuestran que la base de las decisiones de subcontratación de los contratadores se sustenta más en aspectos relacionados con la confianza en el prestador del servicio de transporte que en la búsqueda de menores costos u otras ventajas competitivas. Por su parte, los proveedores de servicios de transporte conocen las necesidades de sus clientes y priorizan la confianza de estos en su profesionalidad, contenida en aspectos tales como la seguridad, el equipamiento, la disponibilidad o la comunicación. Esta circunstancia puede ser interpretada como la consolidación de un nivel de madurez del sistema, donde la colaboración tiene lugar gracias a las relaciones de confianza mutua entre agentes. En este sentido, los altos niveles de confianza entre colaboradores influyen positivamente en el intercambio de información a un nivel particular, pudiendo facilitar además la evolución hacia una confianza de sistema y hacia procesos de comunicación abiertos (Kreuels, 2018). Este es, sin duda, el escenario más favorable para la colaboración en un entorno dinámico como el sistema de transporte del área DABB, cuya implementación podría dar lugar a un mayor aprovechamiento de sus externalidades.

Un tercer aspecto que destacar es el modo en que tiene lugar el proceso de creación de valor dentro del sistema de transporte. Se consideraron cuatro factores como los más determinantes en la creación y transmisión de conocimiento: Motivación, experiencia y procesos comunicativos como factores positivos, y saturación de trabajo como factor negativo. Todos ellos fueron mayoritariamente valorados como muy importantes en la dinámica operativa diaria, tanto por operadores de tráfico como por transportistas autónomos. En concreto, la alta valoración de la motivación por los dos grupos es especialmente crucial, ya que en ella interviene positivamente la cohesión grupal, promoviéndose así la transferencia de conocimiento entre compañeros (Reagans y McEvily, 2003). Por otro lado, el valor de la acumulación compartida de experiencia, más valorada por los transportistas que por los operadores, reside en que permite a las organizaciones desarrollar mayores capacidades colaborativas (Phelps *et al.*, 2012). Dicha acumulación de experiencia está estrechamente relacionada con la mejora de las rutinas procedimentales y procesos comunicativos entre los actores implicados en las operaciones de transporte, lo que aumenta las posibilidades de compartir nuevo conocimiento. Por último, la

desigual valoración de la saturación de trabajo en los dos grupos matiza el impacto negativo de este factor en el proceso de creación de valor, si bien es innegable su presencia en la realidad cotidiana del TMC. Como consecuencia de todo lo anterior se concluye que los factores positivos mencionados promueven el aprendizaje organizacional, entendido como un proceso continuo en el que la experiencia alimenta el conocimiento y este a su vez mejora procedimientos organizativos dentro de un contexto de actividad determinado (Argote y Miron-Spektor, 2011), como es el sector del transporte.

En cuarto lugar, la consideración del factor geográfico como elemento de cohesión del sistema ha sido analizada transversalmente en varios apartados de este trabajo. La concentración espacial de la actividad de transporte en un espacio tan reducido como el área DABB constituye una oportunidad para la generación de ventajas competitivas mediante la estrecha cooperación entre agentes del sector e instituciones, en lo que la literatura especializada viene a denominar como *clústeres logísticos* (Abushaikha, 2018; Eng, 2016). Sin embargo, en dichos clústeres la mera proximidad geográfica no actúa como catalizador de dichas relaciones colaborativas si previamente no existen elementos como una comunión de intereses entre los integrantes del sector, un compromiso de transferencia de conocimiento (Lei y Huang, 2014) o la interacción positiva con el territorio y su comunidad social (Kramer y Porter, 2011). En este sentido, la opinión mostrada por los encuestados en el punto 4 respecto a la selección y subcontratación de empresas TMC y/o transportistas autónomos de su entorno próximo contrasta con sus preferencias de colaboración según el ámbito geográfico expresadas en el punto 7. Este resultado aparentemente contradictorio, no obstante, podría deberse a la consideración del factor proximidad como un elemento tácitamente presente en sus operaciones diarias, por lo que no sería tomado en cuenta como un criterio decisivo en las decisiones de subcontratación.

Así, los datos sobre colaboración explícita representados en las figuras 5.66 y 5.67 apoyan esta interpretación al evidenciar la existencia de una densa red de flujos y relaciones entre los agentes del área DABB, que se reconstruye diariamente sobre la base de la confianza y la acumulación de experiencia y conocimiento, y cuyo valor reside en la voluntad y el trabajo de los individuos que la componen. Considerando todo lo anterior, puede concluirse que las características del sistema de transporte del área DABB permiten definirlo como un clúster logístico que, si bien, debe desarrollar su identidad propia mediante el aprovechamiento de sus fortalezas internas y sus externalidades, con el fin de reforzarse ante los retos que plantea un futuro cada vez más impredecible. Pese a ello, no hay duda de que a escala global el transporte seguirá ocupando un lugar central en la articulación socioeconómica de los territorios, y que a escala regional el área DABB seguirá manteniendo una posición estratégica preferente en el marco de los ejes de comunicación europeos.

Por último, esta encuesta debe ser únicamente el punto de partida para posteriores estudios específicos alrededor de los sistemas de transporte. En esa línea, la fusión de intereses entre instituciones públicas y privadas, el mundo empresarial y la universidad resulta decisiva. Hoy en día la investigación científica está en disposición de aportar nuevo conocimiento en relación con las dinámicas internas que rigen la evolución del sector y su acomodación a las corrientes dominantes en la lógica del capitalismo global. En este sentido, el presente estudio ha pretendido contribuir a su desarrollo e innovación mediante el uso de un instrumento de medición, como es

la encuesta TRANSOPE, y el posterior análisis y publicación de sus resultados. Sin embargo, la validez de este trabajo cobrará sentido en la medida en que este instrumento sea mejorado y empleado con cierta periodicidad, con el fin de recoger y analizar evidencias más precisas sobre la evolución del sector TMC.

Capítulo 6. Formación de redes y clústeres logísticos: análisis del modelo

CAPÍTULO 6. FORMACIÓN DE REDES Y CLÚSTERES LOGÍSTICOS: ANÁLISIS DEL MODELO

1. Introducción

El modelo TRANSOPE fue presentado en la sección anterior en respuesta a la necesidad de comprender la complejidad de los sistemas TMC locales y predecir su evolución. Dicha complejidad, en palabras de Crooks *et al.* (2019), “surge cuando un pequeño número de reglas o leyes, aplicadas a un nivel local y entre varias entidades, es capaz de generar fenómenos complejos globales” (p. 2). De acuerdo con esta óptica, en este estudio la modelización de lo local a través de los comportamientos, prácticas e interacciones entre agentes en un espacio determinado se observa como un intento de acercamiento a las particularidades de los sistemas TMC y a la complejidad de su dinámica. El valor de la simulación de sistemas complejos como el que aquí se analiza, por otro lado, estriba en su capacidad para representar el modo en que un proceso local genera algún tipo de orden global (Batty y Torrens, 2001), posibilitando así la demandada vinculación entre lo particular y lo general en la geografía del transporte (Schwanen, 2016).

Con el fin de explorar el comportamiento del sistema TMC ante diferentes circunstancias y situaciones posibles, la implementación del modelo se desarrolló en nueve escenarios diferenciados, realizándose un número calculado de repeticiones por cada uno de ellos para reducir el sesgo de aleatoriedad. De tal modo, la puesta en marcha de las simulaciones del sistema TMC arrojó una cantidad ingente de lecturas que necesitaron ser primeramente depuradas y ordenadas antes de ser analizadas. Fundamentalmente, el modelo genera dos tipos de datos: datos de la red y datos espaciales. En el primer caso, el conjunto de datos se ordena como un grafo dirigido dinámico (G) formado por nodos (V) y arcos (E) en una secuencia $t_n = t_{n-1} + 1$, que registra la actualización de los atributos de todos los elementos de la red para cada momento de la secuencia. En el segundo caso, el espacio en el que se desarrolla el modelo está formado por 1641 celdas o unidades espaciales que forman una malla 41×41 , registrándose las lecturas de cada unidad espacial únicamente al término de cada simulación. Todos los conjuntos de datos se procesaron y analizaron principalmente en la plataforma Rstudio mediante la ejecución de scripts diseñados específicamente para cada situación concreta.

Finalmente, esta sección se estructura de la siguiente manera: en la primera parte se establecen los criterios de distribución de los agentes en el espacio de estudio y los parámetros de los distintos escenarios de análisis, así como una descripción del desarrollo del experimento; en el punto tres se analizan los resultados de la actividad dentro del sistema TMC, por un lado, y la formación de clústeres en relación con la difusión del conocimiento, por otra; finalmente, el punto cuatro recoge las conclusiones e ideas generales.

2. Simulando la subcontratación en operaciones TMC

La construcción de modelos en Geografía humana tiene una finalidad principal, que no es otra que la de simular aquellos fenómenos que son producto de la interacción entre los individuos y su entorno. Para ello, ciertos parámetros y ajustes de salida deben ser dispuestos con arreglo a los objetivos de la investigación. En las siguientes líneas detallaremos estos ajustes.

2.1. Distribución espacial de los agentes.

Como se ha visto en el capítulo anterior, para realizar las simulaciones del modelo se partió de la base de un espacio isotrópico dividido en cuatro zonas o regiones, en las que los agentes se distribuyeron aleatoriamente gracias a la función *random* del programa Netlogo. Sin embargo, con el fin de mantener cierto equilibrio interregional se dispuso que los operadores logísticos fueran distribuidos de modo equitativo entre las cuatro zonas conforme a su área. De tal modo, la distribución de agentes quedó de la siguiente forma:

Tabla 6.1. Distribución de los agentes por zonas geográficas.

	<i>Operadores logísticos</i>	<i>Empresas de transporte</i>	<i>Transportistas autónomos</i>	<i>TOTAL</i>	<i>Densidad (agentes/km²)</i>
Zona cyan	2	8	20	30	7.5
Zona magenta	3	9	23	35	7.64
Zona gris	3	11	21	35	8.01
Zona verde	2	12	16	30	9.8
TOTAL	10	40	80	130	8.13

La ubicación geográfica de todos los agentes en el modelo está referida a su *razón social*. En el caso de los operadores logísticos y de las empresas de transporte esta se corresponde con la ubicación de un establecimiento empresarial. En el caso de los transportistas autónomos no es habitual que posean instalaciones empresariales más allá del vehículo de transporte, por lo que la razón social suele ser la propia vivienda.

Cada tipo de agente se representa con un icono diferente. Tal como se muestra en la siguiente figura, las cadenas de subcontratación de transporte (CST) se forman siempre del mismo modo, desde el operador logístico a la empresa de transporte, y de esta al transportista autónomo.

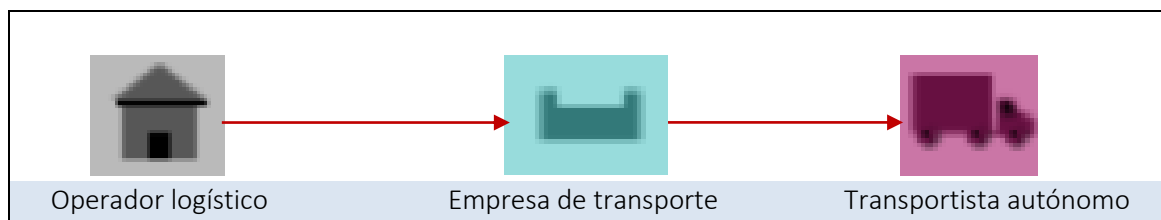


Figura 6.1. Representación de una CST integrada por los tres tipos de agente en TRANSOPE.

En la figura 6.2 se muestra la distribución espacial de los agentes distribuidos en las cuatro zonas geográficas. En ella puede observarse la CST inicial, formada por tres agentes de color amarillo unidos entre sí por arcos o links. La distribución se mantiene invariable para todas las simulaciones y todos los escenarios de análisis.

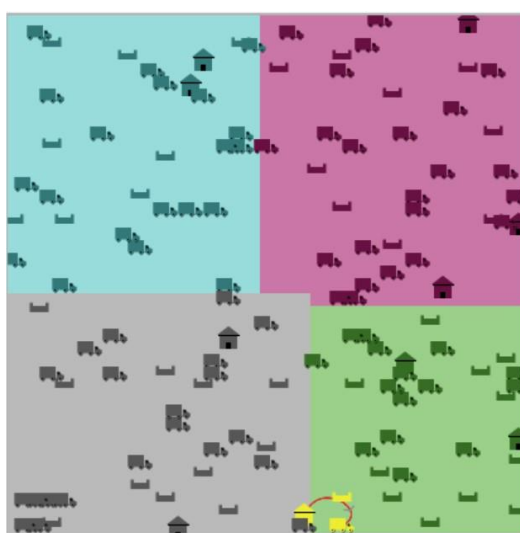


Figura 6.2. Distribución de los agentes en TRANSOPE durante todas las simulaciones.

Por último, la disposición de los agentes sobre el territorio evidencia la ausencia de patrones de concentración o clusterización, las cuales podrían producir un sesgo en el establecimiento de relaciones de colaboración. Sin embargo, pueden apreciarse las pequeñas diferencias de densidad entre las cuatro zonas geográficas comentadas en la tabla 6.1. Estas variaciones fueron provocadas intencionadamente al construir un modelo de distribución de agentes en cuatro áreas de desigual superficie, más próximo a la realidad del área de estudio en la que se basa dicho modelo.

2.2. Escenarios de análisis

Con el fin de analizar el comportamiento del modelo y las estructuras resultantes de la formación de CST, se confeccionaron diferentes escenarios que pudieran tener lugar en un entorno real.

Para ello se tomaron como referencia los datos obtenidos en la encuesta TRANSOPE a profesionales del transporte de mercancía por carretera de Gipuzkoa (Salas-Peña, 2021). Se asignaron valores diferentes a las variables fundamentales en el desarrollo del experimento. Estas variables son la longitud de las cadenas de subcontratación de transporte (CST), la distancia entre zonas o áreas (δ), la situación del mercado de transporte (SMT), los kilómetros por viaje (OD) y el nivel de transferencia de conocimiento (kt).

La combinación de estos valores para cada variable da como resultado ocho escenarios distintos (escenarios del 1 al 8). Además, se creó un escenario más que sirviera como referencia para todos los anteriores (escenario 0). Este escenario representa, por un lado, condiciones de equilibrio entre oferta y demanda de servicios de transporte y, por otro, se desarrolla en una sola región dado que no existe distancia entre áreas. Además, en el escenario 0 la transferencia de conocimiento es 0.5, lo que significa que una unidad espacial solo transfiere a su entorno la mitad del aprendizaje que ha recibido:

Tabla 6.2. Detalle de los nueve escenarios recreados en el modelo.

	<i>CST</i>	δ	<i>SMT</i>	<i>OD</i>	<i>kt</i>
Escenario 0	3 agentes	0 km	1	150 km	0.5
Escenario 1	3 agentes	5 km	0.5	150 km	0.2
Escenario 2	3 agentes	5 km	0.5	150 km	0.8
Escenario 3	3 agentes	5 km	1.5	150 km	0.2
Escenario 4	3 agentes	5 km	1.5	150 km	0.8
Escenario 5	3 agentes	25 km	0.5	150 km	0.2
Escenario 6	3 agentes	25 km	0.5	150 km	0.8
Escenario 7	3 agentes	25 km	1.5	150 km	0.2
Escenario 8	3 agentes	25 km	1.5	150 km	0.8

La elección de los valores para cada una de las variables se justifica a continuación:

- En TRANSOPE las CST pueden componerse de 3 o de 4 agentes, tal y como muestra la figura 4.3. La implicación de más agentes en la CST conlleva una mayor distribución del conocimiento en el territorio, aunque ello supondrá a su vez un precio de transporte más ajustado para el último eslabón de la cadena. Al ser el tipo de estructura más abundante, la estructura con 3 agentes se considera como el tipo de CST preferente en un escenario normal.

- Como se ha visto más arriba, el territorio en TRANSOPE consta de cuatro zonas que pueden estar separadas desde 0 a 40 kilómetros unas de otras. Este parámetro se fija al inicio de la simulación por medio de un deslizador. El objetivo de este parámetro es descubrir de qué manera influye la distancia en el comportamiento de los agentes en el momento de colaborar entre sí. Por ello, para este parámetro se consideran los valores $\delta\{5,25\}$.
- Del mismo modo, se plantean dos escenarios respecto a la situación del mercado del transporte equidistantes al punto de equilibrio $SMT = 1$, en el que la oferta de servicios de transporte se ajusta a la demanda. Los valores de estos dos escenarios son $SMT\{0.5,1.5\}$, que se corresponden, en el primer caso, con una situación de mayor oferta de servicios de transporte que demanda real, y en el segundo caso, mayor demanda que oferta.
- En lo que respecta a los km OD, el modelo pretende representar un tipo de servicios de transporte de mercancías generales con desplazamientos de corta distancia. Este tipo de transportes puede oscilar por término medio entre 100 y 200 km OD, con su consiguiente tramo de retorno al punto de partida. Para evitar un número demasiado elevado de escenarios de análisis se plantea un valor medio único consistente en $OD\{150\}$, que implica un retorno del mismo kilometraje y, teniendo en cuenta el máximo realizable estimado de 600 kilómetros diarios, un máximo de dos viajes diarios para cada TA.
- El nivel de transferencia de conocimiento kt oscila entre los valores 0 y 1, lo que significa que una unidad espacial o patch es capaz de transferir entre el 0 y el 100% de su conocimiento acumulado basado en la experiencia y el aprendizaje de los agentes de su entorno. De tal manera, se plantean dos escenarios en los que la transferencia de conocimiento adquiere los valores $kt\{0.2,0.8\}$, que servirán para comparar el efecto de dichos diferentes niveles de aprendizaje en la formación de los clústeres logísticos.

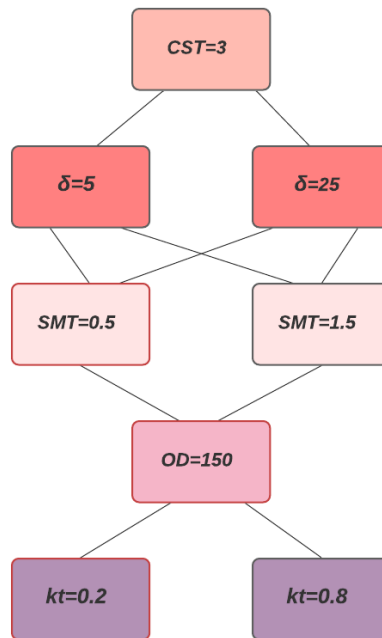


Figura 6.3. Esquema de los parámetros y valores de los escenarios.

Por último, es necesario señalar que la elección de más valores para cada una de las variables utilizadas hubiera ampliado enormemente el número de escenarios. A pesar de ello, la posibilidad de investigar el comportamiento de las CST combinando otros valores e incluso utilizando otras variables no se descarta en posteriores ampliaciones de este trabajo.

2.3. Ajustes de salida

Antes de poner en marcha las simulaciones existen una serie de parámetros cuyos valores se fundamentan tanto en estadísticas oficiales como en los datos recabados por la encuesta y la opinión de expertos. Se trata de aspectos del modelo que permanecerán invariables durante todas las simulaciones y que, por tanto, merecen ser ajustados conforme a criterios de fiabilidad extraídos de la realidad.

- *Número de agentes*: El primero de estos ajustes se refiere al número de agentes de cada tipo. La falta de directorios oficiales de empresas dedicadas al TMC con los que poder determinar una proporción entre los tres tipos de agentes hizo necesario el recurso a otro tipo de fuentes. En este caso, los registros proporcionados por *Fundación Guitrans Fundazioa*, entidad sin ánimo de lucro dedicada al desarrollo y la innovación del sector en la provincia de Gipuzkoa (Comunidad Autónoma Vasca), aportan una información de enorme valor para determinar el número de agentes adecuado según su tipo.

Para establecer una proporción adecuada, sobre un total de 569 empresas se descartaron en primer lugar aquellas no localizadas en la provincia de Gipuzkoa. A continuación, se identificó a aquellas empresas con autorización de operador de transporte, que habilita la posibilidad de subcontratar a otras ET. Algunas de estas empresas, catalogadas como OL, también poseen capacidad de transporte por medios propios, con lo que en su caso pueden ser consideradas ET. Así, estas últimas se suman a las ET sin licencia de operador de transporte. Finalmente, los transportistas autónomos son fácilmente computables por medio de su código de identificación fiscal (CIF).

Tabla 6.3. Proporción de agentes según su tipo.

	OL	ET	TA
<i>Datos de Gipuzkoa</i>	44	191	329
<i>Proporción</i>	1	4,34	7,47
<i>Número de agentes en TRANSOPE</i>	10	40	80

La proporción resultante entre los tres tipos de agentes es aproximadamente 1-4-8. Esta proporción sirvió para establecer el número de agentes que debía tomar parte en las simulaciones. Como queda señalado en la tabla 6.3, este número quedó fijado en 10 operadores logísticos, 40 empresas de transporte y 80 transportistas autónomos. En todas las simulaciones se mantuvo esta misma proporción.

- *Valores de aptitud*: Los valores iniciales correspondientes a los atributos de aptitud de los agentes proceden de la encuesta realizada en 2019 a los profesionales de TMC radicados en el área de estudio. En dicha encuesta los demandantes de servicios TMC valoraron la importancia de dichas aptitudes tomadas como criterios de selección de proveedores de servicios de transporte.

Tabla 6.4. Relación entre las variables de aptitud.

	Competitividad	Confianza	Disponibilidad
<i>F (max. competitividad)</i>	1	0,82	0,79
<i>F (max. confianza)</i>	0,78	1	0,80
<i>F (max. disponibilidad)</i>	0,82	0,86	1

En la tabla 6.4 se relacionan las variables entre sí en función de la máxima exigencia de cada una de ellas. Según la valoración de los encuestados, la confianza se valora por encima de la competitividad y la disponibilidad. Estos valores constituyen los parámetros de salida para cada aptitud, si bien posteriormente se introduce la aleatoriedad señalada en las fórmulas 4.1, 4.7 y 4.12.

- *Precios y costes*: El acceso a fuentes de datos que permitan los ajustes relativos a los parámetros económicos no es sencillo. Existen aproximaciones facilitadas por organismos públicos como el Ministerio de Fomento o el Departamento de Desarrollo Económico e Infraestructuras del Gobierno Vasco, mediante observatorios de precios y herramientas de simulación de costes. Sin embargo, los ajustes que aquí se detallan son el resultado de una consulta a expertos, en su mayoría gerentes o responsables de empresas de transporte y transportistas autónomos, cuyos valores fueron promediados y cotejados con las estimaciones ofrecidas por los observatorios de precios y costes del transporte.
- *Número de operaciones*: La cantidad de operaciones depende de la situación del mercado de transporte, de la distancia de los viajes a realizar y de la cantidad de agentes TA. Se establece como punto de partida que, en una situación de equilibrio ($SMT=1$), cada TA debe poder realizar al menos un transporte diario. De tal modo, la relación de estos elementos queda fijada del modo siguiente,

$$O_{day_i} = 1 + n_{(TA)} \frac{K_{max}}{km} \cdot \frac{SMT}{2n_{(OD+DO)}} \quad (6.1)$$

donde O_{day_i} son las operaciones de transporte de un día, K_{max} es la distancia máxima que puede realizar un TA en un día de trabajo, estimada en 600 km (consultar punto 3.2.3 del capítulo 4), km es la distancia del viaje a realizar, $n_{(TA)}$ es el número de transportistas autónomos en total y $n_{(OD+DO)}$ es el número de trayectos que realiza cada TA hasta volver a estar disponible, es decir, un trayecto de origen a destino (OD) y otro de retorno (DO). En la tabla 6.5 se detallan la cantidad de operaciones disponibles cada día de la simulación en función de la situación del mercado de transporte y de los ajustes ya prefijados.

Tabla 6.5. Operaciones diarias según la situación del mercado de transporte.

<i>SMT</i>	<i>Descripción</i>	<i>Operaciones por día</i>	<i>Operaciones en 5 días</i>	<i>Escenarios</i>
0.5	Mayor cantidad de TA que de operaciones de transporte a realizar	41	205	1, 2, 5, 6
1	Equilibrio entre TA y operaciones de transporte a realizar	81	405	0
1.5	Mayor cantidad de operaciones de transporte a realizar que de TA	121	605	3, 4, 7, 8

Así, para $TA = 80$ y $km = 150$, las operaciones diarias varían entre 41 y 121 dependiendo del escenario del que se trate.

2.4. Descripción del experimento

Como se ha visto anteriormente, el modelo TRANSOPE simula la formación de cadenas de subcontratación de transporte en un entorno geográfico dividido en cuatro zonas o áreas. La actividad de los agentes depende de si toman parte o no en dichas cadenas. De tal modo, existen únicamente dos posibilidades de participación: subcontratar o ser subcontratado. Dada la organización jerárquica de las CST, solo los OL y las ET pueden subcontratar, y solo las ET y los TA pueden ser subcontratados.

Una simulación en TRANSOPE consiste en la formación de todas las CST necesarias para realizar los envíos previstos para una semana hábil de cinco días. En la figura 6.4 puede observarse la evolución de una simulación de principio a fin. A medida que avanza la simulación algunos arcos van ganando peso por tratarse de elecciones preferenciales, lo cual se simboliza con un trazo más grueso.

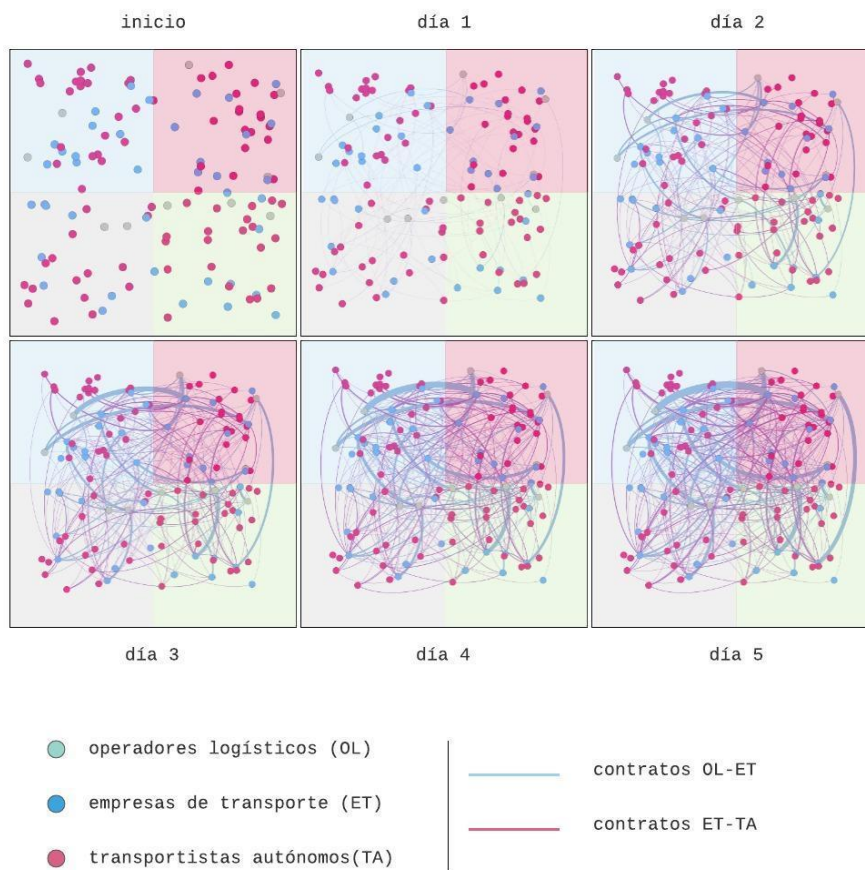


Figura 6.4. Fases de desarrollo del grafo resultante de cada simulación.

Dadas las diferentes situaciones del mercado de transporte (SMT) contempladas en el modelo, las operaciones a realizar varían en función de este. De tal manera, una situación de $SMT=0.5$, en la que existe una menor cantidad de transportes a realizar por motivos diversos, tendrá como resultado que cada día se generen únicamente 41 operaciones, de acuerdo con la expresión 6.1 recogida en los ajustes de salida descritos anteriormente. De tal modo, cada grafo resultante de cada simulación tendrá un tamaño acorde con el valor de esta variable.

Tabla 6.6. Operaciones y contratos según la situación del mercado del transporte.

<i>SMT</i>	<i>operaciones diarias</i>	<i>operaciones en una semana</i>	<i>Total de contratos/semana</i>
0.5	41	205	410
1	81	405	810
1.5	121	605	1210

En la tabla 6.6 se indican las operaciones diarias, las operaciones semanales y los contratos por semana, ya que en cada operación genera una CST que implica dos contratos, uno entre el OL y la ET, y otro entre la ET y el TA.

2.4.1. Repeticiones

Por otro lado, las simulaciones de contrataciones en cada escenario requieren un número necesario de repeticiones para minimizar el sesgo por aleatoriedad del experimento. Este número fue calculado mediante un método de contraste de hipótesis. Recordamos la hipótesis número 1 expresada en el capítulo 1:

- H_0 : No hay diferencias de participación de los agentes en las CST
- H_1 : Los agentes participan de una manera desigual en las CST

Teniendo en cuenta que tanto el objeto de estudio como el modelo TRANSOPE son inéditos y, por tanto, la investigación carece de referentes previos en la literatura especializada, se aplicó la fórmula propuesta para casos similares en Lozano-Rivas (2011),

$$n = \frac{(W - W^2) \cdot (Z_\beta + 1.4 \cdot Z_\alpha)^2}{W^2} \quad (6.2)$$

donde n es el número de observaciones, Z_α es el valor del nivel de confianza, Z_β es el valor de poder estadístico y W es el rendimiento mínimo esperado en función de H_1 . El nivel de confianza fue fijado en 95%, el nivel de poder estadístico en 90% y el rendimiento mínimo esperado en un 50%. De acuerdo con este último parámetro se espera que al menos la mitad de los agentes muestren diferencias significativas en su participación en las CST respecto al promedio del conjunto.

La aplicación de la fórmula según los parámetros mencionados fija en 16 el número de repeticiones mínimas a realizar en cada escenario. No obstante, con el fin de asegurar una mayor fiabilidad de los resultados el número de repeticiones quedó establecido en 30.

2.4.2. Puesta en marcha

Una vez indicados todos los valores en los controles de las variables y establecido el número de repeticiones el modelo puede ser puesto en marcha. En las dos siguientes figuras se muestra la interfaz del modelo TRANSOPE al inicio de una simulación con valores del escenario 0 y al término de la misma. En el centro se sitúa el espacio de análisis en el que interactúan los agentes y a ambos lados de este se encuentran los controles de diseño del modelo y los outputs o resultados que genera.

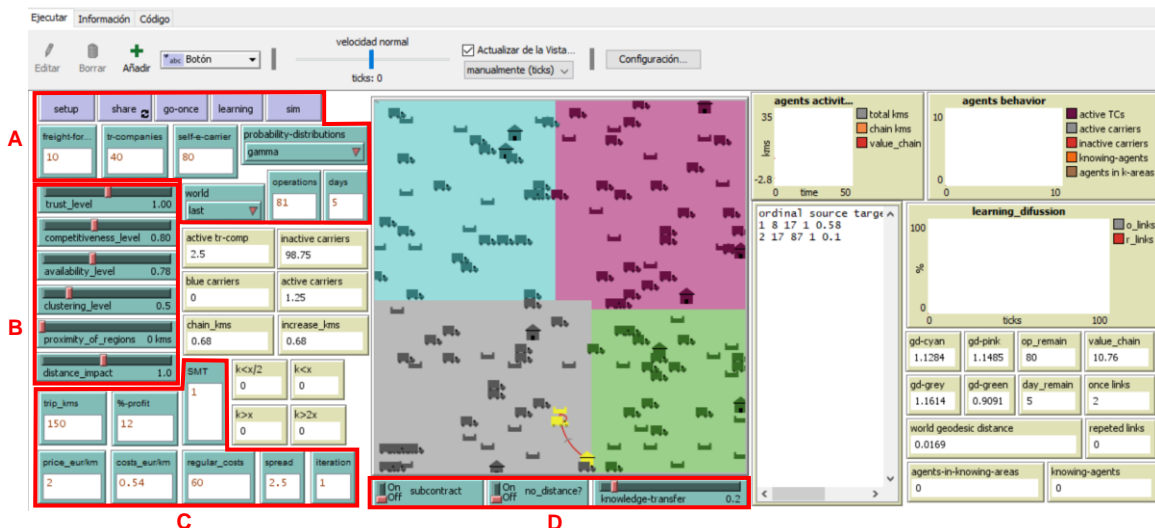


Figura 6.5. Interfaz en TRANSOPE al inicio de una simulación.

- **controles**

El paso previo a la puesta en marcha de la simulación consiste en la configuración y el ajuste de los controles. A continuación, se detallan sus funciones y características:

A- En la zona superior izquierda se localizan los diferentes botones de configuración y puesta en marcha de la simulación. Debajo de ellos se encuentran las entradas donde se indica el número de agentes que tomarán parte (10 operadores logísticos, 40 empresas de transporte y 80 transportistas autónomos), el número de días (5) y las operaciones que habrán de realizarse (81) en función de la SMT (1). El selector “world” permite mantener la misma distribución de agentes (last) en el espacio para todas las simulaciones. Por último, el selector “probability-distributions” asigna valores a las variables de aptitud de los agentes utilizando una distribución de probabilidad gamma con el fin de introducir variabilidad entre los agentes, tal y como se describe en el punto 3.2.3. del capítulo 4.

B- Aquí se determinan los valores de las variables de aptitud de los agentes (confianza, competitividad y disponibilidad) mediante deslizadores. El cálculo de estos valores está detallado en el punto 3.2.3. del capítulo 4. Además, otros tres deslizadores se calibran en este bloque: El “clustering-level” (0.5) señala el nivel de sombreado de las zonas con mayor transferencia de conocimiento, “proximity_of_regions” indica la distancia entre las cuatro áreas en función del escenario, y, finalmente, “distance_impact” permite la minimización o acentuación del factor distancia en la selección de proveedores. Al ser igual a 1 el factor distancia no sufre modificación.

C- En este bloque se introducen los valores relativos al transporte: En “Trip_kms” se señalan los kilómetros OD del transporte a realizar (150 km), en “price_eur/km” se anota el precio por kilómetro de salida que percibe el OL (2 eur), en “%-profit” se indica el margen de beneficio de los agentes que participarán en la CST (12%) siempre a partir del precio de salida, en “costs_eur/km” se señalan los costes por kilómetro derivados de la actividad del transportista (0.54 eur/km) y en “regular_costs” se indican sus costes fijos por cada transporte (60 eur), en

“spread” se determina el radio de difusión en la transferencia de conocimiento (2.5 equivale a 250 metros) e “iteration” es un contador que recoge el número de repetición de cada simulación. Por último, en “SMT” se introduce el estado del mercado de transporte, donde los valores por debajo de 1 indican menor oferta de transporte y los valores mayores que 1 significan más oferta, y, por lo tanto, mayor necesidad de vehículos. Respecto a este parámetro, recordamos que en los escenarios planteados en nuestra simulación se consideran únicamente tres situaciones: $SMT \{0.5, 1.5\}$.

D- Debajo del espacio de análisis o mundo está el interruptor “subcontract” en el que podemos indicar que la CST pase de 3 a 4 agentes (un OL, dos ET y un TA). El interruptor “no_distance?” permite anular la distancia como criterio de selección de proveedores, y mediante el deslizador “knowledge-transfer” se indica la cantidad de conocimiento que se transfiere (0.2 equivale a decir que el 20% del conocimiento adquirido se transfiere a un área de radio “spread”).

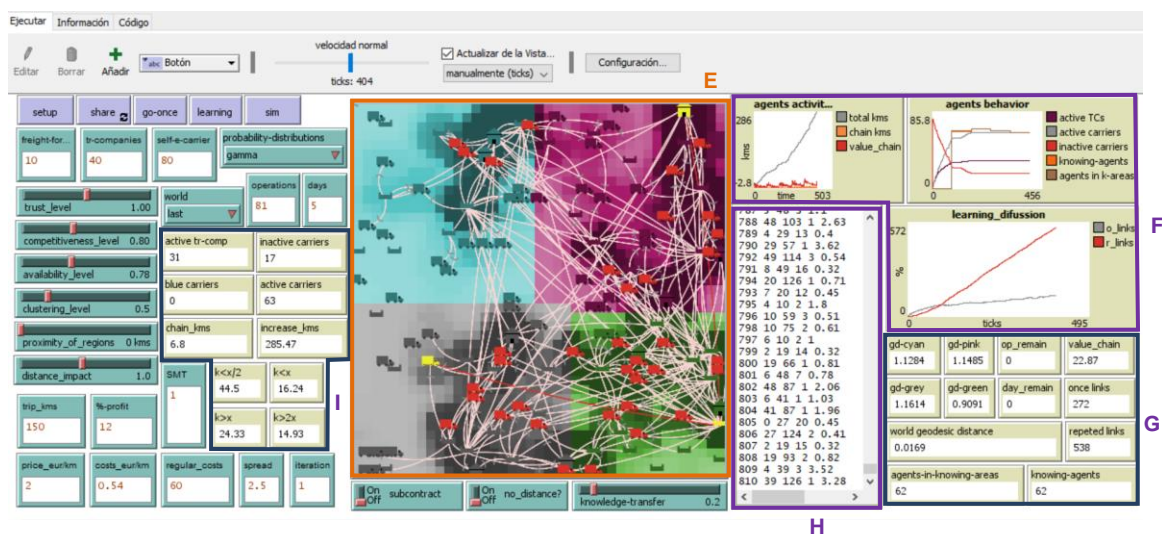


Figura 6.6. Interfaz en TRANSOPE al término de una simulación.

- espacio de análisis

El “mundo” en Netlogo (E) es el espacio en el que interactúan los agentes del sistema de transporte entre sí y con el territorio que ocupan en el transcurso de cada simulación. Al término de estas se generan dos tipos de resultados: El primero consiste en un grafo dinámico formado por nodos (agentes) y arcos (contrataciones), y el segundo es un mapa de densidades relativo a la concentración de actividad y la transferencia de conocimiento. Ambos resultados generan conjuntos de datos que se recogen en archivos “.csv”.

- **outputs o resultados**

El modelo cuenta con gráficos, monitores y ventanas que ofrecen la evolución de la simulación considerada en múltiples aspectos. Al finalizar la simulación todos los resultados se recogen en archivos “.csv” para su posterior análisis:

F- En la parte superior derecha de la interfaz se presentan tres gráficos: En “agents activity” se representa la evolución de las CST en cuanto a su longitud y al valor generado acumulado de las mismas, en “agents behavior” se muestra el comportamiento de los agentes en función de su participación en el sistema y de su situación en áreas de concentración de conocimiento, y en “learning_difussion” se ofrece una comparativa entre los contratos nuevos y la reedición de contratos ya realizados al menos una vez.

G- En la zona inferior derecha pueden observarse varios monitores que recogen información sobre diferentes aspectos de la simulación. Los más significativos son los medidores de la distancia geodésica entre agentes de cada área (“gd-cyan”, “gd-pink”, “gd-grey” y “gd-green”), los contadores de operaciones y días restantes para finalizar la simulación (“op_remain” y “day_remain”) y los contadores de links nuevos y repetidos (“once links” y “repeted links”). Además, los monitores “agents-in-knowing-areas” y “knowing-agents” registran la actividad efectiva de agentes en las zonas donde se concentra la transferencia de conocimiento.

H- La formación del grafo dinámico dirigido se recoge en una ventana donde los links se ordenan según tiene lugar la contratación. Además del orden (“ordinal”), cada link tiene un origen y un destino (“source” y “target”) que indican su dirección, un peso (“weight”) o cantidad de veces que se ha producido y una longitud (“length”) expresada en kilómetros.

I- En el último bloque de outputs se encuentran los monitores con información sobre la actividad o inactividad de las ET y los TA (“active tr-comp”, “active carriers” e “inactive carriers”), la exclusión de TA por no tener el margen de beneficio suficiente como para tomar parte en la operación (“blue carriers”), la longitud de las CST y su incremento (“chain_kms” e “increase_kms”). Finalmente, bajo estos outputs se sitúan cuatro monitores (“k<x/2”, “k<x”, “k>x” y “k>2x”) que muestran distintos niveles de acumulación de conocimiento en las parcelas o patches en relación con el promedio del mundo, expresado en porcentajes.

3. Desarrollo y resultados

Una vez realizadas todas las simulaciones, es decir, treinta repeticiones por cada escenario planteado, se procedió al tratamiento de los datos para poder ser analizados. Los resultados que se exponen a continuación se refieren, por un lado, a la estructura y dinámica de las interacciones contractuales entre los agentes del modelo, y, por otro, a la formación de clústeres, entendidos como entornos de transferencia de conocimiento y aprendizaje que resultan de las interacciones contractuales en el sistema TMC.

Como se apuntó en la introducción, el modelo fue desarrollado en Netlogo, mientras que el análisis de todos los datos recogidos se realizó principalmente en Rstudio por medio del uso de paquetes especializados y de la elaboración propia de scripts específicos para cada caso y uso. Otras aplicaciones como Gephi, para la representación de grafos y cálculo de métricas de centralidad, MatLab para el cálculo de matrices de densidad y representación de superficies, o PSPP, para el cálculo de algunos estadísticos, fueron empleados en algún momento del proceso de investigación.

3.1. Análisis de la actividad

La formación de cadenas de subcontratación se encuentra en la base de las interacciones entre los distintos tipos de agentes que operan en un sistema TMC. Como se explicó en la sección anterior, estas cadenas o CST se generan por la necesidad de transporte de un cliente, quien aplica una serie de criterios de selección para escoger a su proveedor. De esto se deriva un reparto desigual de la participación, una particular dinámica del sistema durante su tiempo de ejecución y, como consecuencia de las dos anteriores, una organización propia de los agentes en el espacio que se traduce en la asunción de roles con distinta relevancia.

3.1.1. Participación de los agentes en las CST

El fundamento de una empresa es el ejercicio de la actividad económica para la que está diseñada con el fin de obtener un rendimiento económico. En el caso de las empresas de transporte, sean estas grandes, medianas, pequeñas o microempresas, como los TA, esta razón es igualmente válida. Como es sabido, el desempeño de la actividad de estas empresas depende del establecimiento previo de una relación contractual entre cliente y proveedor de servicios de transporte para conformar una CST.

En la tabla 6.7 pueden observarse las frecuencias relativas de participación en al menos una CST de los agentes ET y TA en las sucesivas repeticiones por cada escenario. Los datos de los OL carecen de relevancia ya que estos agentes, al no tener que ser elegidos, participan en todas las simulaciones.

Tabla 6.7. Porcentajes de participación de las empresas de transporte y los transportistas autónomos en las 30 simulaciones realizadas con cada escenario.

		<i>Nunca participa</i>	<i>Participación baja (1-25%)</i>	<i>Participación media (25-50%)</i>	<i>Participación alta (50-75%)</i>	<i>Participación muy alta (75-99%)</i>	<i>Siempre participa</i>
Escenario 0	ET	2.5	12.5	15	10	37.5	22.5
	TA	1.25	10	16.25	7.5	31.25	33.75
Escenario 1	ET	10	37.5	10	10	25	7.5
	TA	2.5	27.5	18.75	12.5	31.25	7.5
Escenario 2	ET	30	27.5	17.5	12.5	12.5	0
	TA	8.75	37.5	11.25	20	22.5	0
Escenario 3	ET	0	2.5	5	10	22.5	60
	TA	0	0	0	0	16.25	83.75
Escenario 4	ET	0	5	15	7.5	22.5	50
	TA	0	0	0	7.5	31.25	61.25
Escenario 5	ET	22.5	25	5	20	20	7.5
	TA	7.5	25	13.75	20	26.25	7.5
Escenario 6	ET	30	27.5	15	15	12.5	0
	TA	11.25	33.75	8.75	25	17.5	3.75
Escenario 7	ET	0	0	7.5	7.5	25	60
	TA	0	0	0	0	16.25	83.75
Escenario 8	ET	0	5	15	10	32.5	37.5
	TA	0	0	0	6.25	32.5	61.25

Los resultados de frecuencias muestran mucha variabilidad entre escenarios y agentes. En primer lugar, los escenarios 1, 2, 5 y 6, en los que la situación del mercado de transporte ($SMT=0.5$) provoca la escasez de operaciones de transporte (periodos vacacionales, momentos de inestabilidad económica, etc.) la participación es muy irregular. En este tipo de escenarios los porcentajes de agentes que no participan nunca o tienen una participación baja en el sistema oscilan entre el 47 y el 57% en el caso de las ET, y entre el 30 y el 46% en el caso de los TA. De tal modo, los resultados de participación en estas condiciones son mejores en los TA que en las ET, quienes experimentan una mayor concentración del trabajo en un menor número de agentes.

En cambio, en los escenarios 3, 4, 7 y 8, en los que la SMT deriva en una mayor necesidad de transporte de lo normal ($SMT=1.5$), es decir, más viajes a realizar para el mismo número de transportistas, el porcentaje de agentes con participación muy alta o constante en todos los ensayos del experimento es de al menos el 70% en las ET y de más del 90% en los TA.

Para visualizar mejor estas diferencias, en los siguientes gráficos se agrupan los escenarios con SMT similares por tipos de agente. Por ejemplo, en aquellos escenarios con $SMT = 0.5$ (1, 2, 5 y 6), los niveles de participación de las ET en todas las repeticiones son muy escasos e incluso nulos en el caso de los escenarios 2 y 6. El modelo sugiere que, en condiciones de menor cantidad de trabajo en momentos puntuales del año, un número importante de ET no consigue establecer contratos con ningún cliente. En el caso de los TA los niveles de exclusión (nunca participa) son mucho menos acusados.

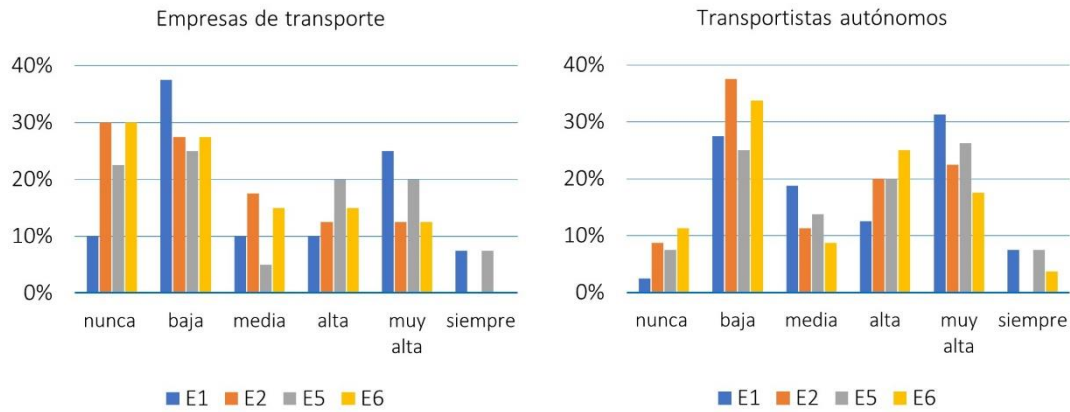


Figura 6.7. Participación de los ET y TA en escenarios con baja disponibilidad de viajes.

En los escenarios con $SMT = 1.5$ (3, 4, 7 y 8), que representan momentos álgidos en cuanto a la necesidad de transporte, la cantidad de operaciones es suficiente como para abastecer a todos los proveedores. Este hecho se observa mejor en los TA, ya que prácticamente todos ellos tienen una participación muy alta o siempre participan. La participación de las ET, incluso en los momentos de abundancia de operaciones, es más desigual, si bien en este caso ninguno queda permanentemente excluido.

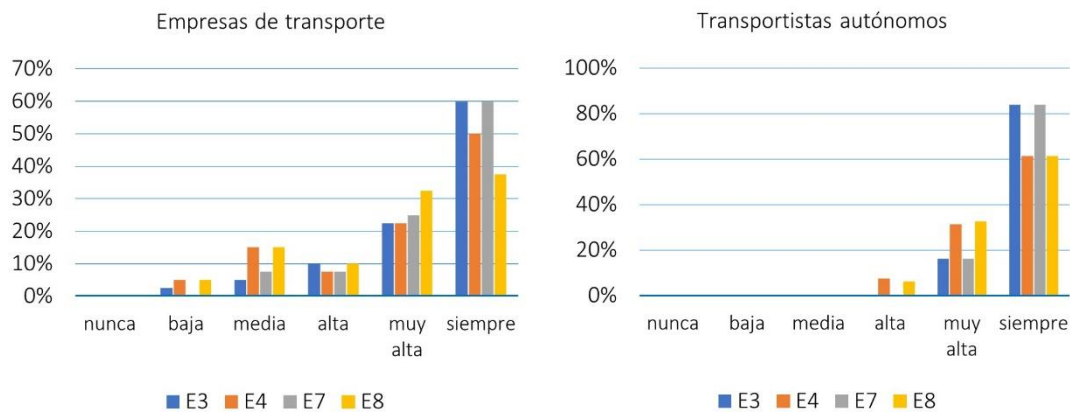


Figura 6.8. Participación de los ET y TA en escenarios con alta disponibilidad de viajes.

Esta primera aproximación a los resultados de actividad en función de la participación en al menos una ocasión en las CST de cada escenario resulta muy significativa en cuanto a la constatación de que el modelo es capaz de reproducir las condiciones de competencia imperfecta propias del mercado del transporte. Más allá de este hecho, es necesario averiguar en qué medida algunos de estos agentes acumulan contrataciones recibidas por encima del resto, cuáles son las razones de este fenómeno y cuáles las consecuencias que tiene en el sistema de transporte.

De tal modo, la desigual distribución de la actividad de transporte entre los diferentes tipos de agentes puede ser expresada mediante el coeficiente de Gini, cuyo valor resultante indica la dispersión estadística de dos distribuciones de frecuencia (Hörcher y Graham, 2020). En nuestro caso este coeficiente mide la igualdad en la distribución de la actividad, que será representada mediante la curva de Lorenz. Estas distribuciones hacen referencia a los contratos y a los agentes que toman parte en el sistema. La fórmula utilizada para calcular el mencionado coeficiente es

$$Gc = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (p_i - c_i)}{\sum_{i=1}^{n-1} p_i} \quad (6.3)$$

donde p_i es la proporción acumulada de agentes de cada tipo y c_i es la proporción acumulada de los contratos recibidos. En el siguiente cuadro podemos ver los valores para cada tipo de agente y escenario. Los valores por debajo de 0.5 indican una distribución más equitativa de los contratos, siendo 0 el valor de distribución perfecta, esto es, los contratos se reparten por igual entre los agentes. Por el contrario, los valores por encima de 0.5 señalan mayor concentración entre un menor número de agentes, siendo 1 el valor de máximo desequilibrio distributivo, o lo que es lo mismo, un único agente concentra todos los contratos.

Tabla 6.8. Coeficiente de Gini para cada tipo de agente y escenario.

	<i>Operadores logísticos</i>	<i>Empresas de transporte</i>	<i>Transportistas autónomos</i>
Escenario 0	0.0095	0.5534	0.4244
Escenario 1	0.0196	0.6759	0.5536
Escenario 2	0.0123	0.6494	0.5363
Escenario 3	0.0116	0.4058	0.1698
Escenario 4	0.0097	0.4462	0.1768
Escenario 5	0.0205	0.6420	0.5484
Escenario 6	0.0203	0.6999	0.5635
Escenario 7	0.0158	0.4022	0.1698
Escenario 8	0.0108	0.4530	0.1807

Las curvas de Lorenz muestran gráficamente las diferentes distribuciones de las contrataciones por agentes en los distintos escenarios, donde p representa el acumulado de agentes de cada tipo y $L(p)$ es el acumulado de participaciones en CST. La recta $x=y$ representa la distribución perfecta de contrataciones entre agentes. Por el contrario, cuanto mayor sea el área existente entre esta recta y la curva de un grupo de agentes mayor será la desigualdad en la distribución de la actividad de dicho grupo.

Como se ha señalado anteriormente, la participación en el sistema depende de la contratación. Esta puede dividirse en contratación realizada y contratación recibida. A la cabeza de la primera de las dos se encuentran los OL, cuya distribución de contratos realizados es prácticamente

equiprobable ya que el modelo parte de una situación de hipotético equilibrio en el sistema. Esto significa que, al tratarse del agente que inicia las operaciones, siempre participan en las CST. Por lo tanto, la distribución de operaciones entre los OL no responde a criterios de asignación, sino que es aleatoria.

Las curvas de Lorenz de las ET y los TA se refieren a la contratación recibida. En ellas se aprecian, al igual que en los niveles de participación mencionados más arriba, diferencias importantes entre los escenarios con $SMT = 0.5$ (1, 2, 5 y 6) y aquellos con $SMT = 1.5$ (3, 4, 7 y 8). En efecto, son notables las tasas de acumulación de contrataciones recibidas en los primeros, donde encontramos, como en el escenario 6, que el 80% de los ET se reparte únicamente el 25% de los encargos de transporte. En el segundo tipo de escenarios, en cambio, las tasas tienden a ser más tendentes al equilibrio, sobre todo en el caso de los TA, sobre quienes recae la responsabilidad efectiva del transporte.

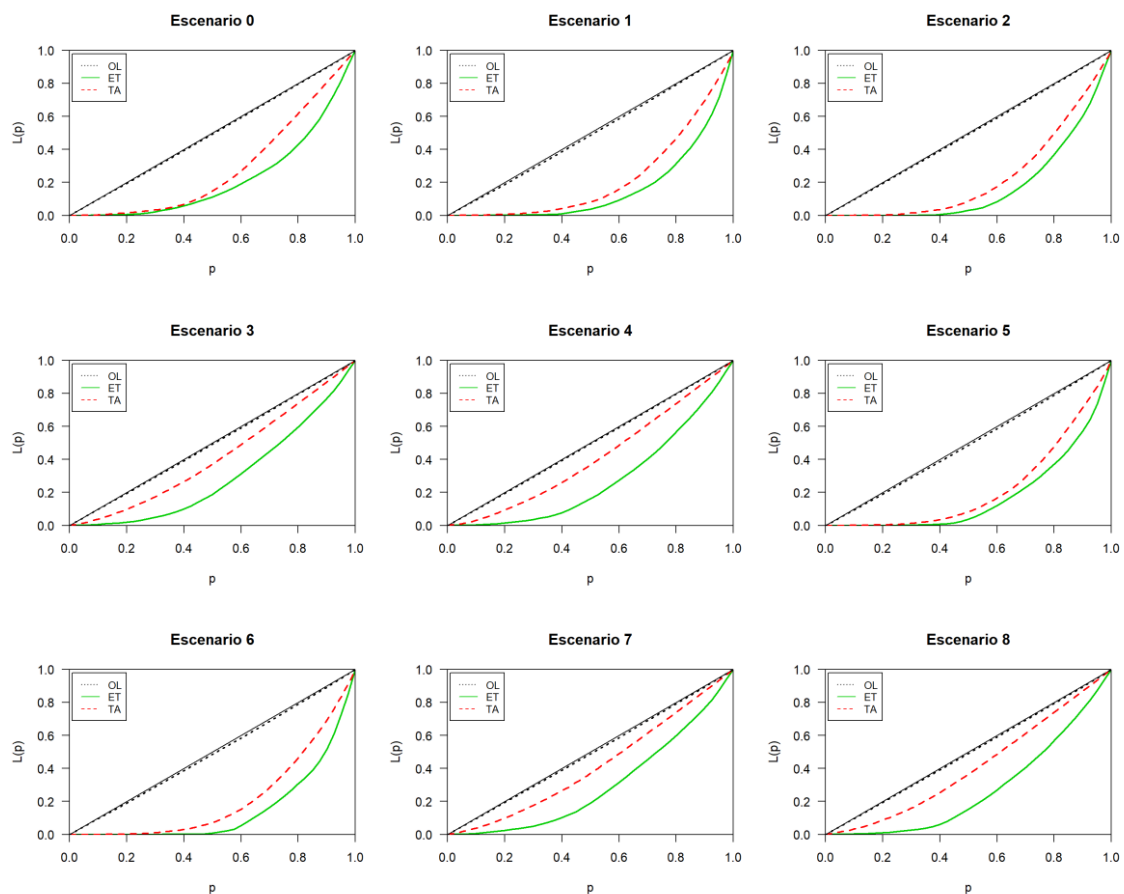


Figura 6.9. Curva de Lorenz para cada tipo de agente y escenario.

De la lectura de estos datos pueden extraerse varias ideas generales respecto al comportamiento de los grupos de agentes que necesitan ser contratados para poder participar en CST:

- La escasez de operaciones de transporte produce grandes desequilibrios en la asignación de las contrataciones. Ni la distancia entre regiones ni la mayor transmisión de conocimiento parece que ayuden a paliar los efectos de la falta de operaciones a realizar.

- Bien al contrario, en los escenarios donde la transmisión de conocimiento es mayor (2, 4, 6 y 8) las diferencias entre ET son levemente mayores frente a los escenarios con menor transmisión de conocimiento (1, 3, 5 y 7).
- En las situaciones de escasez de operaciones a realizar, los TA presentan importantes niveles de desequilibrio, aunque ligeramente mejores que las ET.
- En las situaciones de abundancia de operaciones a realizar, los TA se acercan a niveles cercanos al equilibrio ampliando su distancia frente a las ET.

Dado que en cada escenario el número de contratos es limitado, la concentración de la contratación en determinados agentes provoca la exclusión de otros proveedores. Este aspecto tiene gran relevancia, dado que el porcentaje de agentes que no toman parte en las operaciones de transporte puede llegar a ser muy elevado. Es el caso de los escenarios 1, 2, 5 y 6, donde el escaso número de operaciones a repartir ($SMT=0.5$) provoca que estas se concentren en muy pocos agentes. En los escenarios 2 y 4, por ejemplo, los OL solo cuentan con uno de cada cuatro ET para solventar sus encargos de transporte, mientras que solo uno de cada tres TA recibe trabajo por parte de las ET. En estos dos escenarios la producción y difusión de conocimiento no actúa como ventaja para toda la red de agentes, sino solo para aquellos que logran recibir algún contrato.

En el extremo opuesto, la abundancia de operaciones de transporte a realizar (escenarios 3, 4, 7 y 8) tiene como consecuencia una alta participación de todos los agentes, que llega a ser ligeramente mayor en los escenarios con menor distancia interzonal (3 y 4). Nuevamente, tal y como ocurría en los escenarios con baja SMT, el factor difusión de conocimiento provoca mayor concentración de la contratación. Por último, las limitaciones a la actividad de transporte que afectan a los TA (horas de conducción diarias) les obligan a no aceptar más operaciones de las que son capaces de realizar, por lo que la exclusión de agentes afecta menos a estos que a las ET, ya que la limitación de estas últimas depende solo de su disponibilidad de vehículos.

Por tanto, podemos concluir que el reparto de la actividad entre los tres grupos de agentes es muy irregular. Tal y como se ha explicado anteriormente, las condiciones de jerarquización y unidireccionalidad de las CST hace que los grafos resultantes de la simulación muestren una estructura equiparable a las redes complejas libres de escala, en las que ciertos nodos copan gran parte de la actividad gracias a un proceso de elección preferencial (Barabási y Albert, 1999; Barabási, 2009). Dicha elección de un agente hacia otro es la que indica su nivel de actividad y participación en las CST, medida a través del número de contrataciones recibidas.

3.1.2. Dinámica de la contratación

De acuerdo con Harary y Gupta (1996), un grafo dinámico equivale a una secuencia discreta de grafos estáticos. Por tanto, una red, entendida como un grafo formado por nodos y arcos, evoluciona en el tiempo y en el espacio a medida que las interacciones entre los nodos se van

produciendo, pudiendo ser dicha evolución de diferentes tipos. Tal hecho ofrece una enorme cantidad de información sobre patrones originados en el seno de estas estructuras que debe ser analizada eficientemente (Held *et al.*, 2013).

La literatura dedicada al análisis de redes dinámicas no es demasiado extensa en el ámbito de la ciencia geográfica. Broekel *et al.* (2014) repasan los métodos de análisis de las redes de conocimiento en geografía económica, fijando su atención en los modelos estocásticos orientados a agentes (SAOM), que simulan procesos y estiman parámetros con el objetivo de descubrir los mecanismos que rigen las dinámicas de redes. Basado en esta metodología, encontramos algunos ejemplos en geografía urbana (Blumenfeld-Lieberthal y Portugali, 2010; Cantergiani, 2017) o en dinámica del transporte urbano referida al estacionamiento de vehículos (Martens *et al.*, 2010). Además, en Démare *et al.* (2017) se nos presenta un modelo sobre el sistema logístico que opera en torno al eje del río Sena (Francia), en el cual se simula el transporte de mercancías a través de una red de agentes de diferentes rangos que evoluciona paso a paso en lapsos de una hora. Finalmente, en un trabajo posterior Démare *et al.* (2019) utilizan esta misma metodología para analizar la red multimodal nuevamente en el eje del Sena.

En el caso que nos ocupa, para determinar cuál es el funcionamiento de la red de relaciones preferenciales que estructura el sistema es necesario prestar atención al desarrollo temporal de la contratación. Por ello, en esta sección observaremos la dinámica de la actividad contractual a través de dos indicadores: el porcentaje de nuevos contratados por jornada (referido a los nodos o agentes) y la distancia media entre cliente y proveedor por jornada (referido a los arcos o contratos):

A) Porcentaje de nuevos contratados por jornada. Este indicador se corresponde con el valor de la mediana de 30 repeticiones por cada jornada y escenario analizado. Una vez obtenidas las tablas de frecuencias absolutas se elaboraron las tablas de frecuencias relativas. Hay que puntualizar que estos indicadores hacen referencia únicamente a los agentes que participan en algún momento en cada escenario. Por tanto, los porcentajes no incluyen a los proveedores excluidos.

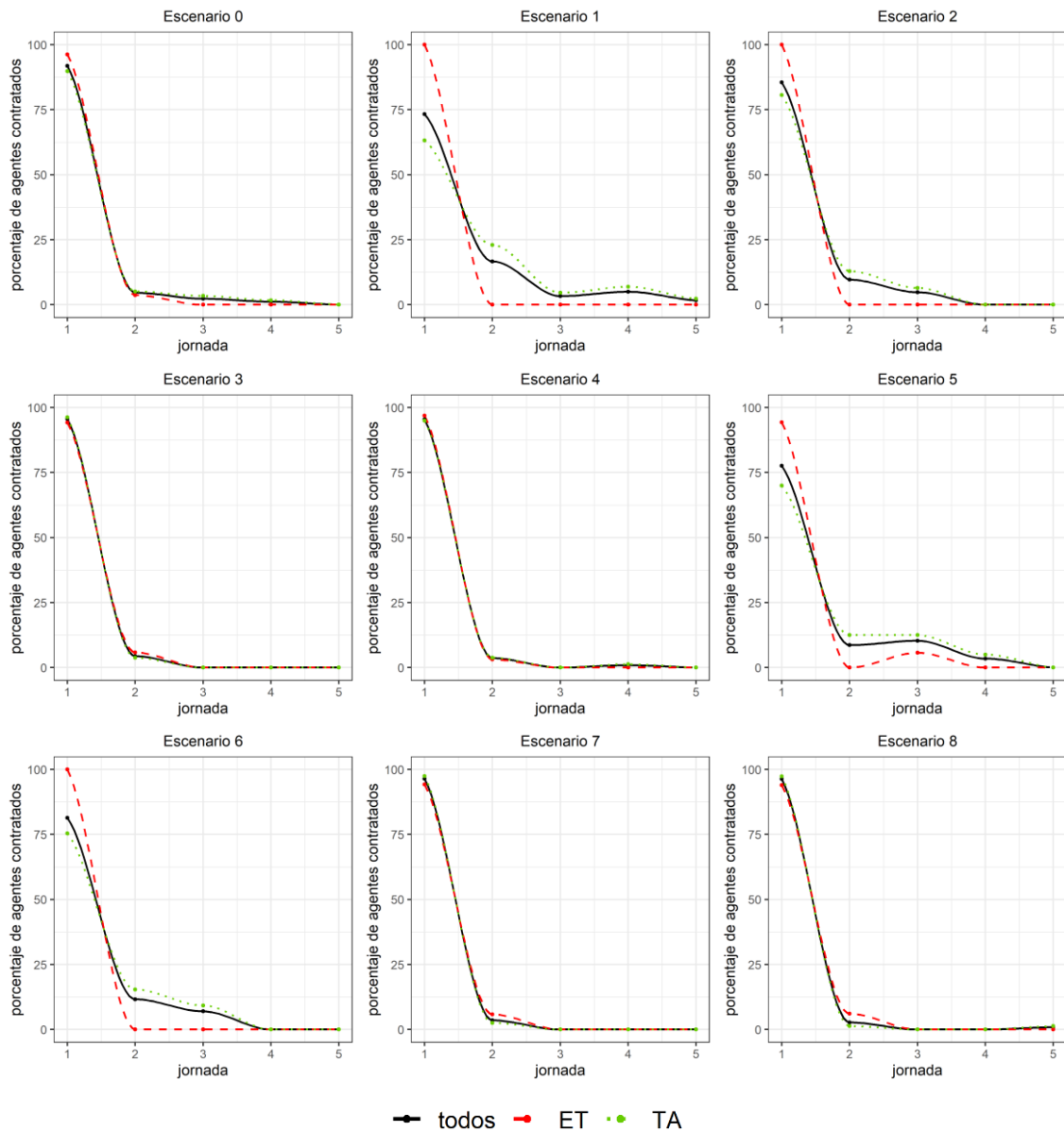


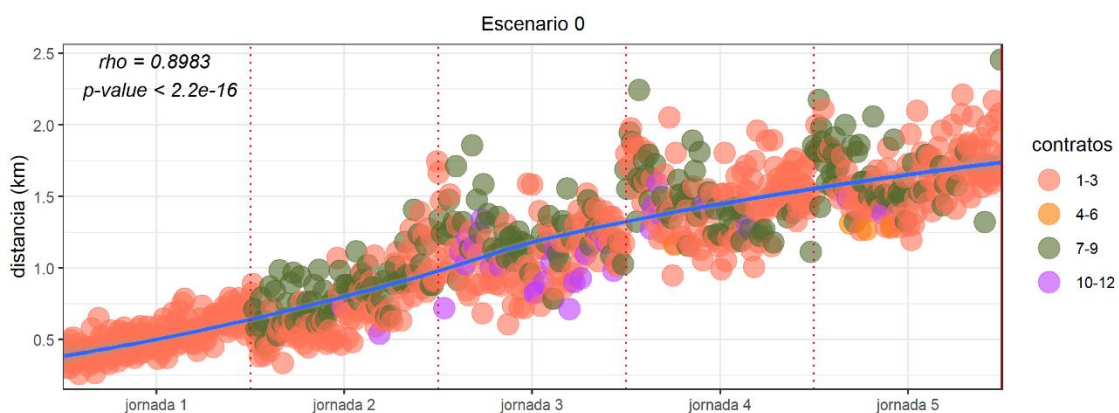
Figura 6.10. Frecuencias relativas de contratación por jornada.

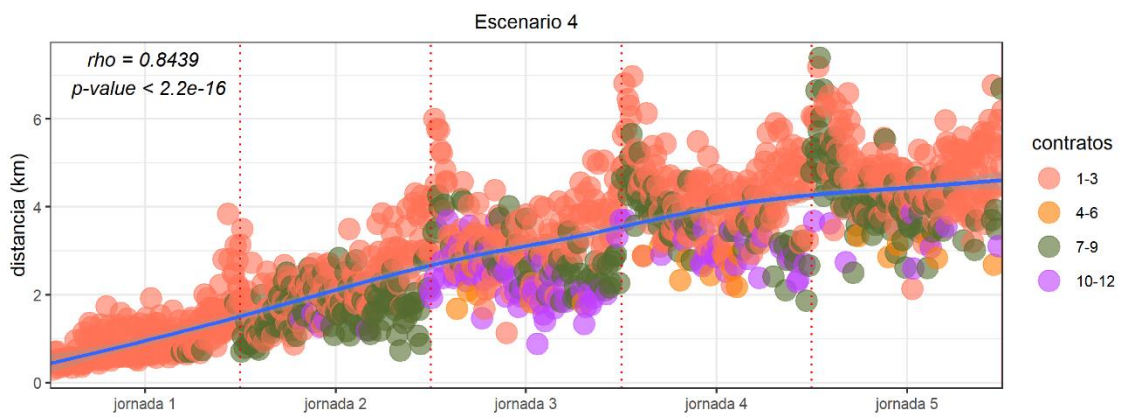
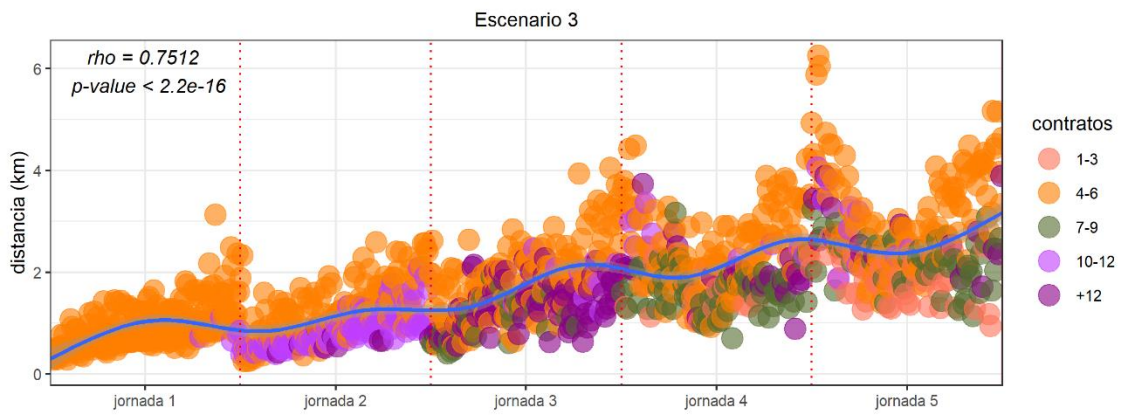
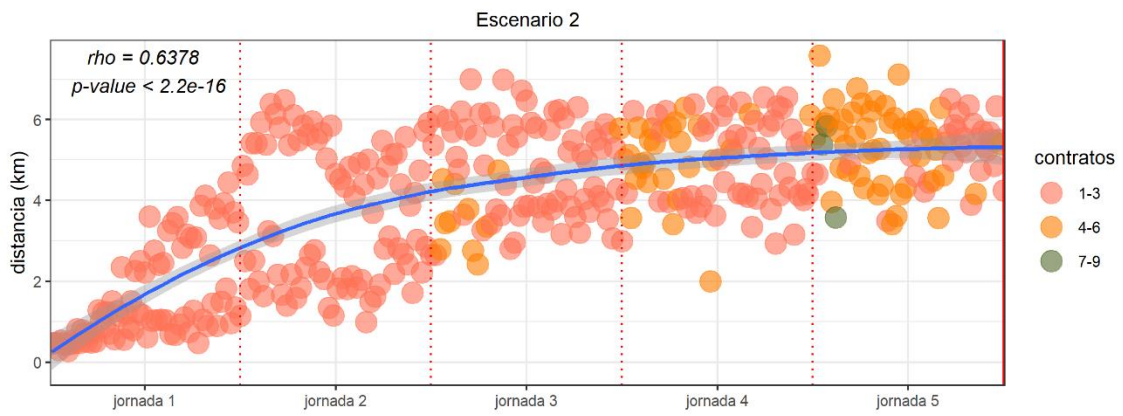
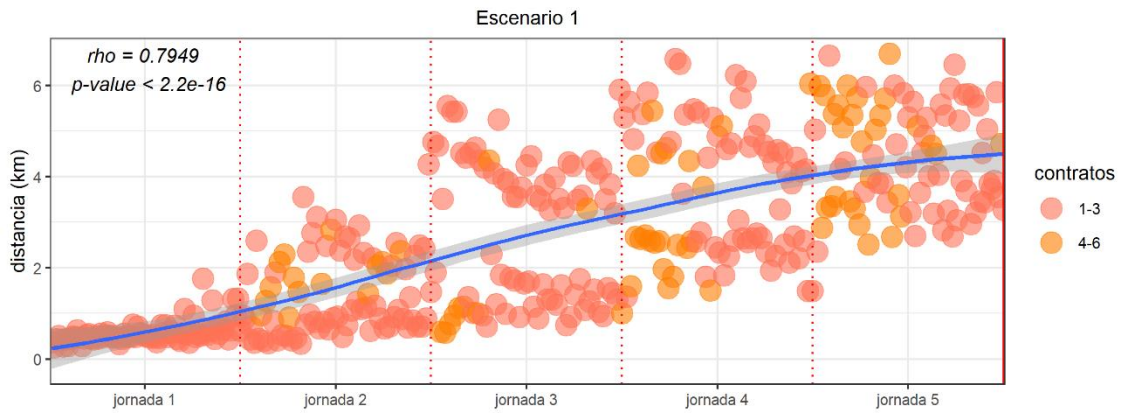
Tal y como puede comprobarse en la figura 6.10, un alto porcentaje de los proveedores que acaban participando en el sistema son contratados por primera vez durante la jornada 1. Especialmente llamativo es el hecho de que los OL seleccionen durante la primera jornada de la semana a la práctica totalidad de las ET a las que confiarán todos sus envíos. Esta circunstancia indica que, ante niveles similares de confianza, competitividad y disponibilidad de vehículos, el aprendizaje acumulado por los ET (expresado por la variable K , en la fórmula 4.20) es suficiente para seguir asignándoles nuevas operaciones de transporte frente a aquellos que aún no han sido contratados. En el caso de los TA la situación es diferente en aquellos escenarios con $SMT=0.5$ (1, 2, 5 y 6). A pesar de que quienes son contratados al menos una vez lo son en su mayoría durante la primera jornada, nuevos agentes son contratados en las jornadas siguientes, si bien presumiblemente este hecho ocurre más como consecuencia de la acumulación de conocimiento ($kt=0.2$) que debido a su transferencia ($kt=0.8$). Sea como fuere, en ambos casos la gestión del conocimiento generado refuerza la red de contratación creada durante la primera jornada de la

semana, impidiendo que esta se amplíe a otros actores en jornadas posteriores y propiciando la acumulación de actividad en manos de los agentes seleccionados en la jornada 1.

B) *Distancia media entre cliente y proveedor por jornada.* El cálculo de este indicador se obtiene promediando el valor de la distancia de los arcos de las 30 repeticiones de cada escenario en el momento t_n (figura 6.11). Al estar los arcos siempre ordenados siguiendo el esquema OL→ET→TA, en el momento t_n se produce siempre el mismo tipo de relación (sea OL→ET o sea ET→TA) en todas las repeticiones. Además, dependiendo de la SMT tendremos un número mayor o menor de contratos a realizar y, por tanto, distinta cantidad de arcos. Así, para SMT=0.5 las operaciones diarias son 41 y los arcos totales 410, para SMT=1 las operaciones son 81 y los arcos 810 y, finalmente, para SMT=1.5 las operaciones de transporte diarias son 121 y los arcos totales 1210. En consecuencia, cada punto en el gráfico representa la distancia media \bar{d}_{ij} existente entre los dos agentes que cierran un contrato en el momento t_n en cada escenario. Adicionalmente, el color de cada punto representa el peso de cada arco respecto en el momento t_n , expresado como la mediana de las 30 repeticiones de cada momento para cada escenario. Esto significa que, en función del color, un contrato con \bar{d}_{ij} se habrá realizado n veces en el momento t_n .

Para comprobar la correlación entre variables se dieron los siguientes pasos. En primer lugar, se calculó la distribución normal de la variable “distancia” aplicando el test de Shapiro-Wilk en Rstudio (Shapiro y Wilk, 1965; Crawley, 2012). Al rechazar la normalidad de la variable ($p\text{-value} < 0.05$) se optó por aplicar el coeficiente de correlación de Spearman (Daniel, 1978; de Winter *et al.*, 2016) para un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, donde $p\text{-value} < 0.05$ supone una alta fiabilidad. De acuerdo con este coeficiente, los valores cercanos a 1 sugieren una alta correlación entre variables, mientras que valores próximos a 0 significan lo contrario.





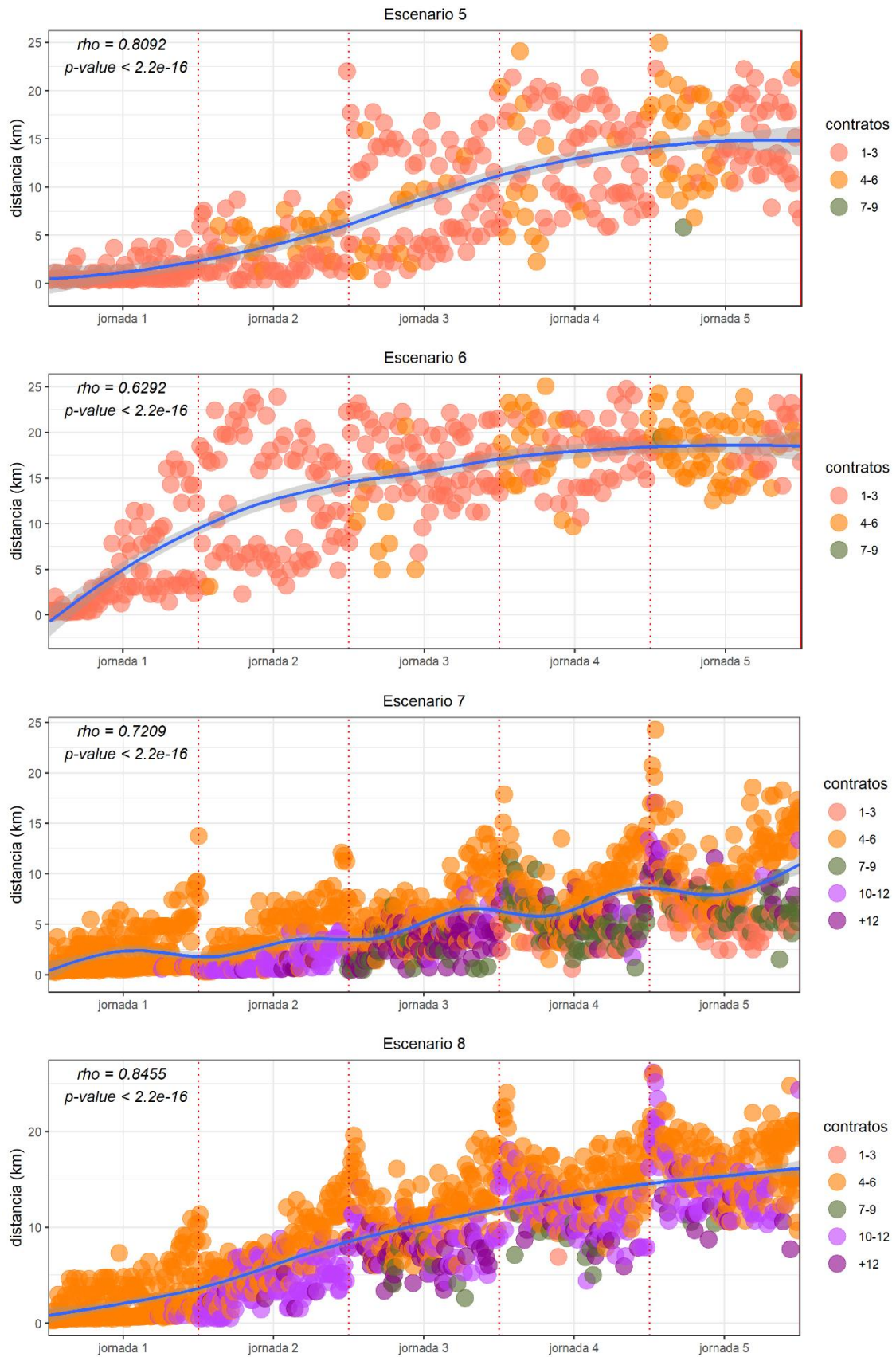


Figura 6.11. Evolución de los contratos en función de la distancia entre clientes y proveedores.

Al analizar los gráficos vemos que las líneas de tendencia muestran en todos los escenarios, aunque con diferencias, una tendencia clara de aumento de la distancia media entre los clientes y sus proveedores a medida que avanza la semana. Este hecho, sumado a los anteriormente comentados efectos de la exclusión de proveedores del sistema y la distribución de los nuevos contratados durante la semana, pone de manifiesto la existencia de una colaboración interzonal entre agentes que se han destacado primeramente en la colaboración intrazonal. Es decir, la colaboración entre agentes de diferentes zonas es más intensa durante las últimas jornadas. Además de esta circunstancia general, existen otros aspectos importantes que es necesario destacar para entender el comportamiento del sistema:

- En un sistema equilibrado (escenario 0) la tendencia de aumento de la distancia entre clientes y proveedores en el tiempo es constante. Por otro lado, predominan las relaciones contractuales que se repiten entre 1 y 3 veces, lo cual es muestra de una mayor equiprobabilidad en el reparto de las operaciones entre los agentes que participan en la red.
- En aquellos escenarios con baja demanda de operaciones de transporte en relación con la oferta o $SMT=0.5$ (escenarios 1, 2, 5 y 6), el recurso a agentes de otras zonas se realiza con intensidad ya desde la segunda jornada, cuando la transferencia de conocimiento es mayor (escenarios 2 y 6), mientras que cuando el conocimiento no se comparte tanto (escenarios 1 y 5) este recurso a la colaboración interzonal se intensifica solo a partir de la tercera jornada. En todos estos escenarios el reparto de las operaciones entre los pocos agentes que participan en ellas muestra niveles muy equilibrados.
- Los escenarios con mayor cantidad de operaciones a realizar o $SMT=1.5$ (escenarios 3, 4, 7 y 8) revelan un comportamiento más complejo. En todos ellos encontramos una acumulación de arcos cliente-proveedor con mayor peso por debajo de la línea de tendencia y arcos con menor peso por encima de la misma, lo cual indica la fortaleza de las colaboraciones intrazonales y el recurso esporádico a las colaboraciones entre zonas. Por otra parte, los escenarios en los que los agentes transfieren la mayor parte de su conocimiento acumulado (escenarios 4 y 8) experimentan mayores niveles de colaboración entre zonas, como demuestra la mayor distancia media de los arcos. Frente a ellos, los escenarios con menor transferencia de conocimiento (o mayor acumulación de este) presentan una curva sinusoidal con menor altura, lo que indica una mayor concentración de las operaciones en cada zona y una menor colaboración intrazonal.

En resumen, en cuanto a la actividad el análisis de los resultados de la dinámica del modelo nos indica, por un lado, un reparto muy desigual de la subcontratación en situaciones de desequilibrio del mercado y, por otro, un significativo impacto en las colaboraciones entre agentes de distintas zonas en función de cómo se gestiona el conocimiento acumulado por cada agente. En cuanto al aspecto espacial, dando por sentado que un alto grado de modularidad de la red produce una elevada clusterización (Strogatz, 2001; Surana *et al.*, 2005), los rasgos estructurales y evolutivos del modelo vistos hasta ahora sugieren la formación de clústeres en aquellas áreas donde la actividad y el conocimiento alcanzan sus mayores niveles, cuestión que será abordada en el siguiente punto. En definitiva, es razonable situar la dinámica del modelo TRANSOPE en el

contexto de los sistemas adaptativos complejos, en los que los agentes son sensibles, flexibles, reactivos y proactivos ante las circunstancias de su entorno (Nilsson y Darley, 2006).

3.1.3. Autoorganización de los agentes en el espacio

En su necesario proceso de adaptación al territorio todo sistema de transporte está obligado a superar la fricción de la distancia (Rodríguez, 2017). Esta fricción no solo afecta al movimiento sino también a la distancia percibida, entendida como un espacio relativo (Bailly, 1985) en el que la visión propia de cada agente cobra gran importancia. En este sentido, desde hace más de una década la teoría del nivel de construcción (Trope y Liberman, 2010; Henderson *et al.*, 2011) trata de explicar desde el campo de la psicología la relación entre distancia real y distancia psicológica y su impacto en la toma de decisiones a nivel individual y colectivo, a partir de un concepto de distancia integrado por cuatro categorías, a saber, la espacial, la temporal, la social y la hipotética.

Esta cuestión ha generado un importante debate en el seno de la comunidad geográfica. Sin embargo, en espera de una nueva definición de distancia que definitivamente se adecúe a la transformación de la geografía humana contemporánea (Simandan, 2016), la investigación geográfica debe abordar hoy en día el análisis de los fenómenos espaciales mediante el empleo simultáneo de metodologías cuantitativas y análisis de procesos relacionales (Bergmann y O'Sullivan, 2017), de los que se deriva que, por ejemplo, conceptos como la distancia física y la proximidad relacional no siempre presentan una correlación positiva (Lundquist y Trippl, 2013). En este apartado, el análisis se centra en primera instancia en averiguar cómo se organizan los agentes en el modelo en relación con dichos conceptos. Seguidamente, estudiaremos las colaboraciones desde el punto de vista de la zonalidad. Por último, determinaremos el tipo de rol que desempeña cada agente en el sistema y trataremos de identificar la formación de clústeres en el modelo.

3.1.3.1. Proximidad y centralidad

Comúnmente entendemos la proximidad en relación con los modelos gravitatorios, los cuales, en el ámbito de los estudios geográficos, ofrecen un efectivo enfoque empírico para el análisis de la interacción espacial (Chen, 2015). Dicho enfoque fundamenta la formulación de la llamada “primera ley de la Geografía”, según la cual todo está relacionado entre sí, pero las cosas cercanas están más relacionadas que las cosas distantes” (Tobler, 1970, p. 304; 2004). Sin embargo, numerosos estudios demuestran que en la lógica de las relaciones preferenciales entre agentes intervienen otros factores más allá de la proximidad, cuyo peso en la toma de decisiones supera a la distancia física.

El estudio de redes complejas proporciona numerosas herramientas para analizar la topología de redes sociales reales, tales como la formada por los agentes de transporte en nuestro modelo. Por ejemplo, Albert y Barabási (2002) destacan la importancia de medidas como la longitud media de camino (APL), el coeficiente de clustering y la distribución de grados para identificar variaciones en las estructuras de diferentes redes libres de escala basadas en el mundo real. De

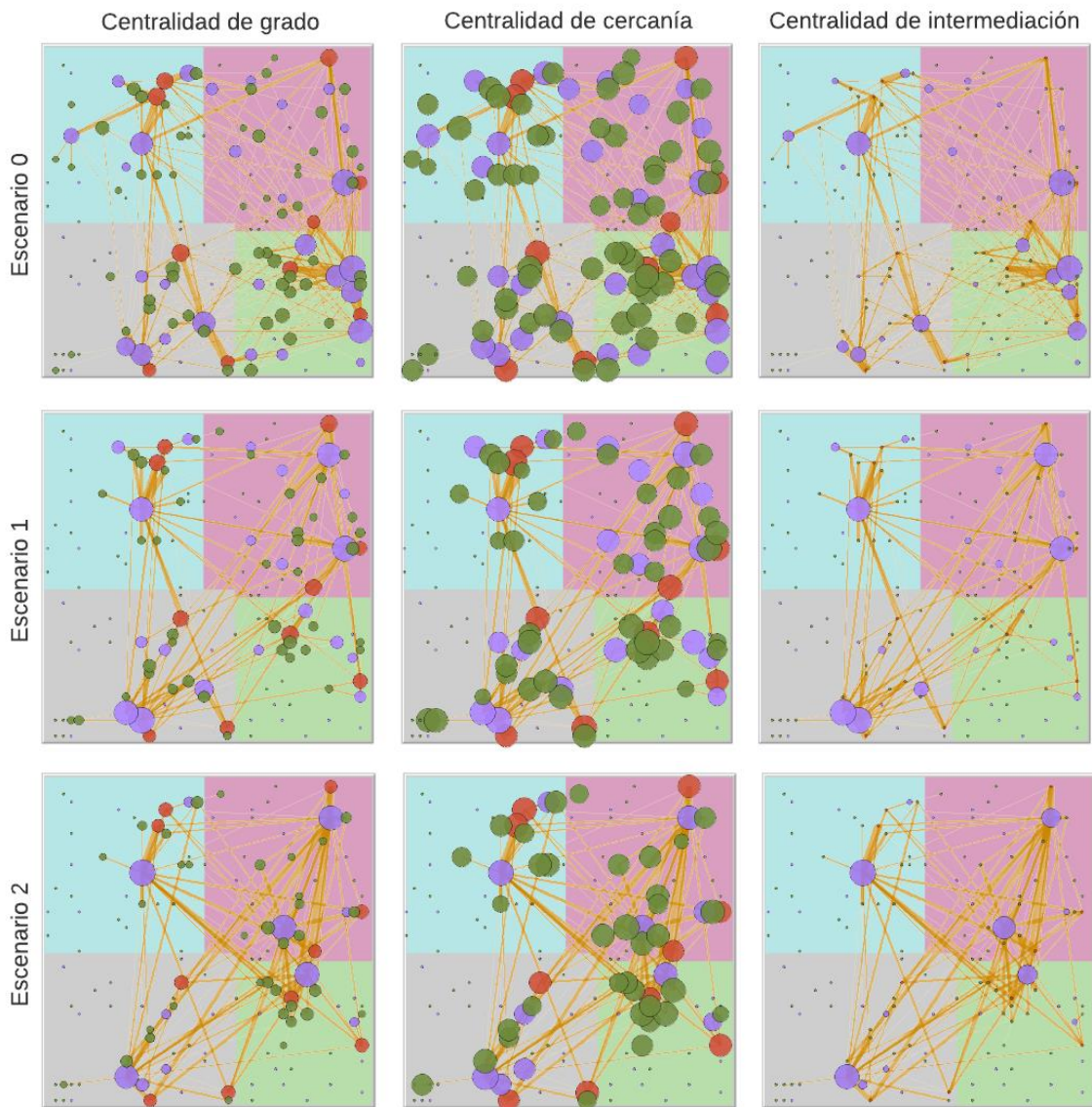
acuerdo con estos autores, este tipo de redes presentan propiedades tales como la formación de clústeres y cortas longitudes de camino o arcos entre los nodos, fenómenos que también son identificables en la red de colaboraciones generada en TRASOPE. Newman (2003), por su parte, añade a estas propiedades la identificación de comunidades dentro de una red compleja como consecuencia de las diferencias de densidad de asociación entre unos grupos de nodos y otros. En lo referente al estudio de redes de transporte, Ducruet y Lugo (2011) presentan medidas tales como la centralidad de intermediación (descrita más abajo), la excentricidad, o número de arcos necesario para llegar al nodo más distante en el grafo, y el índice de Shimmel, o suma de la longitud de todos los caminos más cortos que conecten todos los nodos de un grafo, como las más utilizadas para indicar la situación de los nodos dentro de la red, mientras que otras como la centralidad de grado (descrita más abajo), la dependencia de centros *hub*, o participación del enlace más fuerte de la red en el global de la misma, el grado medio de vecinos más cercanos, que muestra cómo de participativos son los nodos que rodean a otro, o el coeficiente de clustering, o proporción de circuitos cerrados entre todos los posibles, son las más usadas para medir las relaciones de un nodo con su entorno.

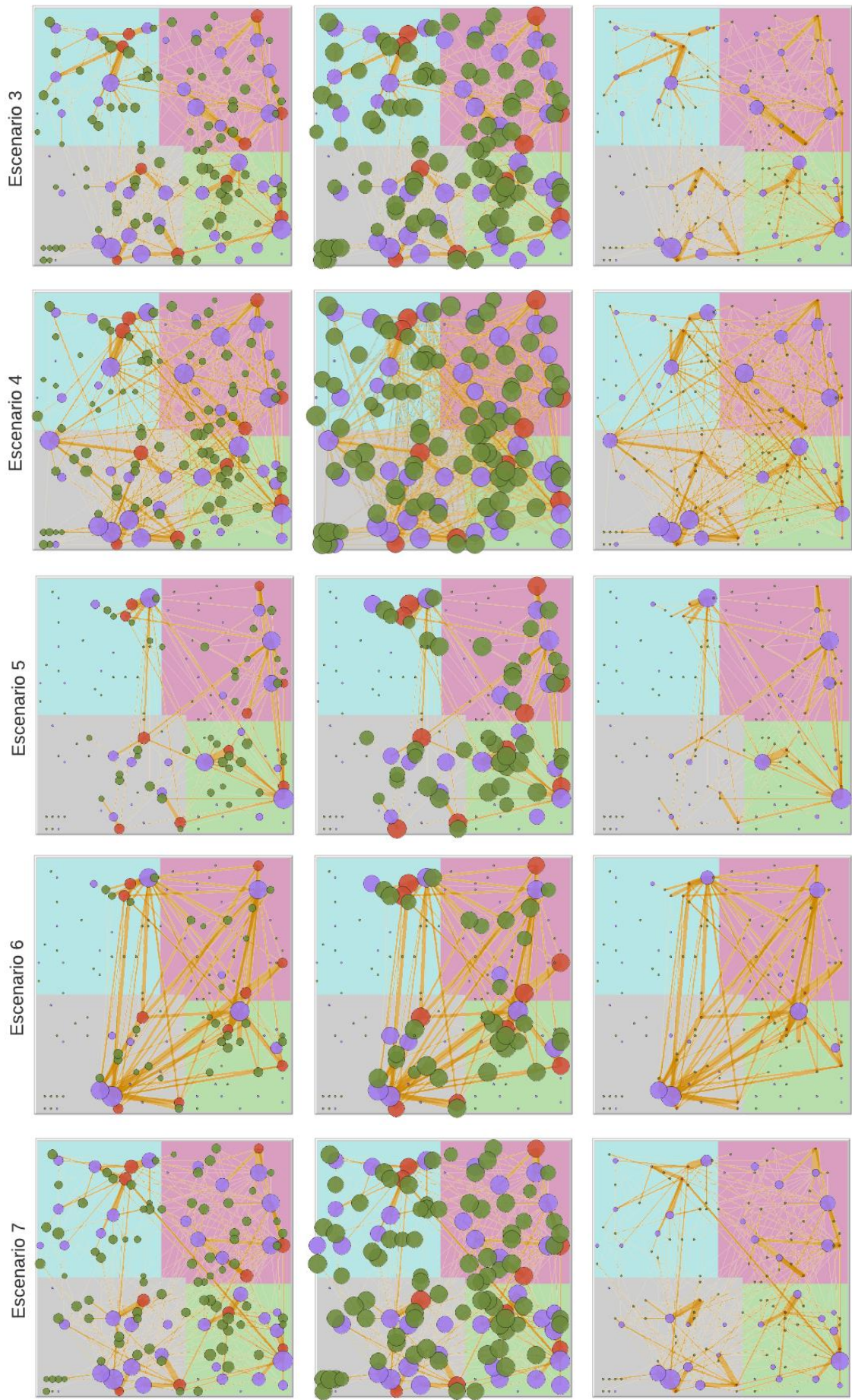
En nuestro caso se extrajeron, por un lado, medidas locales de centralidad y, por otro, métricas de distancia y métricas globales de centralidad de las redes generadas en cada escenario. Los datos se obtuvieron promediando las medidas de todas las repeticiones del experimento por cada escenario con ayuda de los paquetes Igraph (Csardi y Nepusz, 2006) y fastnet (Dong *et al.*, 2020), implementados en RStudio. El conjunto de métricas locales, que evalúan la centralidad de cada nodo, fue introducido por Freeman (1978) y está formado por las siguientes:

- *Centralidad de grado medio.* El grado de un nodo indica el número de arcos conectados a dicho nodo, que en el caso de los grafos dirigidos pueden ser tanto de entrada como de salida (Newman, 2003). En nuestro caso el grado calculado no tiene en cuenta el peso de los arcos, es decir, no contempla las repeticiones de arcos entre A y B, sino que solo computa las conexiones diferentes de cada agente. Este aspecto es importante para medir la diversidad de la conectividad más allá del volumen de las conexiones. Por otro lado, el valor del grado medio se obtiene promediando el total de repeticiones del experimento para cada agente y escenario.
- *Centralidad de cercanía o closeness centrality.* Se corresponde con la inversa de la suma de los caminos geodésicos (o rutas más cortas) entre un nodo y el resto de nodos de la red (Latora y Marchiori, 2007). Esta medida no contempla la distancia espacial a la que se encuentran dos agentes, sino que basa su cálculo en el número mínimo de conexiones que un agente debe recorrer para alcanzar a otro de la red.
- *Centralidad de intermediación o betweenness centrality.* Se define como el número de caminos geodésicos entre pares de nodos que pasan por un nodo concreto (Chen *et al.*, 2013). De acuerdo con Barthélemy (2004), la conectividad (o grado) es una magnitud local que no informa de la importancia de cada nodo. En este sentido, la intermediación ayuda a identificar el desempeño de roles clave de algunos agentes en la estructura global de la red. Aplicada a nuestro modelo, la centralidad de intermediación es atributo

exclusivo del grupo de agentes formado por las ET, dado que se encuentran ubicadas en el centro de las CST.

En la figura 6.12 se representan los valores de estas métricas locales por cada nodo mediante el tamaño de los nodos. Del mismo modo, el grosor de los arcos es proporcional a su peso. Los grafos se corresponden con la repetición número 30 del total de 30 simulaciones realizadas para cada escenario. Por tanto, no se representan valores promediados sino absolutos. Al observar los grafos puede comprobarse intuitivamente cómo algunas ET son los agentes que presentan una mayor centralidad de grado en todos los escenarios. Este hecho es debido a una mayor conectividad diversificada, ya que sus colaboraciones implican a numerosos OL y TA tanto de su propia zona como del resto. Los agentes más influyentes del sistema, sin embargo, se identifican con mayor nitidez a través de la centralidad de intermediación. En los escenarios en los que el número de operaciones a realizar es menor (1, 2, 5 y 6) las ET con mayor protagonismo en la red son menos numerosas aunque más influyentes.





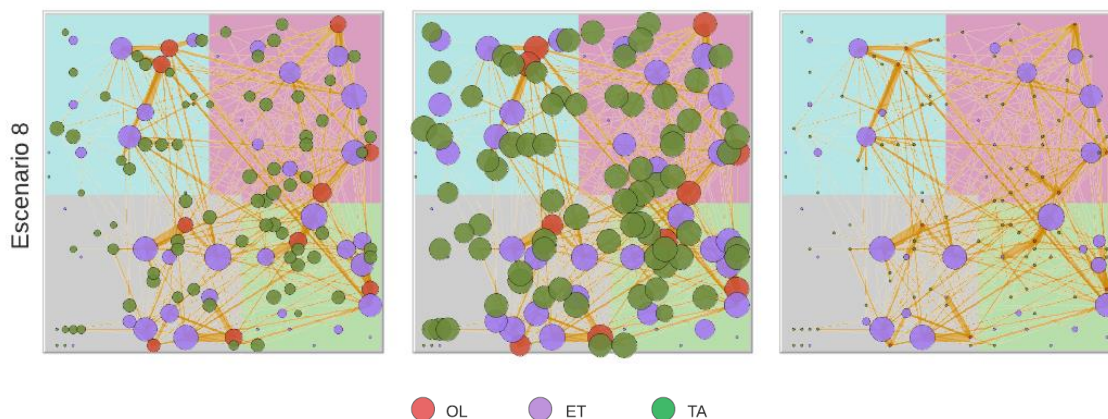


Figura 6.12. Representación de métricas locales de centralidad por cada escenario.

Contrariamente a las otras dos medidas locales, la centralidad de cercanía no resulta decisiva para determinar la importancia de los nodos participantes en las CST, al no existir diferencias destacables entre los nodos conectados. Además, ofrece una imagen poco ajustada al modelo, puesto que no contempla las ampliaciones de distancia interzonales en los distintos escenarios. A este respecto, la centralidad geográfica C_g , explicada en el capítulo anterior, es un atributo independiente de la actividad que expresa la centralidad de la ubicación de cada agente respecto al resto de agentes de su zona, y cuyo valor no varía ya que las posiciones de los agentes son fijas. Al basarse en las distancias reales entre posiciones y no en la participación de los agentes en el sistema, no ofrece información sobre la influencia de los agentes en el sistema. Sin embargo, permite analizar de qué modo se relaciona la influencia de los nodos en la red con su ubicación geográfica dentro del sistema.

En la figura 6.13 puede observarse el mayor tamaño que presentan los nodos más centrales. La centralidad geográfica, por tanto, podría constituir una ventaja para aquellos agentes con mejor acceso a los flujos de información y conocimiento, de acuerdo con los principios de proximidad y de fricción de la distancia (Tobler, 1970 y 2004; Han, Tsou y Clarke, 2017).

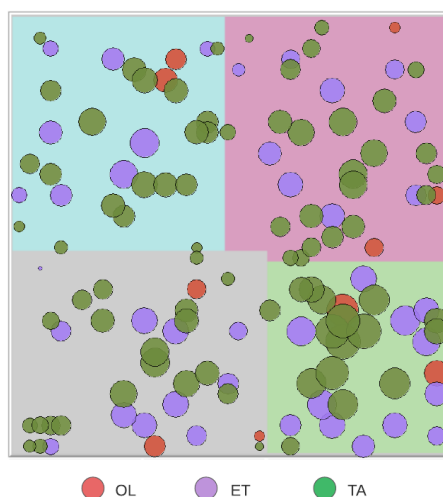


Figura 6.13. Centralidad geográfica de los agentes para todos los escenarios.

Para comprobar el comportamiento de esta medida en relación con las medidas locales de centralidad, en la figura 6.14 se representan todos los nodos participantes al menos en una CST de alguna de las 30 repeticiones por cada escenario, en función de sus valores de centralidad, los cuales se corresponden con el promedio de todas las repeticiones. En la primera línea se muestran los valores de centralidad geográfica en relación con las tres medidas locales de centralidad, y en la fila siguiente vemos la relación entre estas tres últimas. Además, los colores representan los diferentes escenarios.

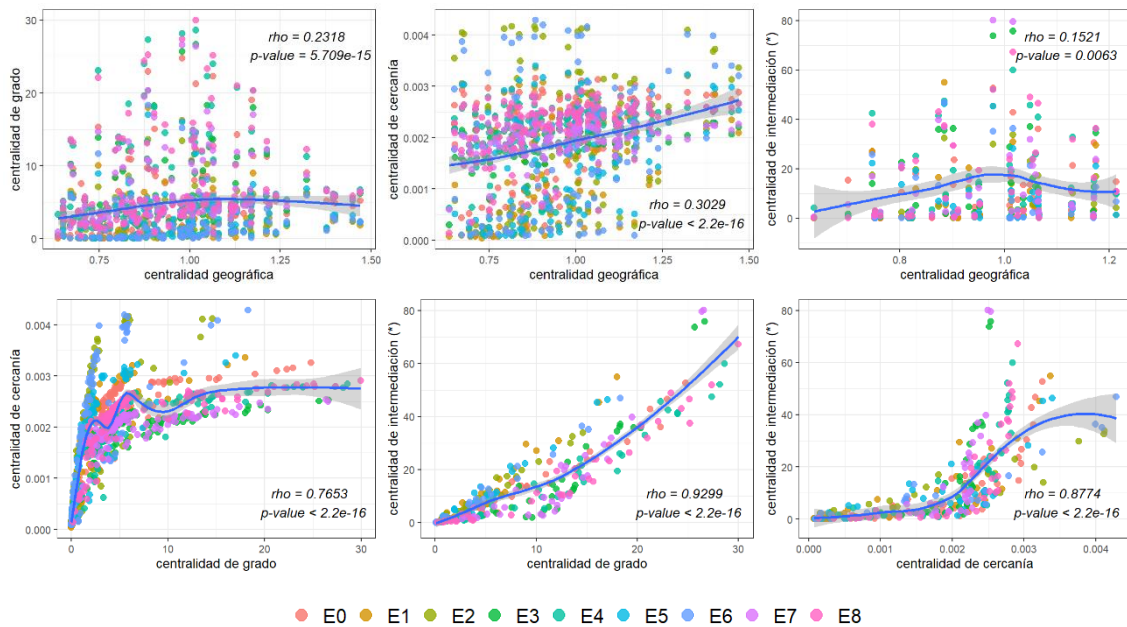


Figura 6.14. Correlación de métricas de centralidad para todos los escenarios. (*) En el cálculo de la centralidad de intermediación solo se representa a las ET.

El primer rasgo destacable es la acusada dispersión de los valores en la relación entre centralidad geográfica y medidas locales de centralidad, que expresan el nivel de relevancia de los agentes del sistema. A falta de estadísticos más concluyentes, el coeficiente ρ de Spearman (Daniel, 1978; de Winter *et al.*, 2016) revela una baja correlación entre dicha centralidad y las medidas de centralidad locales, con una significatividad del 95%. Esta circunstancia cuestiona el papel de la proximidad en la interacción espacial en redes jerárquicas como la que analizamos en este modelo, al tener un efecto irrelevante en el establecimiento de relaciones de subcontratación entre los agentes del sistema de transporte. Adicionalmente, la dispersión de los valores no muestra agrupamientos significativos por escenarios, lo cual indica que la escasa relación de la centralidad con la actividad se reproduce análogamente bajo situaciones dispares.

Por otro lado, las medidas de centralidad sí muestran una importante correlación entre sí. Por ejemplo, la recta de regresión derivada de la relación entre centralidad de grado y centralidad de intermediación, cuyos valores denotan una disparidad más acusada que los de la centralidad de cercanía, muestra una clara tendencia positiva que identifica a los agentes con mayor capacidad de influencia en el sistema. Por otro lado, en la relación entre las centralidades de intermediación

y cercanía, por un lado, y cercanía y grado, por otro, los saltos observados podrían ser considerados como significativos en lo que respecta a la existencia de puntos de ruptura a partir de los cuales la tendencia se altera de modo relevante.

En la siguiente tabla (6.9) se destaca a los diez agentes más influyentes del sistema junto con sus valores de centralidad y sus rangos. Como puede comprobarse, la correlación entre centralidad de grado e intermediación es muy significativa, mientras que la centralidad geográfica no ejerce ninguna influencia demostrable en el prestigio de los agentes más activos. Por otro lado, la centralidad de cercanía es prácticamente idéntica en todos los casos:

Tabla 6.9. Agentes más influyentes en el modelo TRANSOPE.

<i>Id</i>	<i>Escenario</i>	<i>Agente</i>	<i>Zona</i>	<i>Grado</i>	<i>Cercanía</i>	<i>Intermediación</i>	<i>Centralidad geográfica</i>
13	8	ET	gris	29.97 (1)	0.0029	67.28 (1)	1.0164 (6)
39	4	ET	verde	28.17 (2)	0.0028	52.13 (2)	0.9785 (7)
21	4	ET	rosa	27.33 (3)	0.0028	47.42 (4)	0.8847 (8)
26	8	ET	verde	25.13 (4)	0.0028	46.56 (5)	1.0638 (3)
40	8	ET	gris	24.37 (5)	0.0028	43.07 (6)	0.8741 (9)
46	8	ET	gris	23.33 (6)	0.0028	48.90 (3)	1.048 (5)
19	4	ET	cyan	23.07 (7)	0.0028	42.41 (7)	0.7474 (10)
41	8	ET	verde	21.00 (8)	0.0028	31.83 (9)	1.1303 (2)
34	4	ET	cyan	20.37 (9)	0.0027	36.12 (8)	1.1747 (1)
16	8	ET	gris	19.20 (10)	00.28	26.43 (10)	1.0598 (4)

Además de analizar la relevancia de los agentes de manera individual, las métricas globales permiten caracterizar las redes en cuanto a su estructura interna, su cohesión y su transitividad. Consideraremos diez medidas diferentes distribuidas en dos grupos: Las medidas globales de distancia y las medidas globales de centralidad. En el primer grupo, además de las métricas globales de distancia se incluyen el grado medio y el grado efectivo:

- *Densidad*. Se define como la relación de arcos presentes en la red frente al máximo de arcos posibles (Wasserman y Faust, 1994). Los valores de densidad resultantes oscilan entre 0, para las redes no conectadas, y 1, en el caso de las redes todos los agentes están conectados entre sí. En nuestro modelo los niveles de densidad serán muy bajos debido a que, al tratarse de un sistema jerarquizado, los agentes no establecen contacto con los de rango superior ni con sus iguales. Además, cada arco es computado como un único elemento independientemente de su peso, por lo que la densidad se reduce de modo mucho más significativo.
- *Grado medio*. Cada agente obtiene un valor de grado promediando las 30 repeticiones por cada escenario. A partir de estos grados promedio se obtiene el grado medio de cada escenario.

- *Grado efectivo*. Representa el cuantil 0.9 de la correspondiente distribución de grado de un grafo (Dong, Castro y Shaikh, 2020). Este métrico resulta de interés al compararlo con el grado medio, ya que permite identificar qué tipo de red es la que estamos analizando en cuanto a la distribución de grado se refiere.
- *Distancia APL (Average Path Length)*. Mide la longitud media de camino, es decir, es el camino geodésico medio entre todos los pares de nodos de la red (Newman, 2003). Su valor depende, por tanto, del tamaño de la red.
- *Diámetro*. Es la longitud del camino mínimo más largo de toda la red entre cualquier par de nodos, lo cual equivale a la mayor excentricidad registrada por un nodo (Wasserman y Faust, 1994). La importancia de esta medida radica en que, al computar la distancia entre los dos agentes de una red más alejados entre sí, nos da una crucial información sobre su tamaño.
- *Radio*. Considerando la excentricidad de una red como el camino más largo entre dos nodos, esta medida representa su opuesto, esto es, el valor mínimo de excentricidad de un grafo (Csardi y Nepusz, 2006).

Los valores de las métricas globales de distancia se exponen en la tabla 6.10. En primer lugar, los mayores valores de densidad son indicadores de un menor diámetro, por lo que allí donde la excentricidad es menor la red se muestra más densificada por la menor participación de agentes en las mismas, como ocurre en los escenarios 1, 2, 5 y 6, donde el mercado de transporte ofrece pocas operaciones. El grado medio sufre el efecto contrario, debido a que las situaciones de abundancia de operaciones de transporte (escenarios 3, 4, 7 y 8) eleva la participación media de los agentes, aunque en dichas situaciones la dispersión del grado de los agentes, proporcional al valor del grado efectivo, sea notablemente mayor (escenarios 4 y 8). El efecto de la mayor transferencia de información y conocimiento promueve además la aparición de agentes con gran influencia en el sistema, como se detalla a continuación.

Tabla 6.10. Métricas globales de distancia por escenarios.

	<i>Densidad</i>	<i>Grado medio</i>	<i>Grado efectivo</i>	<i>Distancia APL</i>	<i>Diámetro</i>	<i>Radio</i>
E0	0.0325	6.2090	13.3767	2.8246	27.4667	3.0667
E1	0.0294	3.9960	6.8633	2.9836	22.2	3
E2	0.0472	4.9305	8.9333	2.5639	17.5667	3
E3	0.0261	6.4343	12.43	3.0277	33.6333	3.6333
E4	0.0339	7.9624	20.7033	2.7238	28.9333	3
E5	0.0304	4.0841	6.98	2.9899	21.1	3
E6	0.0467	4.8473	8.0367	2.5731	17.6333	3
E7	0.0261	6.4928	12.7533	3.0082	34.9667	3.5667
E8	0.0340	7.9569	20.7267	2.7279	28.6	3

Del mismo modo, la longitud media de camino (APL) se ve afectada por la transferencia de conocimiento, puesto que esta distancia media entre agentes se acorta cuanto mayor es la comunicación entre ellos. Por último, el camino más corto entre pares de agentes es idéntico en todos los escenarios salvo en el 3 y en el 7, precisamente en aquellos donde el diámetro es más abultado.

Finalmente, los valores que nos indican la variabilidad de la centralidad dentro del grupo de agentes en cada escenario son la centralización de grado (C_D), la centralización de intermediación (C_B), la centralización de cercanía (C_C) y la centralización de vector propio (C_E). Cada uno de estos valores es el resultado de la centralización de la red para cada una de las métricas globales de centralidad y se obtienen aplicando la siguiente fórmula (Freeman, 1978, 1979; Csardi y Nepusz, 2006):

$$C_A = \frac{\sum_{i=1}^N [C_A(p_*) - C_A(p_i)]}{\max \sum_{i=1}^N [C_A(p_*) - C_A(p_i)]} \quad (6.4)$$

donde C_A es una medida de centralidad y $C_A(p_i)$ es el valor del agente i , mientras que p_* es el valor registrado máximo de la métrica C_A . En el denominador se sitúa el valor máximo teórico. El valor final es el promedio de las 30 repeticiones para cada escenario, que oscila entre 0, total equilibrio en los valores de centralidad, y 1, cuando un solo agente es totalmente central frente al resto, que presenta el grado mínimo:

Tabla 6.11. Métricas globales de centralización por escenarios. En negrita se destacan los escenarios que presentan mayor variabilidad en cada métrica.

	C_D	C_B	C_C	C_E
E0	0.1188	0.0080	0.2351	0.7287
E1	0.1436	0.0170	0.2807	0.7803
E2	0.1940	0.0256	0.2860	0.7118
E3	0.0888	0.0056	0.2200	0.7535
E4	0.1050	0.0050	0.2212	0.6911
E5	0.1465	0.0183	0.2898	0.7788
E6	0.1952	0.0264	0.2891	0.7151
E7	0.0900	0.0057	0.2093	0.7515
E8	0.1065	0.0057	0.2164	0.6883

El valor máximo teórico (max_t) se calcula de diferente modo dependiendo de la métrica de centralización utilizada (p.e., $max_t(C_D) = (n-1)*(n-2)$, mientras que $max_t(C_B) = (n-1)^2*(n-2)$ y $max_t(C_C) = (n-1)*(n-2)/(2n-3)$) (Wasserman y Faust, 1994). La centralidad de vector propio de un nodo, por su parte, es mayor si este está conectado con otros nodos que tienen muchas

conexiones (Bienenstock y Bonacich, 2021). Para grafos dirigidos, como es el caso que nos ocupa, el valor máximo teórico de la centralización de vector propio es $max_t(C_E) = n-1$ (Bonacich, 1987; Butts, 2008).

Como resultado, observamos en la tabla 6.11 una mayor desigualdad de grado (C_D) concentrada en aquellos escenarios donde la transferencia de conocimiento es mayor (2 y 6) por efecto de la concentración de la actividad en periodos de escasez de operaciones. La centralización de intermediación se correlaciona positivamente con el grado, si bien sus bajos valores se deben a que un gran número de agentes, OL y TA mayoritariamente, presentan una intermediación local igual a 0 por encontrarse en los extremos de las CST. Asimismo, las redes derivadas de los escenarios con mayor escasez de trabajo (1, 2, 5 y 6), a pesar de contar con menor número de agentes participantes, son las que sufren una variabilidad más acusada respecto a la centralización global de cercanía.

La relación entre las diferentes medidas globales de centralidad mostradas por el sistema TMC puede lograrse mediante la normalización de los resultados. De esta manera obtenemos un diagrama en el que los escenarios se agrupan de acuerdo con la cercanía de los valores globales de la red formada exclusivamente por los agentes participantes. En la figura 6.15 se ordenan los valores mediante un dendrograma, el cual empareja los escenarios con mayor afinidad. El escenario de referencia E0 se encuentra en el centro del diagrama.

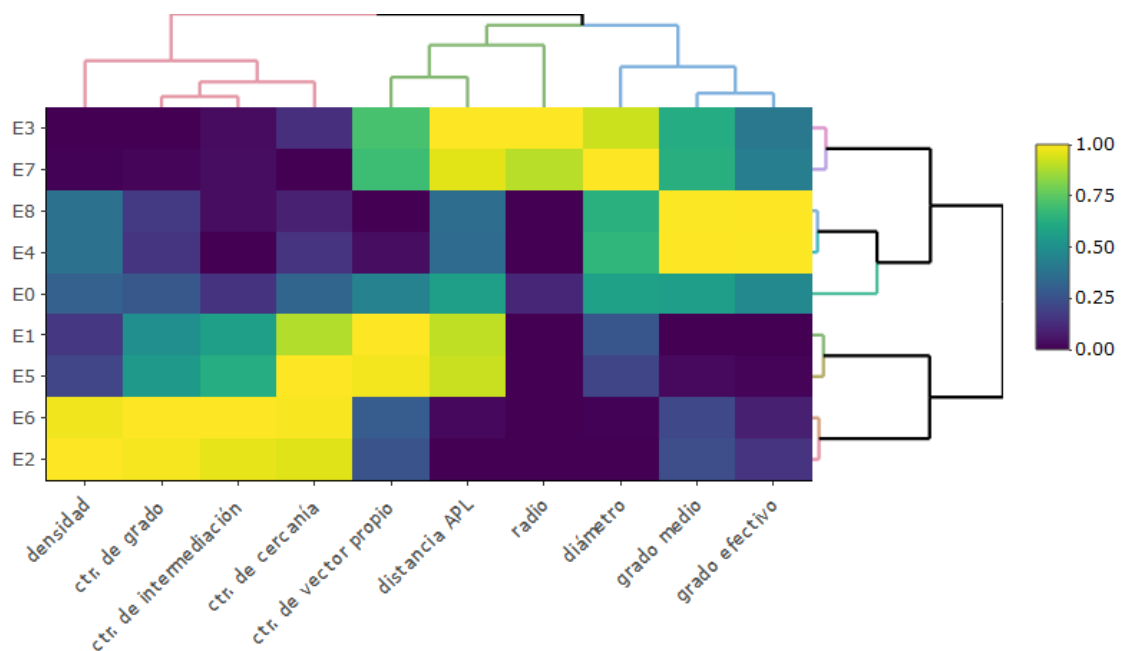


Figura 6.15. Métricas normalizadas de distancia y de centralidad por cada escenario.

Este primer diagrama es muy clarificador en cuando al tipo de redes surgidas a partir de la subcontratación de proveedores TMC. Métricas de distancia tales como la distancia media de

camino (APL), el radio o el diámetro muestran un comportamiento opuesto a la densidad y a las medidas globales de centralización (salvo la métrica global de vector propio) en los pares E2-E6 y E4-E7. Un menor tamaño de red (E2 y E6) significa mayor densidad de la red aunque al mismo tiempo provoca una mayor desequilibrio en la centralidad de sus agentes, y a la inversa en el par de escenarios E3-E7. En el resto de pares de escenarios esta relación no es tan evidente.

Igualmente, todas estas métricas globales pueden ser agrupadas de acuerdo con su nivel de correlación positiva (figura 6.16). Como se comprobó con las medidas locales, altos valores de grado se corresponden con altos niveles de intermediación, lo que se considera un rasgo típico de las redes libres de escala. Así, según Barabási y Albert (1999), un agente con más cantidad de conexiones que otro incrementará su conectividad debido a los vínculos preferenciales, aumentando dicha diferencia a medida que la red crezca.

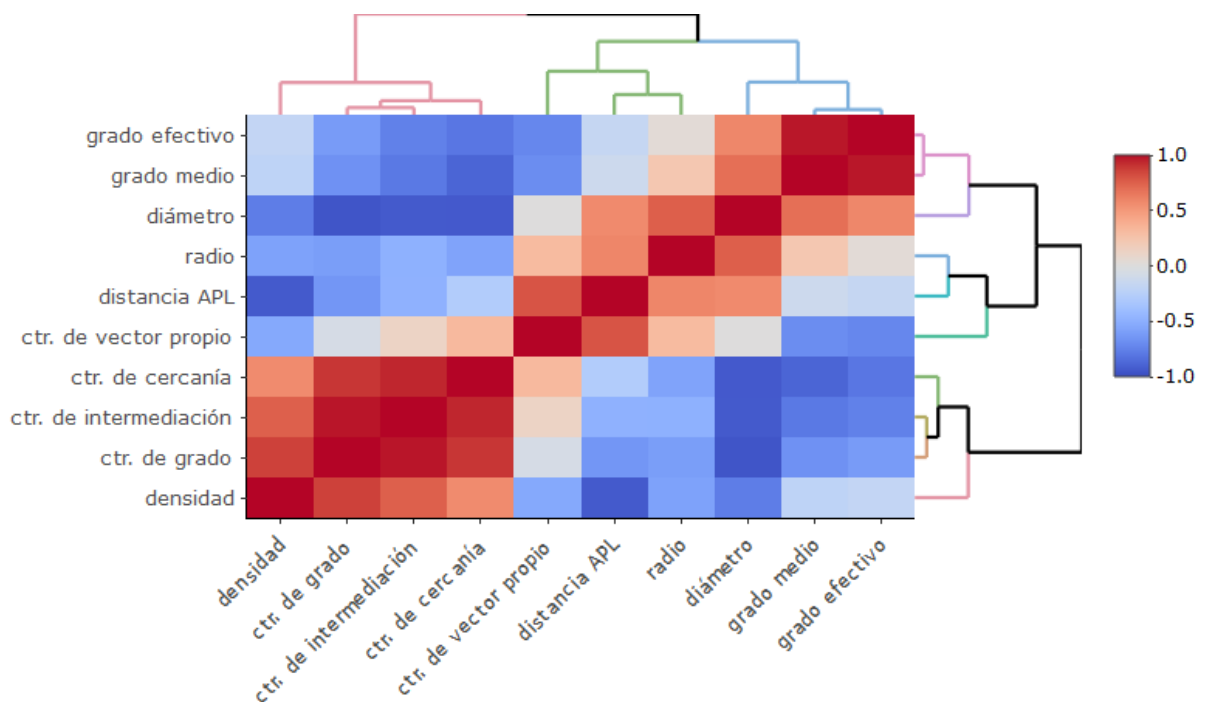


Figura 6.16. Matriz de correlación entre las métricas.

En resumen, en este apartado hemos extraído y analizado las métricas más significativas de nuestro modelo de simulación de subcontratación de proveedores TMC de acuerdo con la metodología de análisis de redes sociales (Freeman, 1978, 1979; Wasserman y Faust, 1994; Barabási, 1999; Albert y Barabási, 2001; Newman, 2003; Boccaletti *et al.*, 2005; Ducruet y Lugo, 2011). En primer término, se ha constatado el significativo nivel de correlación entre medidas locales de centralidad como el grado y la intermediación, indicador que sitúa a esta red compleja en el ámbito de las redes libres de escala. Por otro lado, del contraste de estas métricas con la centralidad geográfica puede deducirse que la proximidad geográfica no constituye un factor relevante en la formación de las CST, esto es, en la colaboración entre agentes de transporte en

base a vinculaciones preferenciales. Finalmente, la influencia de los agentes aumenta más en condiciones de mayor transferencia de conocimiento e información. Las métricas globales demuestran importantes diferencias entre los nueve escenarios, si bien existen rasgos de afinidad significativos entre pares, como se demuestra en la figura 6.16.

3.1.3.2. Preferencias de colaboración en función de la zonalidad

Como ha quedado expresado en los objetivos específicos, uno de los aspectos clave de esta investigación es, por un lado, averiguar si los agentes que intervienen en las operaciones de TMC colaboran preferentemente con otras de su entorno más cercano cuando las condiciones de contratación cambian y, por otro, determinar qué factores provocan que esto ocurra.

De acuerdo con la denominada “primera ley de la geografía” formulada por Tobler (1970; 2004), el algoritmo que define el comportamiento de los agentes de este modelo en el momento de formalizar cada CST contempla la proximidad al cliente como un factor de posible ventaja ante otros competidores. Esto significa que una empresa contratadora, ante la situación de tener que elegir entre dos proveedores que presentan iguales aptitudes para la realización del transporte, se decantará preferentemente por aquel que se encuentre a una menor distancia. Sin embargo, esta circunstancia se ve alterada por otros factores, como la diferencia entre las aptitudes de cada agente, la situación del mercado de transporte o la transferencia de conocimiento entre agentes.

La figura 6.17 nos muestra la contratación por zonas cuando los contratadores son los operadores logísticos y los subcontratados las empresas de transporte. En el eje de abscisas observamos las zonas de procedencia de los OL, y en las ordenadas se indican las frecuencias relativas de contratación de las ET, según la zona a la que pertenecen. La ventaja que ofrece la proximidad de las ET a los OL de su misma región parece evidente bajo ciertas circunstancias. Sin embargo, ciertos factores parecen alterar este equilibrio, favoreciendo notablemente la colaboración con agentes de otras regiones.

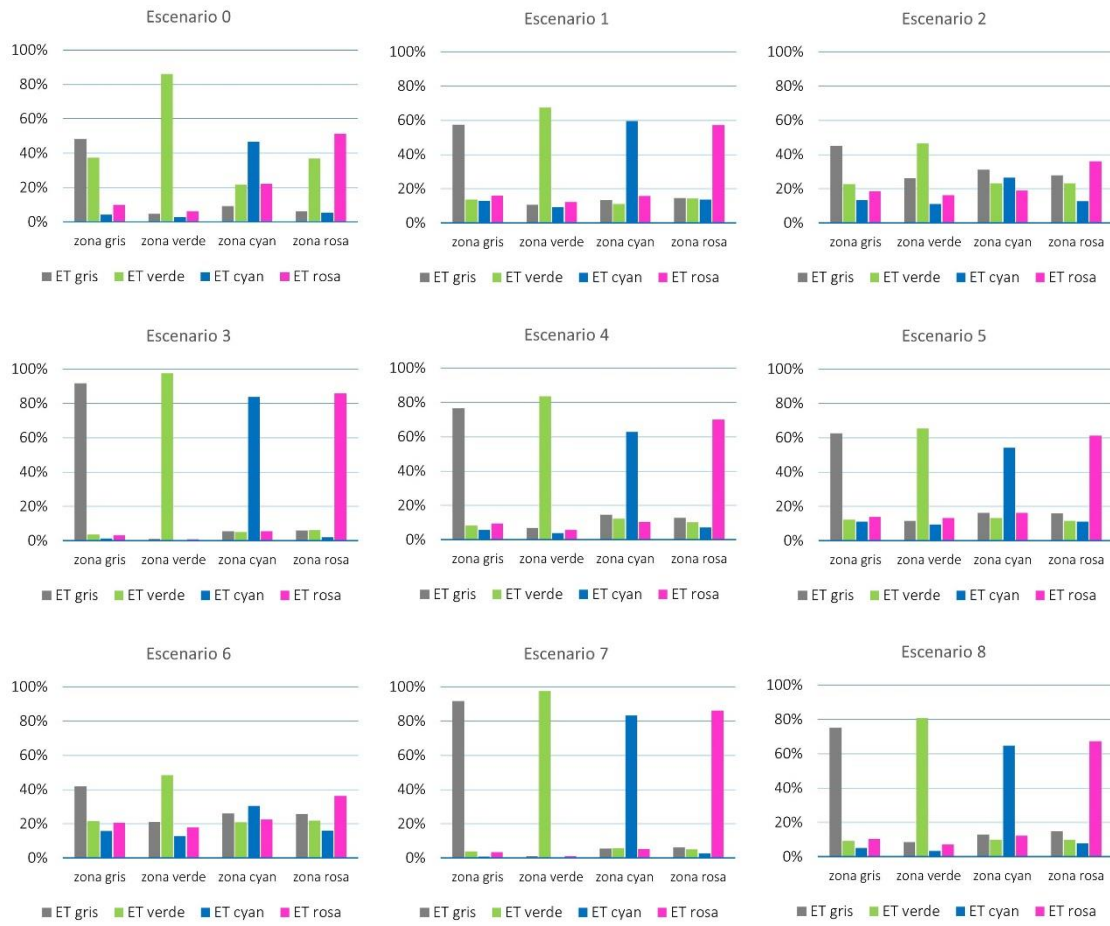


Figura 6.17. Contratación de ET por parte de los OL en función del área.

Tomando siempre el escenario 0 como referencia puede observarse cómo en los escenarios 1 y 2, por un lado, y 5 y 6, por otro, la colaboración interzonal es más intensa. En los cuatro escenarios mencionados la SMT está por debajo del nivel de equilibrio entre oferta y demanda ($SMT = 0.5$), lo cual provoca una mayor competitividad entre las empresas de transporte por atraer la atención de los operadores. Además, si bien existe un ligero descenso en las frecuencias relativas, puede determinarse que el aumento de la distancia interregional de 5 km (escenarios 1 y 2) a 25 km (escenarios 5 y 6) no constituye una barrera a la colaboración entre agentes de diferentes zonas. Por último, los resultados muestran importantes diferencias en función del factor kt (transferencia de conocimiento). A mayor difusión de conocimiento entre agentes, mayor colaboración entre agentes de diferentes zonas. En este sentido, la escasez de operaciones de transporte ($SMT = 0.5$) intensifica este efecto, como puede observarse en los escenarios 2 y 6.

Otro aspecto relevante lo constituye el hecho de que, a pesar de presentar una composición de agentes muy similar en cuanto a la proporción, dentro de la tendencia general cada región muestra un comportamiento particular. En un extremo encontramos la zona verde, en la que los OL se decantan preferentemente por los TA de su entorno en todos los escenarios, mientras que en la zona cyan las colaboraciones con otras regiones son más intensas, especialmente en condiciones de menor trabajo y mayor transferencia de conocimiento.

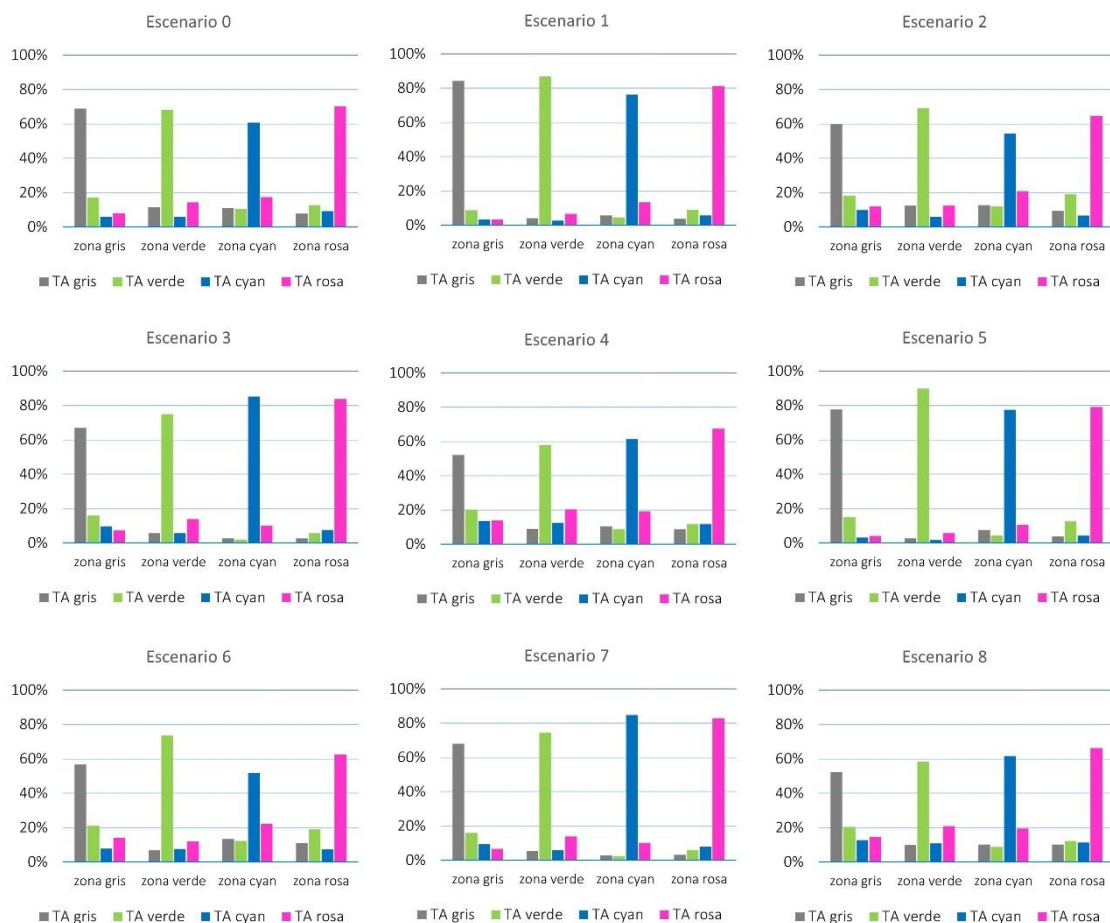


Figura 6.18. Contratación de TA por parte de las ET en función del área.

En el siguiente nivel de las CST, es decir, cuando son las empresas de transporte las que subcontratan a transportistas autónomos (figura 6.18), la intensidad de las colaboraciones entre agentes de diferentes zonas decrece significativamente. Una de las razones estriba en el mayor número de TA disponibles en cada zona, lo que permite a las ET considerarlos como la primera opción de subcontratación. Esta preferencia por las colaboraciones intrazonales es especialmente acusada en situaciones de baja transferencia de conocimiento, mientras que a mayores niveles de intercambio de conocimiento mayores posibilidades de colaboración fuera del propio entorno local. En efecto, esta relación entre dispersión de la demanda de servicios de transporte y la comunicación entre actores dependientes de la innovación y el conocimiento ha sido identificada como una de las tendencias generales del sector (Janelle y Beuthe, 1997), en el marco de un cambio en la geografía de los procesos productivos que ha acarreado al mismo tiempo la adaptación de la geografía de la distribución de mercancías (Hesse y Rodrigue, 2004).

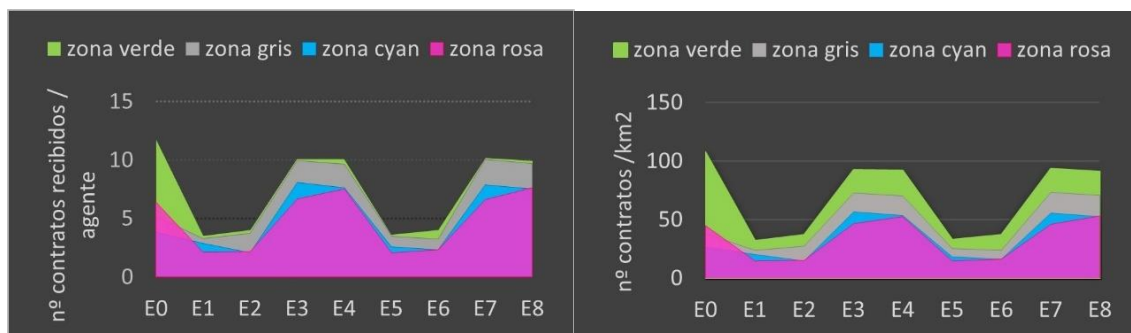


Figura 6.19. Contratación de TA por parte de las ET en función de la zona.

Inicialmente, para facilitar la absorción de conocimiento mediante la proximidad física (Tallman y Phene, 2007), la organización de los sistemas TMC locales se establece alrededor de clientes cargadores a partir de relaciones de colaboración basadas en la confianza derivada de los contactos cara-a-cara (Boschma, 2005), en el manejo de medios técnicos similares y en la coincidencia de intereses. Este podría ser el caso de aquellos sistemas TMC locales más tradicionales, con poca capacidad innovativa y escasa propensión hacia la colaboración con otras zonas, como podemos ver en los escenarios 1, 3, 5 y 7, donde la menor cantidad de conocimiento compartido es, a pesar de todo, suficiente para mantener operativo el sistema internamente en cada espacio. En cambio, en otro tipo de sistemas organizativos, en los que prevalecen estructuras complejas surgidas a partir de redes sociales, la propagación del conocimiento no se circunscribe a un espacio geográfico limitado (Bunnell y Coe, 2001; Boschma, 2005), sino que se difunde como consecuencia de la existencia de redes de innovación que implican tan solo a los agentes que forman parte de dicha red, independientemente de su proximidad respecto a la misma.

3.1.3.3. Distribución de roles en el sistema TMC

A partir de las relaciones de subcontratación establecidas entre las empresas en función de su zonalidad, es posible analizar en qué grado dichas empresas se integran en el sistema y qué tipo de rol desempeñan en él. Para ello utilizaremos los indicadores de clusterización propuestos por Guimera y Amaral (2005) para el análisis de la conectividad en sistemas complejos. Además, los roles de cada agente dentro del sistema serán establecidos de acuerdo con la clasificación propuesta por los mismos autores. Una aplicación de esta metodología en el campo de la Geografía del transporte la encontramos en Beckers *et al.* (2018), donde se busca identificar y clasificar los clústeres logísticos en Bélgica combinando indicadores de concentración espacial, como el coeficiente de Gini y la I de Moran local (LISA) (Anselin, 1995), e indicadores de relaciones entre empresas como el grado intramodular (z-score) y coeficiente de participación (P) (Guimera y Amaral, 2005), que serán explicados más adelante. Por otro lado, Sun *et al.* (2016) utilizan los indicadores de conectividad para analizar la estructura modular de la red intraurbana de bus en Dublín, primero identificando comunidades potenciales, y después categorizando cada nodo según su importancia en la red. Otros campos como el análisis de redes sociales aplicadas al consumo (Zuo *et al.*, 2018), estudios biológicos sobre redes de plantas polinizadoras (Bosch *et al.*,

2009) o investigaciones neurológicas sobre la actividad cerebral (Rubinov y Sporns, 2011) han empleado igualmente esta metodología en el análisis de la modularidad en redes complejas.

El grado intramodular o *z-score*, de acuerdo con la denominación de los autores, mide la intensidad de las conexiones entre un agente y el resto de agentes de su zona (Guimera y Amaral, 2005), ofreciendo así información sobre su grado de centralidad en la red (Sun, Mburu y Wang, 2016). Este indicador se expresa como

$$z_i = \frac{k_i - \overline{k_{s_i}}}{\sigma_{k_{s_i}}} \quad (6.5)$$

donde k_i es el número de contratos cerrados por el agente i con otros agentes de su misma zona, $\overline{k_{s_i}}$ es el promedio de k en la zona s_i , y $\sigma_{k_{s_i}}$ es la desviación estándar de k en s_i . Teniendo en cuenta que en nuestro modelo existe un número limitado de contratos a realizar durante cada jornada, y que la distribución de estos evoluciona de acuerdo con un criterio de vinculación o elección preferencial (Albert y Barabási, 2001), un número n de agentes presentará valores negativos en este indicador en función del escenario. Además, el tipo de grafo resultante muestra una estructura modular o comunitaria (Newman, 2003), lo que provoca que la densidad de contratos entre los agentes de una zona sea mayor que entre los agentes de diferentes zonas. El valor de k_i se obtiene promediando las 30 repeticiones del modelo para cada agente y escenario.

Por otro lado, el coeficiente de participación o *P-coefficient* indica el nivel de colaboración de un agente con las empresas de otras zonas (Guimera y Amaral, 2005; Beckers *et al.*, 2018), y se define como

$$P_i = 1 - \sum_{s=1}^{M_N} \left(\frac{k_{is}}{k_i} \right)^2 \quad (6.6)$$

Donde k_{is} es el número de contratos cerrados por el agente i con los agentes de la zona s y k_i es el total de contratos cerrados por el agente i . Los valores cercanos a 1 indicarán una distribución uniforme de los contratos entre todos los módulos, mientras que la ausencia de contratos con agentes de otras zonas tendrá como resultado un valor igual a 0. Del mismo modo que con el grado intramodular, la distribución de contratos responde a una función de densidad $f(x)$ tal que un número indeterminado de proveedores obtendrá $P_i = 0$ al no conseguir ser seleccionado por ningún cliente.

La combinación de los parámetros obtenidos para cada nodo permite categorizar a los agentes según el rol que desempeñan en el sistema de transporte. Siguiendo la clasificación elaborada por Guimera y Amaral (2005) pueden distinguirse siete tipos de roles de acuerdo con los parámetros detallados en la tabla 6.12: *Nodos ultra-periféricos (R1)* con muy poca conectividad intra- e intermodular, *nodos periféricos (R2)* con un grado de conectividad mayor aunque poco relevante, *nodos conectores no centrales (R3)* con un importante grado de integración en la red aunque no excesivamente relevantes en su zona (Beckers *et al.*, 2018), *nodos sin arraigo (R4)* en los que la conectividad hacia otras zonas es notablemente mayor que la intrazonal, *hubs provinciales (R5)* que presentan un alto grado de conectividad interna pero poca colaboración con otras zonas, *hubs conectores (R6)*, muy bien integrados tanto en su red local como en el conjunto del sistema, y, finalmente, *hubs sin arraigo (R7)*, cuya vocación hacia el exterior, a pesar de su conectividad intrazonal, no refuerza las comunidades locales (Beckers *et al.*, 2018).

Tabla 6.12. Niveles de conectividad en una red compleja (Guimera y Amaral, 2005).

	<i>Grado intramodular, z</i>	<i>Coefficiente de participación, P</i>
R1 Nodos ultra-periféricos	< 2.5	< 0.05
R2 Nodos periféricos	< 2.5	0.05 < P < 0.62
R3 Nodos conectores no centrales	< 2.5	0.62 < P < 0.8
R4 Nodos sin arraigo	< 2.5	> 0.8
R5 Hubs provinciales	> 2.5	< 0.3
R6 Hubs conectores	> 2.5	0.3 < P < 0.75
R7 Hubs sin arraigo	> 2.5	> 0.75

Como ya ha quedado explicado anteriormente, las contrataciones se realizan siempre manteniendo la estructura de las CST, que se concreta en la cadena OL→ET→TA. Esto significa que, de acuerdo con dicha estructura, la distribución de grados en una CST será siempre $g_{(OL)} = 1$, $g_{(ET)} = 2$ y $g_{(TA)} = 1$, lo cual equivale al número de contratos cerrados por cada agente en una CST. Esta circunstancia implica que $g_{(CST)} = 2|E|$, siendo E el número de contratos realizados dentro de una CST.

La representación gráfica de los dos indicadores para cada agente (figura 6.21) revela notables variaciones de los roles desempeñados en función del escenario. Así, observamos cómo en el escenario 0 (figura 6.20), donde los valores de las variables son neutrales, existe un reducido grupo de hubs conectores (R6) y nodos conectores no centrales (R3) formados por OL y ET que ejercen un rol estructurador del sistema, mientras que el resto de agentes juega un papel menor (R1 y R2). En todo caso, la recta de regresión muestra una importante dispersión de los datos.

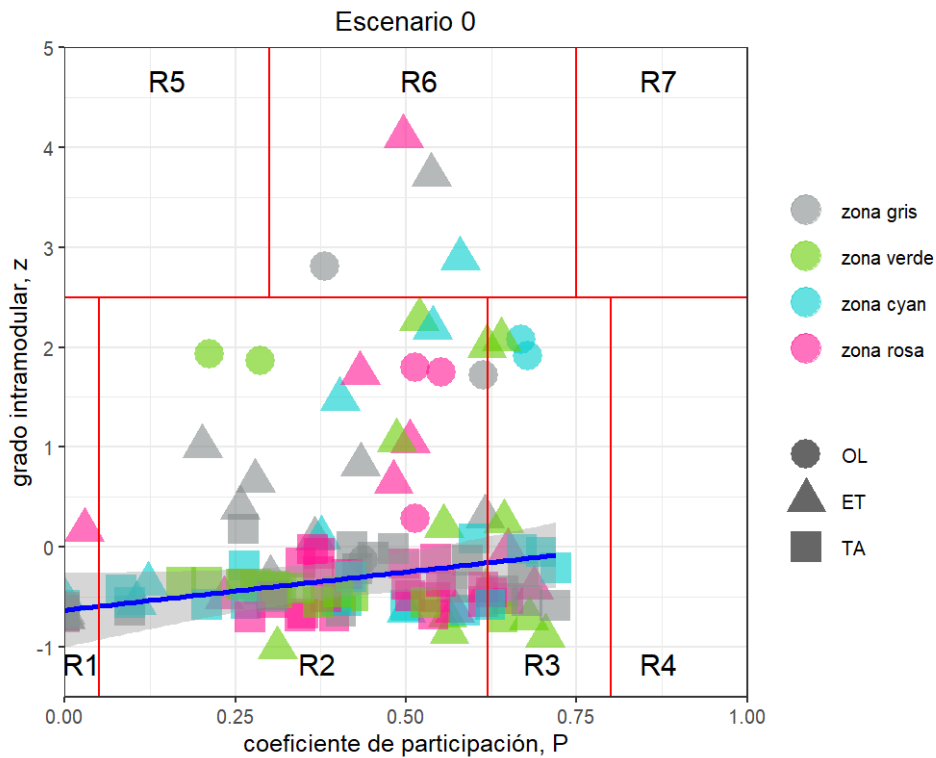


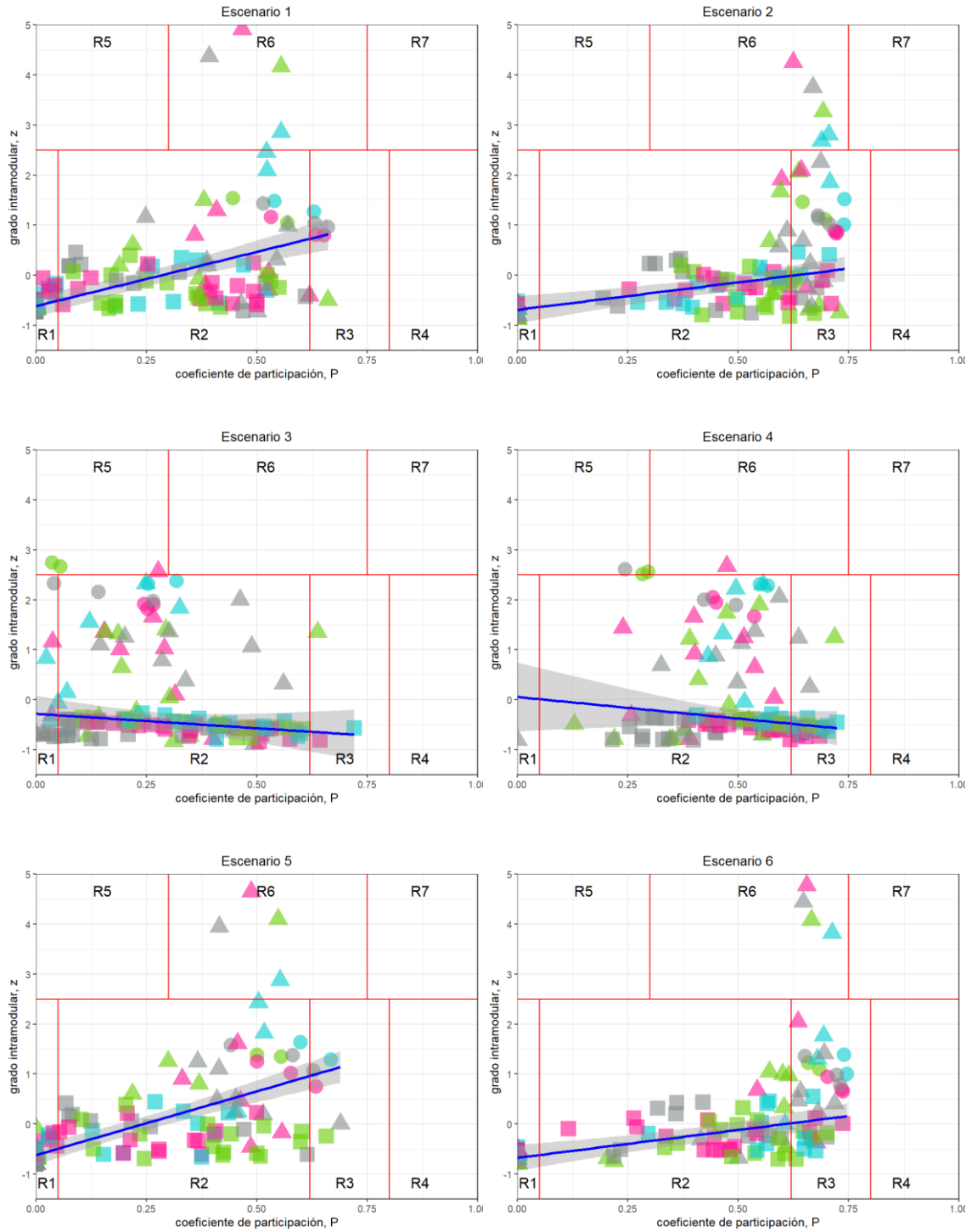
Figura 6.20. Distribución de roles en el escenario 0.

En relación con la funcionalidad del sistema de transporte, el rol con mayor valor dinamizador a escala local y regional lo constituyen los hubs conectores o R6 (Beckers *et al.*, 2018) seguidos de los nodos conectores no centrales o R3, cuya menor implantación en la propia zona es compensada por su alta conectividad interzonal. Considerando esta circunstancia y el escenario 0 como referencia, los siguientes escenarios presentan aspectos muy destacables en relación con la distribución de roles y el efecto que las variables del modelo ejercen sobre la misma. Seguidamente se detallan estos aspectos:

1) *La estructura del sistema se ve significativamente afectada por la SMT.* Por un lado, la escasez de operaciones de transporte a realizar (escenarios 1, 2, 5 y 6) derivan en una estructura jerárquica dominada por cuatro o cinco ET en el rol de hubs conectores (R6) y dinamizada por otros nodos conectores no centrales (R3), mientras que el resto de agentes muestra una menor dispersión respecto a la recta de regresión. En el extremo opuesto, los escenarios con abundancia de operaciones de transporte a realizar (3, 4, 7 y 8) registran una estructura del sistema de transporte mucho más dispersa, donde los OL ejercen un rol más influyente en tanto que hubs provinciales (R5), mostrando bajos niveles de participación interzonal.

2) *La articulación del sistema recae en un pequeño número de empresas de transporte, sobre todo en las situaciones de menor volumen de operaciones a realizar.* En estos escenarios el trabajo se reparte de una manera muy desigual entre el conjunto de agentes, tal como se deriva del coeficiente de Gini analizado en el punto anterior. De este modo, solo unas pocas ET son seleccionadas preferentemente por los OL para la realización de las operaciones de transporte

para las cuatro zonas, adquiriendo así un papel de hubs conectores (R6), mientras que el resto permanece en niveles muy bajos de participación, especialmente en sus propias zonas (grado intramodular $z < 1$).



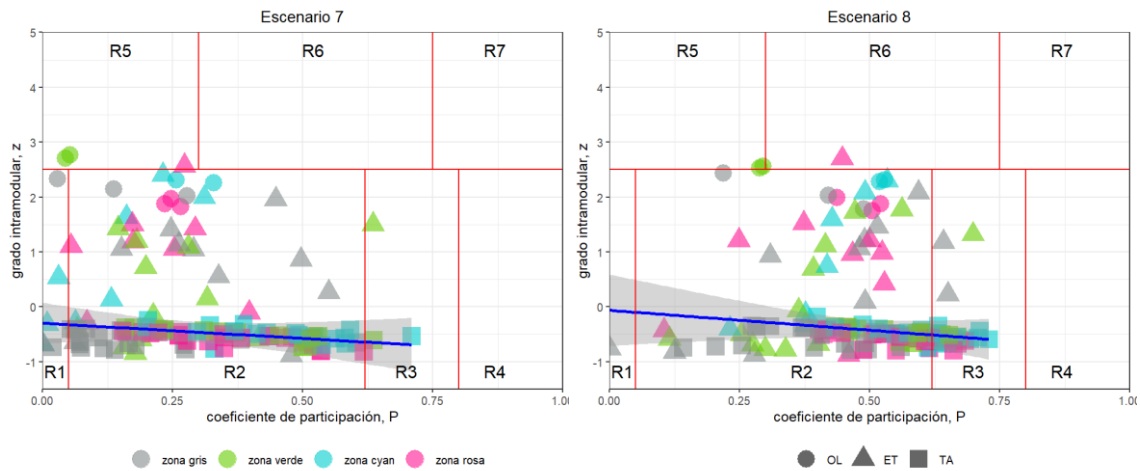


Figura 6.21. Distribución de roles de agentes según su capacidad de asociación.

3) La transferencia de conocimiento impulsa la colaboración interzonal, como puede observarse en los gráficos de los escenarios 2, 4, 6 y 8. Este fenómeno resulta todavía más evidente en los escenarios de bajo SMT (2 y 6), donde un importante número de agentes, entre los que se encuentran todos los OL, ejercen un rol conector aunque no del tipo hub (R3). Los procesos de aprendizaje a partir de la difusión transversal de información y conocimiento afectan todavía más positivamente a aquellos agentes que mantienen un alto grado de participación intrazonal, como es el caso de varias ET. En los escenarios 4 y 8, donde la distribución de los contratos de transporte está menos concentrada en un selecto grupo de agentes, los indicadores sitúan a buena parte de estas ET en el rango R2 (grado intramodular $z < 2.5$), aunque varias de ellas muy próximas a la calificación como hubs conectores.

4) El factor distancia ejerce un escaso impacto en la distribución de roles y en la estructura del sistema. Recordando que en el modelo TRANSOPE la distancia entre zonas es de 5 km en los cuatro primeros escenarios y de 25 km en los cuatro últimos, el análisis comparativo entre pares de escenarios revela una acusada uniformidad en cuanto a la combinación de los dos indicadores para cada agente. No se observan diferencias reseñables en la actividad contractual de los agentes en ninguno de los pares comparados, salvo entre los escenarios 2 y 6, donde la mayor distancia parece situar en el escenario 6 a un grupo de cuatro ET (una de cada zona) en una situación de mayor conectividad intrazonal. Sin embargo, las rectas de regresión muestran una distribución prácticamente idéntica en los cuatro pares de escenarios comparados.

En resumen, de acuerdo con el análisis de roles podemos afirmar que dentro de un sistema local de transporte de mercancías por carretera las interacciones diarias entre agentes de diferentes rangos y capacidades van construyendo una red de relaciones preferenciales que persiste en el tiempo. En ellas la transferencia de información y conocimiento juega un papel fundamental en la aparición de roles centrales conectores, cuya participación en el sistema resulta aun más determinante en situaciones de escasez de contratos de transporte.

Para finalizar, en línea con la revisión crítica del análisis de redes sociales (Schwanen, 2016), es necesario poner de relieve que, al calor del fenómeno de la complejidad, las particularidades de las realidades periféricas adyacentes a estructuras como la que aquí se estudia, a pesar de formar parte del mismo fenómeno, corren peligro de ser oscurecidas al priorizarse a menudo la identificación de dinámicas rectoras relacionadas con la globalidad frente a la investigación de las interacciones con el entorno desde una óptica local. Por ello, el análisis de redes desarrollado en este punto se complementa con el análisis de asociación espacial local en torno a la difusión del conocimiento que se desarrolla a continuación.

3.2. Formación de clústeres logísticos a partir de la difusión del conocimiento

En el punto anterior la interacción entre agentes ha sido estudiada fundamentalmente desde la óptica del análisis de redes sociales (SNA), considerando el sistema como una red adaptativa compleja formada por agentes con diferentes roles y rangos. Sin embargo, las interacciones no solo se producen entre los agentes de transporte que demandan y ofrecen servicios de transporte, sino que la actividad deja un rastro en el territorio a partir del intercambio de información y conocimiento. En efecto, la creación y difusión de conocimiento, como señalan Camagni y Capello (2009), es un proceso generado a partir del aprendizaje individual y colectivo que se desarrolla a una escala local, en el cual la micro-dinámica del conocimiento se despliega tanto a nivel conceptual como a nivel práctico (Strambach y Klement, 2012). Como vimos en el punto 3.1.3.2, la proximidad geográfica es, por tanto, un elemento fundamental en la difusión del conocimiento, si bien existen otros tipos de proximidad, como la organizacional o la cognitiva, que también pueden explicar el aprendizaje interactivo y la innovación (Boschma, 2005; Balland *et al.*, 2014).

En este apartado se analizará el modo en que la intervención de todos estos elementos provoca el intercambio de información y conocimiento, con incidencia especial en áreas determinadas, y, como consecuencia, posibilita la aparición de entornos con altos índices de asociación espacial gracias a la actividad de sus agentes.

3.2.1. Del aprendizaje de los agentes a la difusión espacial del conocimiento

En primer lugar, es necesario recordar que los agentes interactúan unos con otros en el espacio a través de las operaciones de subcontratación que se realizan diariamente. Entendido dicho espacio como un medio dinámico e innovador, las empresas que operan en este tipo de entornos comparten tanto modos organizativos como know-how (Méndez, 1997), a lo que se añade el aprendizaje como consecuencia de la adquisición de mayores conocimientos y experiencia a medida que se van completando las operaciones. Este aprendizaje tiene un doble efecto: por un lado, los agentes que acumulan aprendizaje resultan más fiables para la realización de nuevas operaciones, por lo que tendrán más probabilidades de ser elegidos, y, por otro, el aprendizaje adquirido por los agentes se transmite a través del territorio, distinguiéndose de esta manera entornos con alta concentración de conocimiento frente a otros donde la transmisión es escasa.

En este punto analizaremos la distribución de los niveles de aprendizaje de los agentes en función de la zona en la que se ubican en el modelo (figura 6.22). Para ello compararemos sus resultados siguiendo el método no paramétrico de Kruskal-Wallis (Hollander *et al.*, 2014). Este test equivale a la prueba de comparación de medias ANOVA, si bien se recomienda para muestras con distribución no normal donde el estadístico comparado es la mediana. El test H de Kruskal-Wallis asume la similitud de la distribución de la variable analizada en todos los grupos, además de que las muestras recogidas sean aleatorias e independientes (Ostertagova *et al.*, 2014).

Inicialmente, la aplicación del test H considera H_0 como la no presencia de variaciones entre las cuatro zonas. Como alternativa a esta hipótesis H_1 plantea la existencia de diferencias significativas entre al menos dos de las zonas. En caso de desestimarse H_0 serán necesarias pruebas adicionales para determinar entre qué zonas se producen las diferencias.

Sea como fuere, antes de decantarse por un método de comparación de medias es necesario realizar una prueba de bondad de ajuste y un análisis de varianzas. El primer paso consiste en comprobar la normalidad para cada zona en todos los escenarios efectuando la prueba de Shapiro-Wilk en la plataforma Rstudio (Shapiro y Wilk, 1965; Crawley, 2012). Como se vio más arriba, la hipótesis nula, que sostiene que no hay normalidad en los datos, resulta aceptada con una significatividad del 95% si $p\text{-value} < 0.05$. Una vez comprobado que la distribución no se ajusta a los parámetros de normalidad, es necesario comprobar la homogeneidad de las varianzas (Ostertagova *et al.*, 2014) mediante la prueba de Levene (Fox y Weisberg, 2019). Para conjuntos de datos con distribución no normal como los que aquí analizamos es necesario un resultado de $p\text{-value} > 0.05$ que indique la aceptación de la hipótesis nula de igualdad de varianzas y, por tanto, la idoneidad de la utilización del test H.

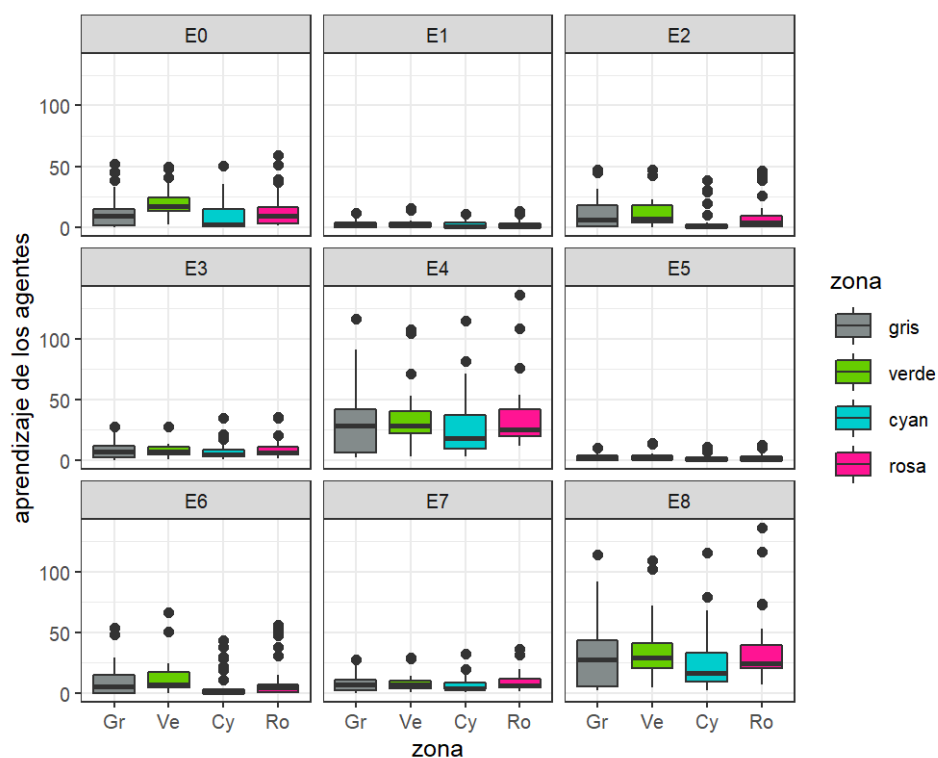


Figura 6.22. Distribución de los valores de aprendizaje de los agentes por zonas y escenarios.

Una vez realizadas estas pruebas de ajuste, es posible comparar los valores de aprendizaje de los agentes por zonas. El test H revela diferencias significativas entre las zonas en solo cuatro de los nueve escenarios (0, 2, 5 y 6). Para identificar las zonas con diferencias importantes utilizamos la prueba de suma de rangos de Wilcoxon (Crawley, 2012; Hollander *et al.*, 2014), que resultan significativas si $p\text{-value} < 0.05$. Tras su aplicación, los resultados muestran un escenario 0 con importantes diferencias en el valor del aprendizaje de los agentes en casi todos los conjuntos de datos pareados, salvo en las comparaciones entre las zonas gris y cyan, y gris y rosa. Más allá de las diferencias registradas en el escenario de referencia, las únicas diferencias significativas las encontramos entre las zonas verde y cyan en los escenarios 2, 5 y 6, en los que la SMT indica escasez de operaciones de transporte y, como se ha demostrado más arriba, reparto desigual de la actividad.

Tabla 6.13. Distribución de los valores de aprendizaje de los agentes por zonas y escenarios.

	Levene	Test H	Gris-Verde	Gris-Cyan	Gris-Rosa	Verde-Cyan	Verde-Rosa	Cyan-Rosa
E0	0.9239	0.0001449	0.0033	0.4113	0.4113	0.0012	0.0079	0.0359
E1	0.9471	0.2041	-	-	-	-	-	-
E2	0.3846	0.001064	0.55945	0.07238	0.55945	0.00023	0.07238	0.09876
E3	0.8941	0.4751	-	-	-	-	-	-
E4	0.8653	0.1766	-	-	-	-	-	-
E5	0.817	0.04832	0.559	0.478	0.981	0.048	0.478	0.342
E6	0.835	0.006003	0.3133	0.4421	0.7526	0.0019	0.1388	0.1388
E7	0.9133	0.3059	-	-	-	-	-	-
E8	0.9104	0.1334	-	-	-	-	-	-

De acuerdo con los resultados obtenidos, podemos concluir que por lo general no existen desequilibrios zonales significativos en el aprendizaje de los agentes. Sin embargo, en el caso de las situaciones de escasez de operaciones de transporte a realizar, se detectan diferencias importantes entre las únicas dos zonas no contiguas del modelo. Este efecto tiene cierta relevancia dado que las diferencias de aprendizaje entre estas dos zonas parecen incrementarse cuando la distancia interzonal pasa de 5 km (escenarios 1 y 2) a 25 km (escenarios 5 y 6). En este caso podría entenderse que, ante situaciones de poca actividad, el distanciamiento entre zonas puede provocar desequilibrios en el proceso de aprendizaje de los agentes.

Estos posibles desequilibrios tendrán consecuencias apreciables en el territorio, dado que el aprendizaje de los agentes transformado en experiencia da paso a la creación de conocimiento en un contexto organizacional que incluye el entorno en el que estos se encuentran (Argote y Miron-Spektor, 2011). En el siguiente punto analizaremos la difusión del conocimiento en el espacio y la formación de entornos preferenciales de concentración de conocimiento.

3.2.2. Localización de entornos TMC con alta concentración de conocimiento

El resultado del proceso de transferencia de conocimiento a partir del aprendizaje de los agentes es la distribución espacial del conocimiento en las cuatro zonas que componen el modelo. Al participar en las operaciones de transporte de una manera regular debido a su posición principal en las CST, los OL actúan como grandes focos de transferencia de conocimiento hacia su entorno más inmediato, dado que la difusión de la información es un proceso condicionado por la localización de los agentes (Cowan, 2005). Sin embargo, la conformación de verdaderos entornos de difusión de conocimiento dependerá del grado de participación de otros agentes de menor rango en las operaciones y de su aportación al conocimiento desde el rol específico que desempeñan en cada CST. En este sentido, Inkpen (1996) describe alrededor del concepto de colaboración la espiral de la creación de conocimiento, la cual se inicia a un nivel individual, se traslada a un nivel grupal y, finalmente, al nivel empresarial. En el caso del sector TMC, las colaboraciones conllevan además la compartición de información relevante sobre procedimientos de transporte, tratamiento de mercancías, normativas de seguridad y otros aspectos importantes, resultando de ello el refuerzo del conocimiento debido al aporte de la experiencia (Argote y Miron-Spektor, 2011).

Como se comentó en el punto anterior, el aprendizaje adquirido por los agentes se transmite a través del territorio de acuerdo con una expresión similar a aquella que define los indicadores de asociación espacial LISA (Anselin, 1995):

$$K_i = f(k_i, kp_i) \quad (6.7)$$

donde K_i es la cantidad de aprendizaje acumulado en la unidad espacial i y el momento t , y kp_i son los valores de aprendizaje de las unidades vecinas de i . El valor de K_i se actualiza al término

de cada jornada. De tal modo, simultáneamente a la colaboración y al intercambio de información y conocimientos, los agentes dejan una huella de su aprendizaje en el territorio que puede ser aprovechada por aquellos otros agentes que, encontrándose en el entorno, aun no han sido seleccionados para formar parte de una CST.

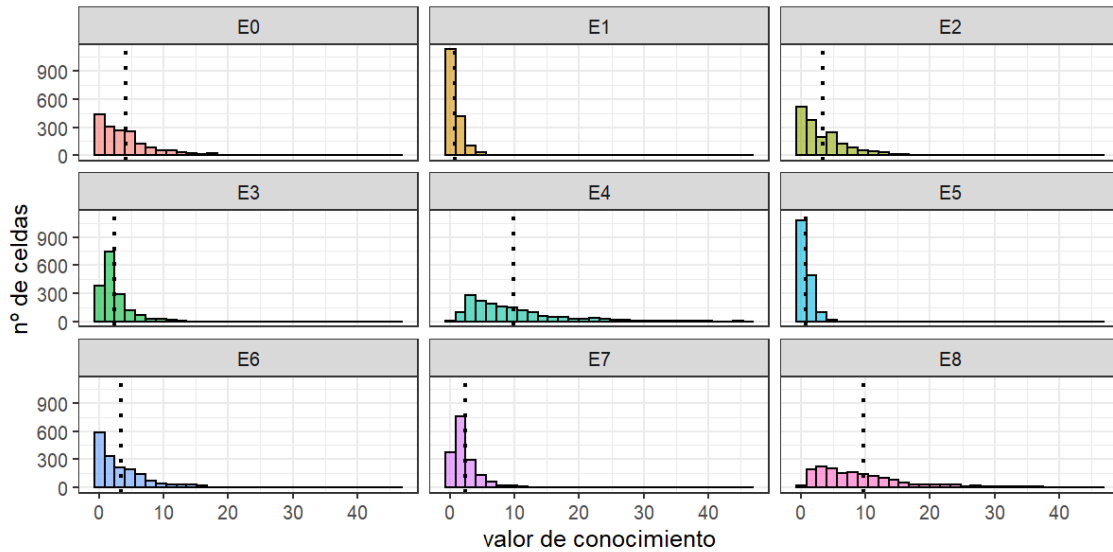


Figura 6.23. Histograma de los valores de conocimiento por escenarios. La media aritmética de cada escenario se expresa mediante una línea de puntos.

Con el fin de mostrar el resultado de la difusión del conocimiento a través del espacio contamos con dos tipos de representaciones basados en el método de coropletas, aunque el resultado sean mapas tipo ráster con los valores de conocimiento para cada celda, producto de la actividad y la interacción de los agentes entre sí y con el entorno. El primero se refiere a los valores totales, mientras que el segundo está basado en un indicador local de asociación espacial, como es el índice local I de Moran (LISA). Este, a su vez, se basa en el índice global I de Moran, que calcula la autocorrelación espacial de un conjunto de unidades espaciales respecto a una variable independiente del siguiente modo (Brunsdon y Comber, 2015):

$$I = \frac{n}{\sum_i \sum_j w_{ij}} \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} (z_i - \bar{z})(z_j - \bar{z})}{\sum_i (z_i - \bar{z})^2} \quad (6.8)$$

donde n es el número de celdas de la matriz, z es el valor de la variable independiente y w_{ij} es el (i, j) -avo elemento de una matriz de pesos espaciales, que detalla la dependencia las celdas i y j en función de si son celdas vecinas o no. Los valores del índice I de Moran cercanos a 1 indican una gran correlación espacial, mientras que si se sitúan en torno a -1 significarán gran dispersión de los datos. Los valores cercanos a 0 son muestra de la aleatoriedad de la distribución. Los índices

I de Moran relativos a la acumulación de conocimiento fueron calculados con ayuda del paquete *spdep* (Bivand y Wong, 2018) y exponen en la tabla 6.14.

Tabla 6.14. Índices I de Moran global para todos los escenarios de modelo.

	<i>I-Moran</i>	<i>Z-score</i>	<i>p-value</i>
E0	0.9151	73.35	< 2.2e-16
E1	0.8648	69.32	< 2.2e-16
E2	0.9446	75.74	< 2.2e-16
E3	0.8287	66.51	< 2.2e-16
E4	0.9263	74.31	< 2.2e-16
E5	0.8613	69.11	< 2.2e-16
E6	0.9430	75.63	< 2.2e-16
E7	0.8261	66.31	< 2.2e-16
E8	0.9226	74.01	< 2.2e-16

Los índices estandarizados de la I de Moran muestran una alta correlación espacial de la transferencia de conocimiento en todos los escenarios, todos ellos con *p-value* < 0.05, lo que permite rechazar la hipótesis nula de no asociación espacial y aceptar la alternativa de $I > 0$ (Brunsdon y Comber, 2015). El Z-score, por su lado, es el número de desviaciones estándar de *I* por encima de la media esperada (McLeod, 2019). En este caso se comprueba que tampoco existen diferencias importantes entre los escenarios respecto a esta medida.

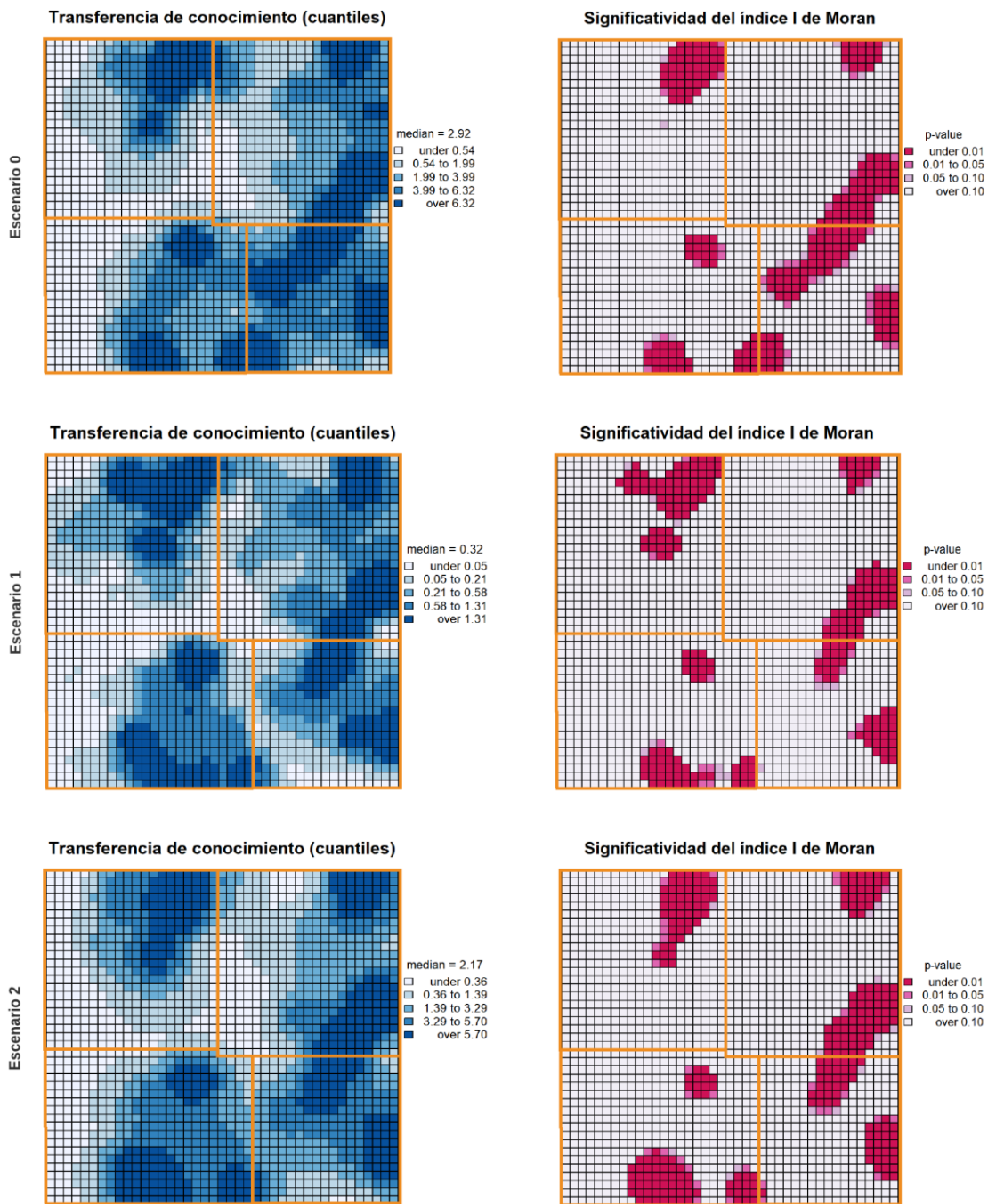
El siguiente paso dentro del análisis de asociación espacial consiste en identificar las áreas donde se producen clústeres debido a la mayor concentración de conocimiento. Para ello, Anselin (1995) idea un indicador local de asociación espacial (LISA) asignando un valor a cada unidad espacial a partir del índice I de Moran, de acuerdo con la expresión

$$I_i = (z_i / m_2) \sum_j w_{ij} z_j \quad (6.8)$$

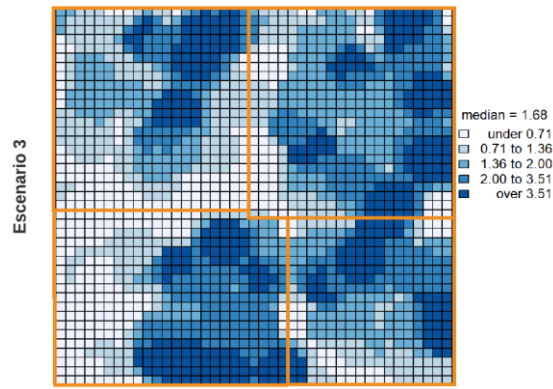
siendo $m_2 = n^{-1} \sum_{i=1}^n z_i^2$ (Bivand y Wong, 2018). En consecuencia, I_i devuelve el valor local del índice I de Moran para la variable de análisis, donde la media aritmética de todas las observaciones es igual al valor de *I*. Sin embargo, el valor que queremos representar es la significatividad de cada observación mediante el p-value. En este sentido, cuando es necesario examinar múltiples hipótesis simultáneamente, Brunsdon y Comber (2015) sugieren la utilización de métodos de ajuste para minimizar la probabilidad de considerar unidades espaciales como casos falsos en relación con la hipótesis nula de no asociación espacial. Uno de estos métodos es el llamado método FDR (False Discovery Rate) propuesto por Benjamini y Hochberg (1995), que controla los casos considerados como falsas alarmas en una pequeña proporción dada. De tal modo, el método FDR no solo detecta la existencia de agrupamientos o clústeres, sino que

además destaca aquellos otros espacios con marcado potencial de clusterización (Brunsdon y Comber, 2015).

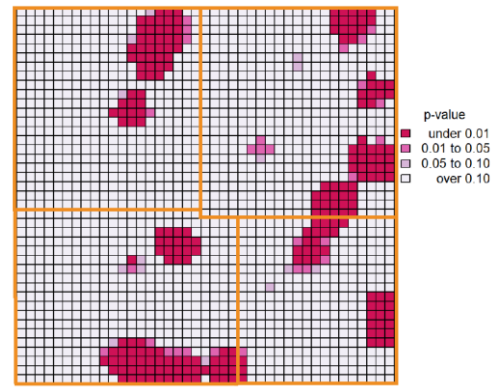
En la figura 6.24 podemos ver los dos tipos de representaciones por cada escenario, donde los resultados se expresan como valores adscritos a *patches* o unidades espaciales conformadas como una matriz de 41x41 celdas. Asimismo, las cuatro zonas del modelo se delimitan con líneas de color naranja. A la izquierda se observan los resultados totales distribuidos en cuantiles, por lo que tendremos celdas con valores de conocimiento por debajo del 20% del total, entre el 20% y el 40%, entre el 40% y el 60%, entre el 60% y el 80% y por encima del 80%. A la derecha se representa la significatividad del índice local I de Moran ajustado mediante el método FDR.



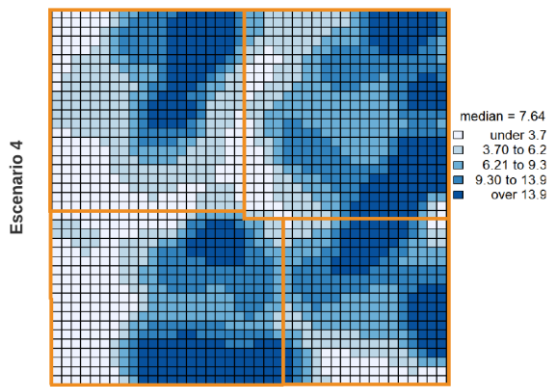
Transferencia de conocimiento (cuantiles)



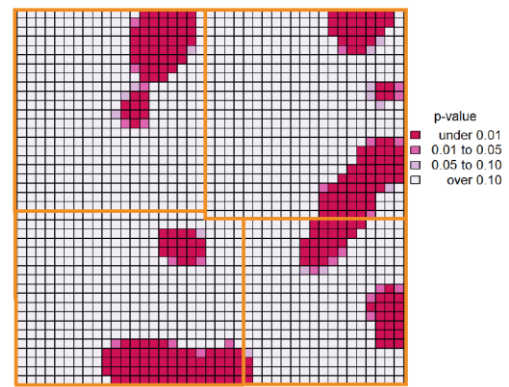
Significatividad del índice I de Moran



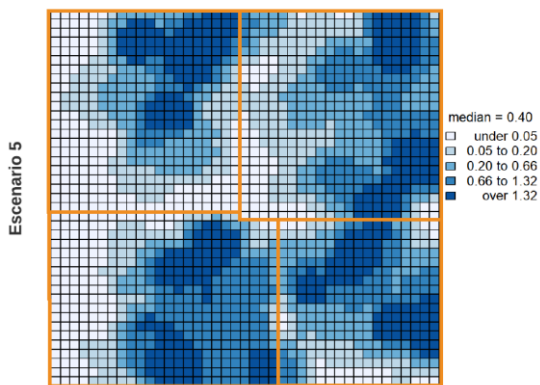
Transferencia de conocimiento (cuantiles)



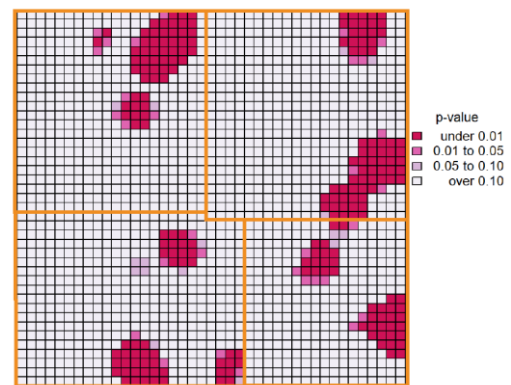
Significatividad del índice I de Moran



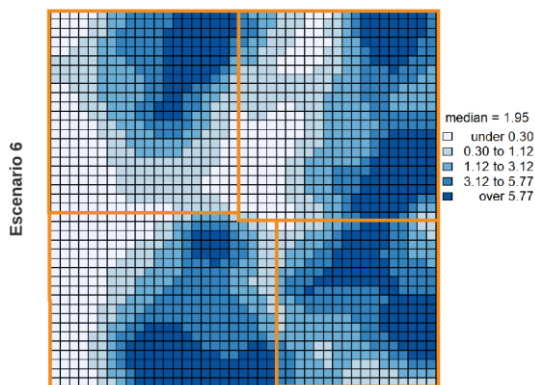
Transferencia de conocimiento (cuantiles)



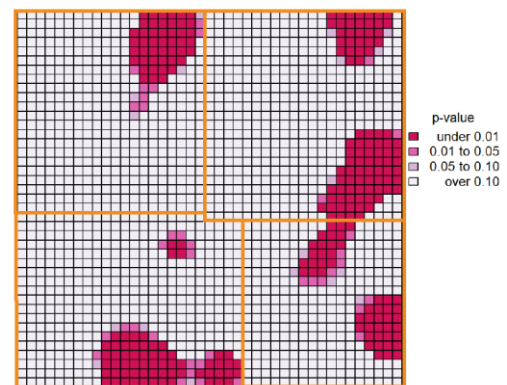
Significatividad del índice I de Moran



Transferencia de conocimiento (cuantiles)



Significatividad del índice I de Moran



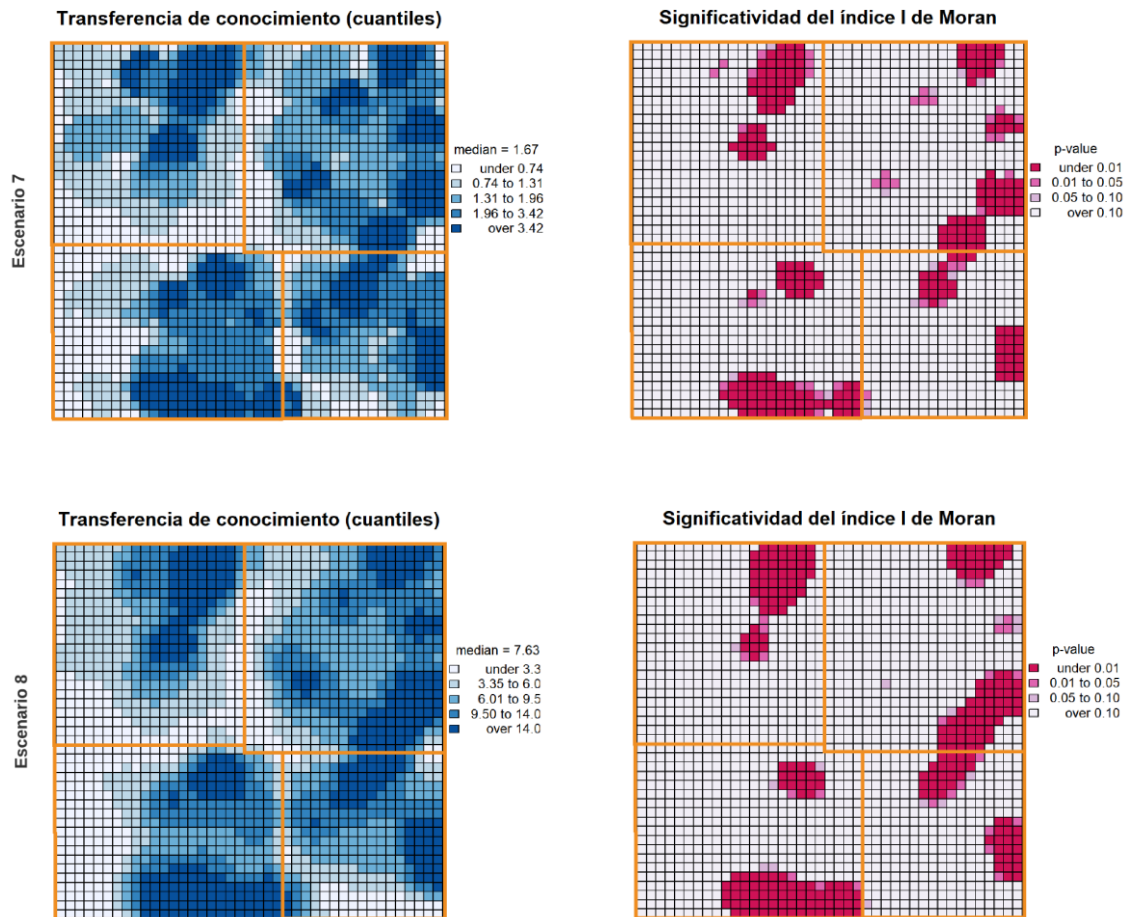


Figura 6.24. Formación de clústeres logísticos a partir de la transferencia de conocimiento.

Observando las mallas de la figura 6.24, intuitivamente se constata que en todos los escenarios hay ciertos clústeres que siempre están presentes, si bien con algunas variaciones de tamaño. Esta circunstancia se explica por la localización los OL en esos lugares, ya que su participación en las CST no depende de ser escogido por otro cliente y, por tanto, son capaces de transferir una gran cantidad de conocimiento a su entorno más próximo. Sin embargo, la diferencia estriba en la capacidad de los agentes de irradiar conocimiento y conectar con otras zonas donde se produce el mismo fenómeno, lo que puede denominarse como redes de conocimiento (Giuliani, 2007; Balland *et al.*, 2014). La proximidad geográfica, en este caso, es un elemento importante aunque no suficiente para explicar la difusión del conocimiento a través del territorio, ya que su comportamiento es selectivo y asimétrico, condicionado por las particulares circunstancias operativas y de mercado. En este sentido, podemos destacar los siguientes aspectos:

- *Formación de clústeres liderados por los OL.* Los intercambios de conocimiento se producen principalmente dentro de cada zona, dinamizados por el liderazgo de las OL. Sin embargo, la excepción a este patrón la encontramos en el caso de las zonas verde y rosa, donde es identificable un efecto spillover o de derrame (Audretsch y Feldman, 1996 y 2004) como consecuencia de la unión de dos clústeres allí donde se acumula el conocimiento. Este efecto se mantiene en todos los escenarios, si bien el aumento de la distancia interzonal, de 0 km (escenario 1) a 5 km (escenarios 1 a 4) y, finalmente, a 25

km (escenarios 5 a 8), atenúa la conexión entre ambas zonas, sobre todo en situaciones de menor nivel de transferencia de conocimiento (escenarios 1, 3, 5 y 7). El efecto spillover se beneficia ciertamente de la proximidad geográfica (Audretsch y Feldman, 2004; Eriksson, 2011), pero la interacción positiva entre áreas no colindantes gracias a la compartición de información, experiencias y conocimiento basadas en las nuevas tecnologías de la comunicación, en lo que podríamos denominar *clústeres geográficamente discontinuos*, se demuestra aquí en la prevalencia de este clúster a pesar del aumento de la distancia interzonal.

- *Reducida asociación espacial.* El conocimiento acumulado se extiende por el territorio a través de canales de difusión con diferentes rangos de intensidad. Estos canales de difusión son más evidentes cuando el nivel de transferencia de conocimiento es superior a la retención de lo aprendido (escenarios 2, 4, 6 y 8). El quintil 0.60 marca el punto por encima del cual el conocimiento es más intenso, señalando además algunas áreas con potencial para el desarrollo de mayor actividad de transporte. Sin embargo, la asociación espacial solo es fuerte en los núcleos de estos clústeres, como puede apreciarse en los mapas de significatividad. El índice I local de Moran desglosado por zonas (tabla 6.15) muestra una mayor asociación espacial en la zona rosa por encima del resto, mientras que el conocimiento acumulado se reparte sobre todo entre esta zona y la zona verde.

Tabla 6.15. Valores de conocimiento acumulado e I local de Moran por zonas y escenarios.

	<i>Conocimiento acumulado</i>				<i>Índice I de Moran</i>			
	<i>Z. rosa</i>	<i>Z. verde</i>	<i>Z. gris</i>	<i>Z. cyan</i>	<i>Z. rosa</i>	<i>Z. verde</i>	<i>Z. gris</i>	<i>Z. cyan</i>
E0	4.32	6.57	3.35	2.66	0.99	1.26	0.68	0.73
E1	0.82	0.83	0.73	0.66	1.05	0.87	0.68	0.78
E2	3.32	4.15	3.61	2.49	1.06	0.88	0.97	0.76
E3	2.60	2.40	2.25	1.96	0.93	0.68	0.79	0.76
E4	11.04	10.22	9.53	8.24	0.99	0.78	0.90	0.84
E5	0.80	0.86	0.78	0.61	1.03	0.87	0.68	0.76
E6	3.51	4.16	3.24	2.48	1.18	0.83	0.85	0.77
E7	2.55	2.37	2.24	1.91	0.92	0.69	0.78	0.77
E8	11.01	9.95	9.37	8.02	0.97	0.76	0.92	0.85

Esta discrepancia se confirma aplicando el coeficiente Rho de Spearman, que demuestra la ausencia de correlación entre ambos indicadores ($\rho=0.25$). En consecuencia, las celdas con asociación espacial significativa que conforman las áreas con muy intensa transferencia de conocimiento ocupan un área reducida en cada zona, que en ninguno de los escenarios y zonas no sobrepasa el 21% de su superficie, salvo en el escenario 0.

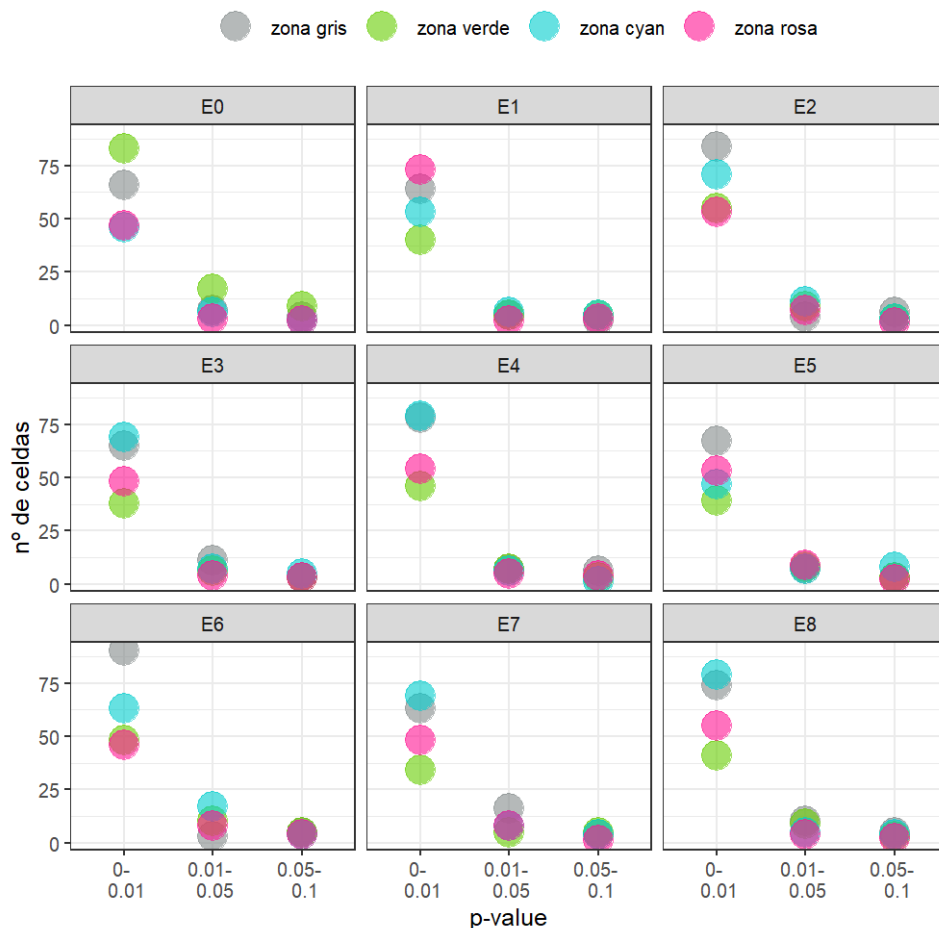


Figura 6.25. Distribución de celdas con p-value < 0.1 y ajuste FDR por zonas y escenarios.

Salvo la zona cyan, que muestra frecuencias menores de celdas con asociación espacial significativa, el resto de zonas mantiene niveles similares. No obstante, si atendemos al hecho de que en las zonas verde y cyan solo intervienen dos OL, uno menos que en las otras dos zonas, y recordando que son los OL quienes lidan el proceso de transferencia de conocimiento, cobra mayor importancia el comportamiento de la zona verde, donde la mayor densidad debida a su menor tamaño ejerce un efecto cohesionador en el conjunto de agentes.

- *Asimetría territorial.* Las áreas de influencia de los operadores logísticos reaccionan a los diferentes escenarios no siempre de un modo previsible. Por ejemplo, al comparar los escenarios 2 y 4 por un lado, y 6 y 8 por otro, en los que la situación del mercado de trabajo varía de 0.5 a 1.5 respectivamente, vemos que en las dos zonas más activas (zona rosa y zona verde) se genera una mayor tasa de celdas con asociación espacial significativa cuando precisamente el trabajo es menor, a pesar de que en todos estos escenarios la transferencia de conocimiento es máxima ($kt=0.8$). Sobre todo destaca el hecho de la fuerte asociación espacial en el clúster interzonal rosa-verde, el cual demuestra solidez pese a la fricción de la distancia.

Tabla 6.16. Superficie con asociación espacial significativa (p -value < 0.05) por escenarios y zonas.

	Superficie (%)				
	Z. rosa	Z. verde	Z. gris	Z. cyan	\bar{x}
E0	15.24	32.68	11.40	11.36	17.67
E1	14.41	14.71	12.94	17.05	14.78
E2	18.37	20.92	17.98	13.64	17.73
E3	15.87	14.38	16.67	11.82	14.69
E4	17.75	17.32	18.64	13.41	16.78
E5	15.45	15.36	11.84	14.09	14.19
E6	19.42	18.95	17.54	12.27	17.05
E7	16.49	12.75	16.89	12.73	14.72
E8	16.7	16.01	18.42	13.41	16.14
\bar{x}	16.63	18.2	15.81	13.31	15.99

Si bien esta gran asimetría espacial está lógicamente relacionada con la actividad de los agentes, es destacable el hecho de que la distribución de celdas con fuerte asociación espacial esté en todos los escenarios próxima al principio de Pareto incluso en aquellos donde la participación de todos los grupos es entre alta y muy alta. La conocida como regla 80/20, denominada como principio de Pareto aunque quizás más relacionada con la curva acumulativa de Lorenz (Juran, 1975) sostiene que “para muchos fenómenos el 80% de los outputs o consecuencias son producidos por el 20% de los inputs o causas” (Dunford *et al.*, 2014, p. 141). En el caso de nuestro modelo los promedios del indicador de asociación espacial altamente significativa por escenarios (tabla 6.16) muestran valores entre el 14% y el 18%, siendo el promedio general 16% y la desviación típica 2.04, con lo que podríamos decir de modo general que en todos los casos la acumulación de conocimiento producida por todos los participantes en las CST beneficia únicamente a una reducida parte del territorio.

En resumen, hemos demostrado que, incluso a un nivel de microanálisis, la participación de un conjunto de agentes distribuidos aleatoriamente por un territorio en operaciones de transporte bajo diferentes circunstancias es capaz de generar importantes desequilibrios en la distribución de las redes de conocimiento. Por otro lado, la asociación espacial significativa respecto a esta variable ha permitido no solo distinguir aquellas zonas donde el conocimiento se concentra con especial intensidad sino también identificar áreas de difusión potenciales, dado que el modelo simula la subcontratación de transporte realizada durante tan solo cinco días. Por último, se ha confirmado que la formación de clústeres de transporte no se debe únicamente a la proximidad geográfica, pudiendo llegar a formarse asociaciones colaborativas entre áreas no adyacentes basándose en la transferencia recíproca de información y conocimiento.

3.2.3. La interacción de agentes en los clústeres logísticos: propuesta de clasificación

En este último apartado investigaremos el tipo de interacción existente entre los clústeres logísticos identificados en el punto anterior con el fin determinar su grado de autonomía o si, por

el contrario, muestran relaciones de dependencia entre ellos. En la figura 6.26 se muestra un mapa con los agentes y todos los clústeres de nuestro espacio de análisis. La extensión de los clústeres se debe a la compilación de todas aquellas celdas que han obtenido un $p\text{-value} < 0.05$ en al menos uno de los nueve escenarios. En nuestro modelo, para que un área de alta acumulación de conocimiento pueda ser considerada como un clúster logístico es necesario que reúna dentro de su perímetro al menos tres agentes de diferente condición, es decir, que entre esos tres agentes puedan conformar una CST. De tal modo, se distinguen siete clústeres que cumplen esta condición y cuatro localizaciones aisladas de agentes en entornos localmente activos, sumando entre todos 48 agentes repartidos en once entornos, lo que supone el 37% del número total de agentes y el 55% del total de relaciones de subcontratación generadas en los nueve escenarios.

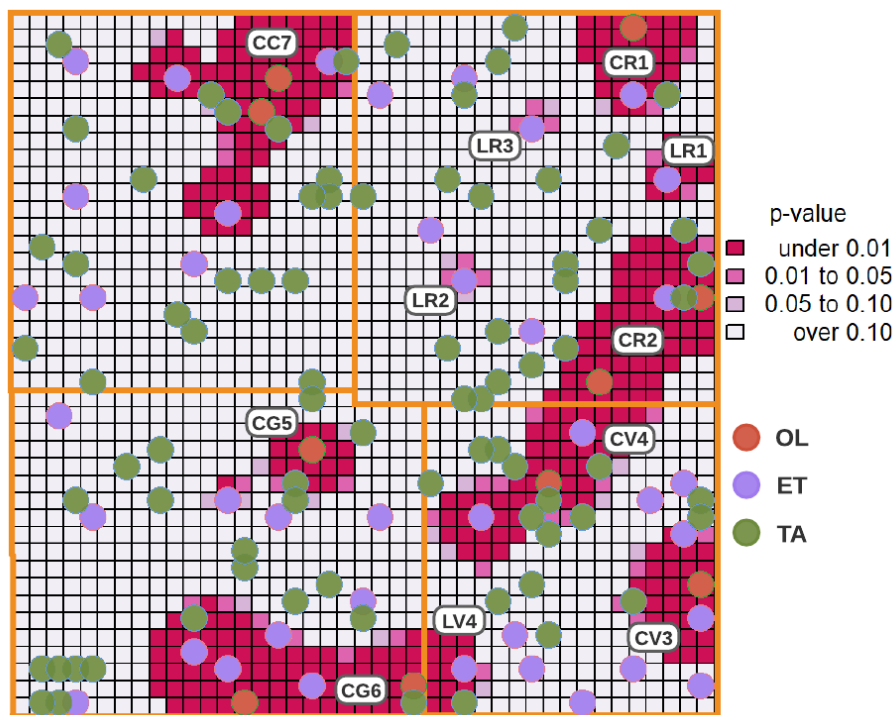


Figura 6.26. Compilación de clústeres TMC y ubicación de agentes.

La actividad de los clústeres TMC se mide a través de los niveles de subcontratación de los agentes que los componen. Nuevamente utilizaremos los arcos procedentes de los grafos para extraer para cada escenario el peso medio de las subcontrataciones realizadas (\bar{w}_{ij}) y de las subcontrataciones recibidas (\bar{w}_{ji}) de cada uno de ellos, donde i es la empresa contratadora y j es la empresa subcontratada. Este se obtiene promediando las observaciones de i a j registradas a lo largo de las n repeticiones del experimento por cada escenario para todos los agentes que forman parte del clúster c :

$$W_{c_{ij}} = \sum_c \sum_{i=1}^9 \frac{W_{ij}}{n} \quad (6.10)$$

La misma expresión es empleada para extraer el volumen de las subcontrataciones recibidas desde j a i . En la siguiente tabla (6.17) se detallan las composiciones de los clústeres y las localizaciones aisladas, además de los resultados globales de contratación realizada y contratación recibida entre agentes ubicados en estos entornos. Los resultados muestran una ratio positiva ($r_c > 1$) en aquellos entornos con mayor grado de salida que de entrada, o lo que es lo mismo, con mayor cantidad de contratos realizados con otros clústeres y localizaciones aisladas frente a los contratos recibidos desde estos entornos. De tal manera, una primera valoración de estos resultados podría motivar una clasificación en función de dos aspectos:

- 1) La transitividad de la contratación a través de los clústeres TMC, diferenciando entre entornos dinamizadores del sistema con alta vocación de intermediación y entornos menos dinámicos y más abocados a la terminación de las operaciones de transporte.
- 2) El tamaño y la composición de los clústeres, ya que, por un lado, una reducida cantidad de agentes puede limitar su capacidad de acción y, por otro, la relación de proporción entre los tres tipos de agentes determina su posición operativa en el conjunto del sistema.

Tabla 6.17. Composición y pesos de salida y entrada de los clústeres y localizaciones aisladas

	Zona	Sup.	OL	ET	TA	Total	$W_{c_{ij}}$	$W_{c_{ji}}$	r_c
CR1	rosa	33	1	1	1	3	377.57	225.09	1.68
CR2	rosa	67	2	1	4	7	753.05	563.31	1.34
CV3	verde	35	1	2	1	4	483.17	489.85	0.99
CV4	verde	61	1	2	6	9	420.42	652.27	0.64
CG5	gris	22	1	1	1	3	218.38	157.47	1.39
CG6	gris	83	2	4	2	8	875.58	794.71	1.10
CC7	cyan	86	2	3	4	9	801.55	766.42	1.05
LR1	rosa	12	0	1	0	1	45.73	121.73	0.38
LR2	rosa	4	0	1	0	1	14.85	86.5	0.17
LR3	rosa	4	0	1	0	1	14.27	100.87	0.14
LV4	verde	16	0	1	1	2	10.63	56.98	0.19

Sin embargo, para poder establecer con mayor precisión una clasificación de los clústeres de acuerdo con su papel en la articulación del TMC en el territorio es necesario analizar asimismo el modo en que estos se relacionan entre sí. En la tabla 6.18 se presentan estas relaciones en una matriz asimétrica OD con los pesos medios globales. El primer aspecto destacable es el importante volumen de operaciones realizadas dentro de cada clúster. Este hecho revela una fuerte cohesión interna en los clústeres basada en la acumulación de experiencia, retroalimentada por altos niveles de transferencia de información y conocimiento. Asimismo, los

porcentajes de contratación entre clústeres (excluyendo a las localizaciones aisladas) no muestran mayor interdependencia entre entornos de las mismas zonas, sino que la colaboración entre todos ellos está bastante repartida. De tal modo, las colaboraciones contractuales entre pares de clústeres, tanto para las subcontrataciones realizadas como para las recibidas, no sobrepasa en ningún caso el 20% del total (tabla 6.19).

Tabla 6.18. Matriz OD con los pesos medios globales de los clústeres y localizaciones aisladas.

		destino										
		CR1	CR2	CV3	CV4	CG5	CG6	CC7	LR1	LR2	LR3	LV4
origen	CR1	143.14	25.94	28.9	20.59	4.48	33.85	29.04	25.33	7.83	56.54	1.93
	CR2	20.71	327.45	49.31	68.77	11.62	69.6	54.58	65.78	59.15	23.25	2.83
	CV3	7.29	40.64	257.61	86.97	10.02	32.56	38.06	2.82	0.86	2.06	4.28
	CV4	6.39	18.13	26.74	313.27	3.53	22.37	19.48	2.53	1.47	2.18	4.33
	CG5	6.91	14.63	22.46	15.62	80.51	43.35	21.23	5.09	3.08	3.83	1.67
	CG6	17.95	55.81	49.42	87.64	31.1	514.33	67.33	8.14	6.02	5.23	32.61
	CC7	15.81	47.06	53.92	44.08	12.91	73.32	523.2	12.04	8.09	7.78	3.34
	LR1	4.69	25.72	0.51	6.21	1.49	1.67	5.01	0	0	0	0.43
	LR2	0.54	4	0.36	3.97	0.61	1.41	3.6	0	0	0	0.36
	LR3	1.33	3.36	0.49	3.25	0.7	0.75	4.23	0	0	0	0.16
	LV4	0.33	0.57	0.13	1.9	0.5	1.5	0.66	0	0	0	5.04

Tabla 6.19. Contrataciones realizadas y recibidas entre clústeres, en porcentajes.

Contrataciones realizadas (%)								Contrataciones recibidas (%)						
	CR1	CR2	CV3	CV4	CG5	CG6	CC7	CR1	CR2	CV3	CV4	CG5	CG6	CC7
CR1	38	7	8	5	1	9	8	64	5	6	3	3	4	4
CR2	3	43	7	9	2	9	7	9	58	10	11	7	9	7
CV3	2	8	53	18	2	7	8	3	7	53	13	6	4	5
CV4	2	4	6	75	1	5	5	3	3	5	48	2	3	3
CG5	3	7	10	7	37	20	10	3	3	5	2	51	5	3
CG6	2	6	6	10	4	59	8	8	10	10	13	20	65	9
CC7	2	6	7	5	2	9	65	7	8	11	7	8	9	68

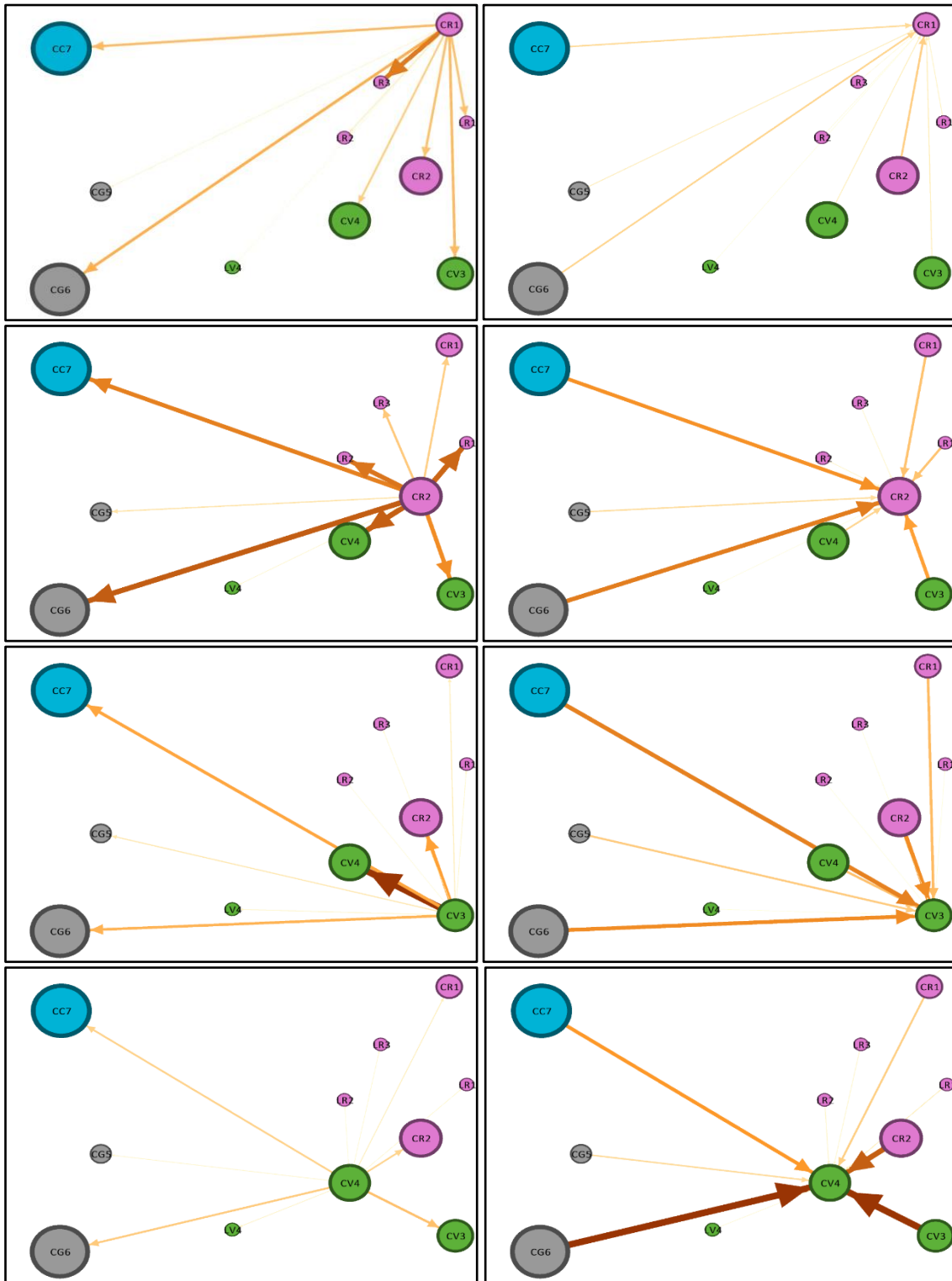


Figura 6.27. Relaciones de dependencia entre clústeres y localizaciones aisladas en función de la contratación realizada y la contratación recibida.

La representación gráfica de las relaciones de dependencia entre clústeres y localizaciones aisladas puede verse en la figura 6.27. El tamaño de los nodos es proporcional al volumen de contratación interno de cada entorno, mientras que las flechas son más gruesas y más oscuras cuanto mayor sea el volumen total de contrataciones. Esta imagen resulta muy significativa, ya que permite diferenciar dos tipologías de clústeres logísticos en el modelo. Por un lado, tenemos los entornos CG6 y CC7, quienes presentan los mayores índices de contratación interna debido a su gran tamaño y equilibrada composición de agentes. Sin embargo, este incontestable dominio impide o dificulta la proliferación y crecimiento de otros entornos dinámicos en sus correspondientes zonas. Esta circunstancia les obliga, pues, a colaborar con clústeres de otras zonas, donde la formación de estos entornos es más equilibrada. En efecto, en las zonas verde y rosa encontramos cuatro clústeres de tamaños diversos y cuatro localizaciones aisladas formando una red de colaboraciones densamente entretejida. Los flujos de contratación entre estos núcleos están más diversificados debido a que su volumen de contratación interna es menor que el de los clústeres anteriormente mencionados. Además, la formación de pequeños núcleos es un rasgo muy significativo en relación con el potencial dinamizador de estas dos zonas. En la siguiente figura podemos observar por separado la importancia de cada clúster logístico en el sistema.

Contrataciones realizadas

Contrataciones recibidas



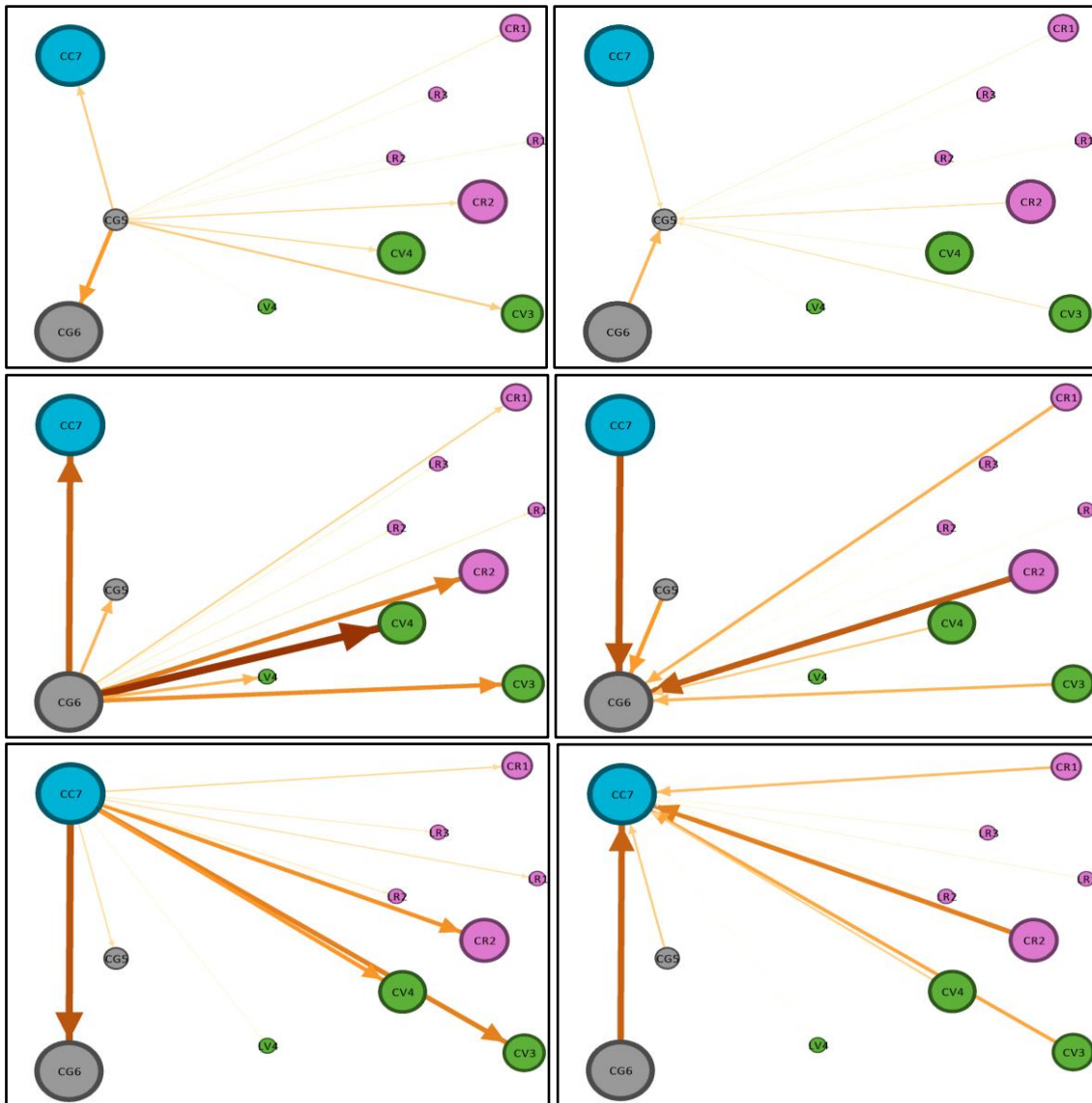


Figura 6.28. Detalle de las relaciones de dependencia entre clústeres en función de la contratación realizada y la contratación recibida.

Finalmente, las medidas recogidas hasta ahora en el modelo pueden servir como base para concretar una propuesta de clasificación de clústeres logísticos. A pesar de que la investigación relativa a los clústeres logísticos “se encuentra aún en su infancia” (Rivera *et al.*, 2016, p. 261), algunos trabajos como el de Beckers *et al.* (2018) han logrado identificar diferentes tipologías de concentración de actividad logística en función de la densidad local del empleo en el sector logístico y del análisis cuantitativo de las relaciones entre empresas y sus roles dentro del sistema. De un modo más general, Sheffi (2013) diferencia los clústeres de acuerdo con aspectos como la modalidad, el alcance operativo y la funcionalidad de estos entornos. Sin embargo, es necesario añadir a estas clasificaciones otras propuestas que contemplen las interacciones entre agentes respecto al intercambio de información y la acumulación de conocimiento. Asimismo, más allá de las relaciones internas de cada clúster, el análisis de las colaboraciones entre clústeres puede ayudar a comprender los mecanismos de articulación del sistema de transporte y a predecir su

evolución en el territorio. Para ello se han seleccionado los siguientes indicadores, recogidos a continuación en la tabla 6.16:

- *Tamaño (T_{cs}) y densidad (D_{cs}) del clúster.* La extensión de los clústeres, en km^2 , proporciona una información de gran interés, ya que depende de la capacidad de generar por parte de sus agentes un efecto de derrame o spill-over hacia áreas donde la actividad es más reducida, y por tanto su valor es proporcional al grado de influencia del clúster. Por su parte, la densidad, expresada en agentes/ km^2 , no resulta demasiado relevante para identificar la tipología del clúster, si bien ofrece una orientación sobre el impacto de la condensación de empresas TMC en un entorno concreto.
- *Ratio entre operaciones realizadas y operaciones recibidas entre los clústeres (r_{ij}).* Este indicador, expuesto más arriba, es útil para determinar de modo general si el clúster es más emisor que receptor de operaciones, lo cual le provee de una identidad operacional dentro del sistema y permite pronosticar su desarrollo futuro. Para el clúster i esta ratio se calcula como $r_{ij} = \sum_{i=1}^c W_{ij} / W_{ji}$, donde el numerador se refiere a las operaciones desde los agentes del clúster i hacia el resto de clústeres, y el denominador las operaciones procedentes de los otros clústeres que tienen como destinatario algún agente del clúster i .
- *Conectividad con el resto de clústeres (q_c).* La cooperación intensa con todos los clústeres de un territorio otorga capacidad de influencia en el sistema de transporte, de tal modo que la presencia de este tipo de clústeres puede ser considerada como altamente positiva debido al efecto cohesionador que producen. Para calcular la conectividad empleamos la expresión

$$q_c = \frac{\sum_{i \neq j}^t (w_{ij} / \bar{w}_j)}{n - 1} \quad (6.11)$$

donde w_{ij} es el peso de la contratación desde el clúster i al clúster j y \bar{w}_j es la contratación media recibida por el clúster j procedente del resto de clústeres, mientras que n es el número de clústeres y localizaciones aisladas identificadas. El perfecto equilibrio en el conjunto del sistema se consigue cuando todos los clústeres colaboran entre sí con la misma intensidad, resultando de ello $q_c = 1$ para cada caso. Sin embargo, el diferente potencial operativo provoca desequilibrios importantes en los flujos de contratación, dibujándose así un mapa marcadamente heterogéneo y asimétrico.

- *Centralidad media de los agentes del clúster (C).* Tal y como vimos en el punto 3.1.3.1. respecto a las medidas de centralidad de los agentes dentro de la red formada por las CST, tres métricas de centralidad fueron calculadas para cada agente. Estas tres medidas son la centralidad de grado (C_D), la centralidad de cercanía (C_C) y la centralidad de

intermediación (C_B), que conforman un único indicador de centralidad para el agente i al sumar las tres medidas y promediar los valores de los nueve escenarios:

$$C(i) = \frac{\sum_{i=1}^n C_D(i) + C_C(i) + C_B(i)}{n} \quad (6.12)$$

Con el fin de que los valores de $C(i)$ fueran comparables con otras variables se aplicó el método de estandarización Z-score o puntaje estándar, que consiste en restar μ a cada valor de $C(i)$ y dividirlo entre la desviación estándar. Finalmente, para obtener el valor de C_{cs} se extrae la media de los agentes de cada clúster. Los valores inferiores a 0 se encuentran por debajo de la media, siendo la desviación típica de la muestra estandarizada igual a 1.

- *Presencia de agentes con roles significativos.* En el punto 3.1.3.3. se analizó en qué medida los agentes colaboran con los agentes de su zona (grado intramodular, z) y con los agentes de otras zonas (coeficiente de participación, P) para determinar la importancia de cada uno de ellos en la red. Al igual que con los indicadores anteriores, los resultados obtenidos en los diferentes escenarios fueron promediados con el fin de obtener un valor único para cada agente. Así, en la tabla 6.20 figura por cada clúster el número de agentes que desempeñan roles no centrales, aunque mejor conectados con el resto de zonas ($R3$) y aquellos otros que presentan una posición central de prestigio ($R6$), ya que son capaces de ser importantes tanto en su propia zona como en el conjunto de la red.

Tabla 6.20. Indicadores de tamaño, actividad y conectividad de los clústeres y localizaciones aisladas. Entre paréntesis se muestra si el valor es superior, inferior o igual al promedio (solo en el caso de los clústeres).

	T_{cs}	D_{cs}	r_{ij}	q_{cs}	C_{cs}	$R3$	$R6$
CR1	0.33 (< μ)	9.09 (< μ)	1.68 (> μ)	1.49 (< μ)	0.36 (< μ)	-	-
CR2	0.67 (> μ)	10.45 (< μ)	1.34 (> μ)	2.80 (> μ)	0.35 (< μ)	-	1
CV3	0.35 (< μ)	11.43 (> μ)	0.99 (< μ)	1.05 (< μ)	1.33 (> μ)	-	1
CV4	0.61 (> μ)	14.75 (> μ)	0.64 (< μ)	0.62 (< μ)	0.13 (< μ)	-	-
CG5	0.22 (< μ)	13.64 (> μ)	1.39 (> μ)	0.68 (< μ)	0.22 (< μ)	-	-
CG6	0.83 (> μ)	9.64 (< μ)	1.10 (< μ)	2.40 (> μ)	1.09 (> μ)	1	1
CC7	0.86 (> μ)	10.47 (< μ)	1.05 (< μ)	1.50 (= μ)	0.46 (< μ)	1	1
LR1	0.12	8.33	0.38	0.24	1.15	-	-
LR2	0.4	25.00	0.17	0.07	0.78	-	-
LR3	0.4	25.00	0.14	0.08	0.81	-	-
LV4	0.16	12.50	0.19	0.03	-0.29	-	-

Como puede apreciarse al observar la tabla 6.20, los resultados muestran notables diferencias entre clústeres y localizaciones aisladas. Sin embargo, dado que las localizaciones aisladas no conforman clústeres propiamente dichos, solo se comparan entre sí los resultados de los entornos de actividad que encajan con la descripción de clúster TMC empleada en este modelo. De acuerdo con los indicadores recogidos en la tabla anterior podemos distinguir diferentes tipos de entornos surgidos a partir del modelo. Son los siguientes:

A) *Clústeres dinámicos*. Son aquellos núcleos que lideran la actividad TMC en el territorio a través de estrategias de apertura hacia otros entornos de actividad basadas en la transferencia de conocimiento. Su capacidad aglutinadora de actividad es aprovechada para irradiar conocimiento hacia un mayor número de agentes. Muestran gran conectividad y un tamaño lo suficientemente grande como para permitirles, por otro lado, un nivel importante de autonomía, al realizar una gran parte de sus operaciones interiormente. Dentro de estos clústeres encontramos empresas de transporte con alta capacidad de liderazgo en el sector, que actúan como *hubs* conectores (Guimera y Amaral, 2005) y empresas transportistas que crecen y comparten su experiencia y conocimiento con otras de su rango. En este grupo de clústeres situamos preferentemente a los entornos CR2 y CG6.

B) *Clústeres de transición*. Estos entornos se encuentran en un estadio de conectividad territorial menos avanzado que los anteriores, si bien su vocación manifiesta de intermediación e influencia el sistema queda reflejada en la ratio operaciones realizadas/operaciones recibidas ($r_{ij} > 1$). Además, al igual que los clústeres dinamizadores, es posible que alguno de estos entornos cuente con empresas tractoras de gran prestigio y poder de influencia en el sector, lo cual incide positivamente en el aprendizaje y la transferencia de conocimiento e incrementa su potencial de desarrollo. Sin embargo, bien por su pequeño tamaño, bien por la menor conectividad con el resto de clústeres del territorio o debido a su menor centralidad media dentro de la red, estos núcleos se encuentran en una fase de definición de su posición dentro del sistema TMC hacia uno de los dos tipos principales de clústeres. De tal modo, los entornos CR1 y CV3, CC7, aunque con ciertas diferencias, podrían identificarse con esta tipología de clúster.

C) *Clústeres subordinados*. El reparto de funciones de acuerdo con las cadenas jerárquicas de subcontratación de transporte puede provocar la aparición de entornos en los que se produzca una concentración de agentes con menor capacidad de decisión, pese a lo cual la interacción positiva entre pares de agentes posibilita igualmente la transferencia de conocimiento tácito (Gilbert *et al.*, 2008). Los núcleos de actividad subordinados presentan menor conectividad y centralidad que los dos tipos de clústeres anteriores. Sin embargo, resultan completamente necesarios para el sistema TMC por su conocimiento, experiencia acumulada y, lo que es más importante, por su operatividad en la fase efectiva de las transacciones de transporte. Así, a pesar de mostrar diferencias importantes en cuanto al tamaño, situamos los entornos CV4 y CG5 dentro de este tipo. En el caso del CV4 resulta clara su tendencia a la recepción de contrataciones frente a la emisión, no así para el clúster CG5. Sin embargo, el resto de indicadores de este último,

sumado a su exiguo tamaño le coloca en una situación de subordinación respecto a los clústeres dinámicos y de transición.

D) *Entornos periféricos*. Calificamos así a las localizaciones aisladas que no conforman clústeres debido a su tamaño y composición, y cuyo potencial de crecimiento y desarrollo es escaso debido al mayor poder de atracción de los clústeres TMC. Estos entornos tienen la capacidad de ejercer como colaboradores habituales de los agentes que operan en los clústeres aprovechando igualmente los flujos de información y conocimiento generados en áreas más dinámicas. Pese a ello, con arreglo a la lógica de localización basada en las economías externas de aglomeración (Méndez, 1997) una buena parte de estas empresas tenderá con el tiempo a reubicarse en entornos dinámicos más favorables para el desarrollo de su actividad. En este grupo situamos a las localizaciones LR1, LR2, LR3 y LV4.

Una vez analizados los resultados en el marco de esta clasificación es preciso subrayar dos consideraciones importantes. En primer lugar, el modelo parte de un número fijo de agentes que interactúan a través de la formación de cadenas de subcontratación de transporte en el transcurso de cinco jornadas. No obstante, la clasificación que aquí se propone pretende proyectarse más allá de la simulación de esta fase inicial, hacia un escenario real de implantación de nuevas empresas en entornos de actividad TCM y ampliación de las redes de colaboración. Precisamente, la consideración de los sistemas TMC como organizaciones evolutivas o sistemas adaptativos complejos, en los que, de acuerdo con los modelos bioinspirados, la descentralización y la autoorganización promueven la paulatina estabilización del conjunto (Charrier *et al.*, 2007), es uno de los principales fundamentos de la elaboración del modelo y su posterior implementación. Por tanto, la idoneidad de esta tipología deberá ser confirmada mediante el análisis de estudios de caso en ámbitos similares al que representa este modelo.

En segundo lugar, esta propuesta de clasificación pretende orientar el análisis del fenómeno de la clusterización en el transporte y estimular la investigación sobre las dinámicas de colaboración en el TMC desde una perspectiva de agente. Para ello, se ha otorgado a los mecanismos locales de aprendizaje y difusión de información y conocimiento un papel preponderante en la facilitación de dichas dinámicas de colaboración, dado que es en los medios locales donde se promueve con mayor intensidad la interacción entre agentes y se fomenta la confianza y el intercambio de conocimiento (Bell y Zaheer, 2007). La consideración, pues, del conocimiento como un flujo que se asocia de manera indisoluble a la gestión de las operaciones de transporte y que interactúa con el territorio tanto de manera directa, favoreciendo a los entornos en los que se sitúan los agentes colaboradores, como indirecta, posibilitando a los agentes inactivos de áreas próximas el acceso a las cadenas de subcontratación, se sitúa en la base conceptual de la formación de los clústeres TMC y en la clasificación formulada en este estudio.

4. Conclusiones

A lo largo de este capítulo las interacciones entre los distintos tipos de agentes de transporte surgidas a partir de las CST han sido analizadas con detalle. Estas interacciones, desarrolladas en diferentes escenarios bajo condiciones cambiantes de colaboración, de distancia y de mercado, han demostrado que nos encontramos ante un sistema de relaciones complejo, en el que el territorio, lejos de actuar exclusivamente como soporte físico de la actividad del transporte, se implica activa y orgánicamente en la dinámica del sistema. Sin embargo, la complejidad que trata de representar el modelo tiene su limitación en la necesaria simplificación que se deriva de esta metodología de análisis (Gilbert y Troitzsch, 2005). Más bien, de acuerdo con Torrens (2010), el modelo viene a ser un vehículo que relaciona los presupuestos teóricos expuestos al inicio con los datos extraídos de nuestro marco de análisis, sustanciado en el capítulo 3.

De tal modo, las relaciones de colaboración que estructuran las CST en el mundo real han sido sometidas a las tensiones experimentales de la simulación, pudiendo extraerse de todo este proceso varios aspectos clave. En primer lugar, se constata que los agentes dentro de los sistemas TMC no se comportan de modo aleatorio, sino que se organizan de acuerdo con el modelo de redes libres de escala (Barabási y Albert, 1999; Albert y Barabási, 2001). Los agentes se relacionan entre sí siguiendo el principio de vinculación preferencial, tal y como establece el citado modelo, si bien las preferencias se determinan de acuerdo con los criterios de selección de proveedores señalados en el capítulo anterior y no con el grado de los agentes. Además, el modelo libre de escala considera el crecimiento del número de agentes como ingrediente necesario del algoritmo (Albert y Barabási, 2001). Sin embargo, el hecho de que nuestro modelo se acomode a un conjunto fijo de nodos o agentes (N) durante toda la simulación no impide que, en un entorno real concreto, se produzca el crecimiento de N en función de las circunstancias del mercado o de una situación económica favorable. Una introducción a este tipo de redes libres de escala estáticas podemos encontrarla en Bocaletti *et al.* (2006).

Como consecuencia de lo anterior, el sistema muestra en sus diferentes escenarios una serie de desequilibrios y asimetrías en cuanto a la participación en las operaciones CST y a la difusión del conocimiento, que pueden identificarse en dos ámbitos interrelacionados. Por lo que respecta a los agentes, más allá de la jerarquía organizacional propia de los sistemas de subcontratación en el TMC, queda demostrada el surgimiento de una jerarquía paralela basada en la capacidad operativa y el aprendizaje de los agentes, en la que un número reducido de ET asume roles de liderazgo y dinamiza el sistema sosteniéndose en la interacción positiva con sus colaboradores. En lo referente a la organización espacial del TMC, estos desequilibrios producen que en algunos entornos se desarrollen procesos de convergencia alimentados por la transferencia de conocimiento, mientras que entre estos últimos y aquellos menos favorecidos tiene lugar un proceso opuesto o de divergencia (Verspagen, 2010), conformándose de tal modo un espacio reorganizado en clústeres TMC de diferente rango en función de su potencial de desarrollo e innovación.

Para finalizar, la metodología empleada en este estudio ha demostrado que es posible simular la formación de entornos locales de actividad de transporte a partir de la interacción entre agentes, por un lado, y entre estos y el territorio en el que operan, por otro, combinando e

interrelacionando el análisis de redes sociales (SNA) y el análisis de asociación espacial. Situando a los agentes aleatoriamente en el espacio y dotando a cada uno de ellos de unas condiciones de confianza, precio y disponibilidad semejantes, aunque no idénticas, el aprendizaje generado a partir de la experiencia y la difusión del conocimiento adquirido son los argumentos que permiten distinguir a los entornos con mayores niveles de colaboración y proyección futura. Esta fase experimental desarrollada mediante la simulación de un espacio abstracto, no obstante, requiere ser continuada aplicando el modelo a un entorno geográfico real con el fin de, primeramente, obtener lecturas específicas acerca de la singularidad del sistema TMC del área de estudio y, por último, predecir el comportamiento del sistema bajo diferentes escenarios de desarrollo futuro.

Capítulo 7. Aplicación del modelo: el área DABB como estudio de caso

CAPÍTULO 7. APLICACIÓN DEL MODELO: EL ÁREA DABB COMO ESTUDIO DE CASO

1. Introducción

El capítulo anterior demostró el enorme potencial de los modelos basados en agentes para abordar el análisis de fenómenos espaciales a partir de simulaciones planteadas sobre espacios ficticios. Sin embargo, la operatividad de estos modelos reproducidos en un espacio de ensayo o “laboratorio espacial virtual” requiere de su aplicación a un espacio real para ser validada. Como recuerdan Cooley y Solano (2011), la validación de los modelos ABM se mide por su fidelidad, realismo y resolución, por lo que estos deben ser validados por medio de datos empíricos.

De tal manera, en este capítulo el modelo TRANSOPE se aplicará al área DABB, donde operan e interactúan agentes TMC con nombres y ubicaciones reales, mediante su integración con la base de datos GIS. Con el fin de comprobar el comportamiento de estos agentes en el nuevo modelo, esta vez denominado TransopeGIS, se emplearán seis escenarios diferentes, en los que el tamaño de agrupamiento o clustering y la variación del mercado de transporte serán los factores determinantes.

Por último, trataremos de identificar patrones de comportamiento en lo referente a la formación de clústeres TMC en nuestra área de estudio. Para ello implementaremos el clasificador k -nearest neighbor (k -nn), utilizado en machine learning para determinar la probabilidad de que un agente pertenezca a un clúster en función de una serie de variables predictoras.

2. Acoplamiento de ABM y GIS en el área DABB

La integración de ambos sistemas exige una serie de pasos previos a la puesta en marcha del modelo. El proceso de acoplamiento se describe a continuación. Posteriormente se describen tanto los agentes que tomarán parte en el modelo como los tipos de agrupamiento en los que estos se organizan.

2.1. Base de datos GIS

La adaptación de un modelo ABM, cuyo desarrollo tiene lugar en un espacio artificial y homogéneo, a un entorno geográfico real determinado, donde la complejidad del espacio se representa mediante varias capas de información geográfica (Crooks *et al.* 2019), requiere de una serie de pasos previos para una correcta integración de ambos sistemas.

En primer lugar, es necesario especificar el tipo de información espacial que conformará la base de datos GIS. La base cartográfica fue obtenida en formato “.shp” a partir de la Infraestructura de Datos Espaciales de Gipuzkoa (DFG/GFA, 2021), cuyas capas de información espacial fueron adaptadas al área de estudio y editadas mediante el programa ArcGIS 10.6.1. En relación con su funcionalidad diferenciamos entre *capas principales*, las cuales intervienen activamente o resultan fundamentales en el desarrollo del modelo, y *capas accesorias*, que no resultan relevantes en la implementación de la simulación, si bien aportan información de interés para la comprensión del fenómeno analizado. Las capas principales son, pues, las siguientes:

- a) *Límites municipales*. Esta capa recoge los límites administrativos de los trece municipios que conforman el área DABB. Se trata de una capa instrumental, dado que sirve de base territorial para que los agentes puedan transferir espacialmente el conocimiento que estos generan y determinar a aquellos agentes que se encuentren en zonas afectadas por la difusión de este. Sin embargo, la pertenencia a un municipio u otro solo tiene un interés informativo, no siendo este dato, pues, relevante para el desarrollo del modelo.
- b) *Empresas TMC*. Los agentes que toman parte en el modelo son empresas reales cuya razón social se encuentra dentro de los límites del área DABB. Cada una de ellas se encuentra debidamente georeferenciada e identificada. En el punto 2.3 se ofrecerán más detalles acerca de los agentes y los ajustes necesarios para integrarlos en el modelo.
- c) *Zonas de concentración de empresas TMC*. Se trata de aquellas áreas o entornos donde la presencia de empresas de transporte puede considerarse como relevante. Dependiendo de su grado de especialización diferenciamos tres tipos de entornos en el área DABB: *i)* entornos de transporte, zonas muy especializadas donde las empresas dedicadas a la actividad de transporte son mayoritarias; *ii)* entornos mixtos, en los que la presencia de empresas de transporte es importante aunque no mayoritaria en el conjunto de establecimientos de la zona, y *iii)* entornos industriales, donde la actividad de las empresas que los conforman es predominantemente industrial frente a una presencia residual de empresas de transporte.

Por su parte, las capas de información accesorias se reducen a dos:

- d) *Carreteras y viales*. Reúne información acerca de todas las carreteras de la red principal y secundaria, los viales urbanos y los caminos rurales del área DABB.
- e) *Edificios e inmuebles*. Muestra la ubicación tanto de viviendas como de todo tipo de instalaciones situadas en nuestra área de estudio. Además, esta capa sirve de base para crear la capa de zonas de concentración de empresas TMC a partir de la localización de establecimientos dedicados a actividades de transporte.

2.2. Integrando GIS en TRANSOPE: TransopeGIS

El segundo paso consiste en integrar la base de datos GIS en nuestro modelo basado en agentes, para lo cual es necesario especificar e implementar las relaciones entre los procesos de los agentes y los datos espaciales (Brown *et al.*, 2005). De acuerdo con Westervelt (2002), existen diferentes niveles de acoplamiento entre softwares dependiendo de factores como la dificultad del proceso de integración y de programación, la velocidad de ejecución, la posibilidad ejecutar el modelo en ambas plataformas o la depuración de errores. Parker (2005), por su parte, pone su atención en la posibilidad de lograr simultáneamente una funcionalidad dinámica de ambas plataformas para establecer hasta tres niveles diferentes de integración en función del grado de dependencia de uno respecto al otro. Por último, Crooks *et al.* (2019) diferencian entre aquellos modelos de integración centrados en GIS, que permiten una ampliación del número de usuarios potenciales del modelo resultante, y los modelos centrados en ABM, los cuales no requieren profundos conocimientos de programación y cuentan a menudo con herramientas para poner en marcha varias funciones GIS. Este último enfoque es el empleado aquí para implementar la integración entre TRANSOPE y GIS. Para ello, el programa Netlogo (Wilensky, 1999) cuenta con una extensión específica para la integración con datos GIS que permite importar tanto datos vectoriales como ráster. Asimismo, los atributos de los elementos vectoriales pueden ser recuperados y pasar a formar parte del modelo como variables de agente.

Primeramente, es necesario adaptar el mundo de Netlogo, o espacio en el que tienen lugar las simulaciones, a las dimensiones del espacio de estudio. El resultado es una malla de 198x198 celdas, cuya equivalencia con la realidad es de 150x150 metros para cada celda. A continuación, se importan a TRANSOPE las capas principales de información espacial desde la base de datos GIS, que conforman la extensión espacial del mundo en Netlogo.

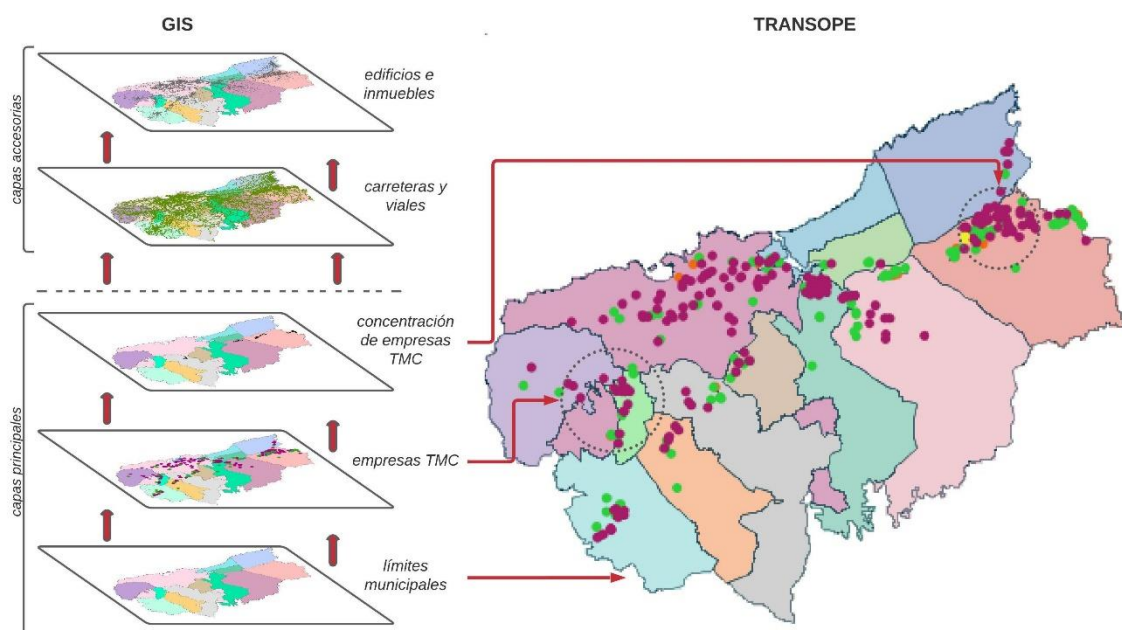


Figura 7.1. Integración entre GIS y TRANSOPE.

Los siguientes pasos tienen que ver con ajustes de programación, dado que ciertas funciones no serán necesarias en la versión adaptada a GIS de TRANSOPE. Una de ellas es la referida a la configuración del territorio, explicada en el punto 3.2.4. del capítulo 4, mediante la cual podía simularse la ampliación de la distancia entre las cuatro zonas que conformaban el “mundo”. Sin embargo, los ajustes más significativos tienen que ver con el comportamiento de los agentes en el terreno, por lo que dedicaremos el siguiente punto a explicar este proceso.

2.3. Los agentes TMC operando en el terreno

Los agentes que toman parte en TransopeGIS proceden de los registros de empresas de transporte correspondientes a la asociación de transportistas guipuzcoanos *Guitrans*, de las cuales fueron seleccionadas las ubicadas en los municipios correspondientes al área DABB, del mismo modo que para la encuesta (tabla 4.2, capítulo 4). Por tanto, inicialmente fueron incorporadas al modelo 351 empresas de diferentes tamaños y tipos, en relación con su nivel de operatividad en las CST. Los registros mencionados proporcionaron información valiosa en cuanto al nombre o titular de la empresa, dirección fiscal y especialización dentro del sector del transporte. Sin embargo, tras una consulta más exhaustiva del listado se decidió eliminar 14 empresas por causas diversas, aunque principalmente por cese de actividad. Por el contrario, solo una empresa más fue añadida al listado. Estos cambios dejaron un total de 338 empresas, de las cuales 23 son operadores logísticos, 116 empresas de transporte y 199 transportistas autónomos.

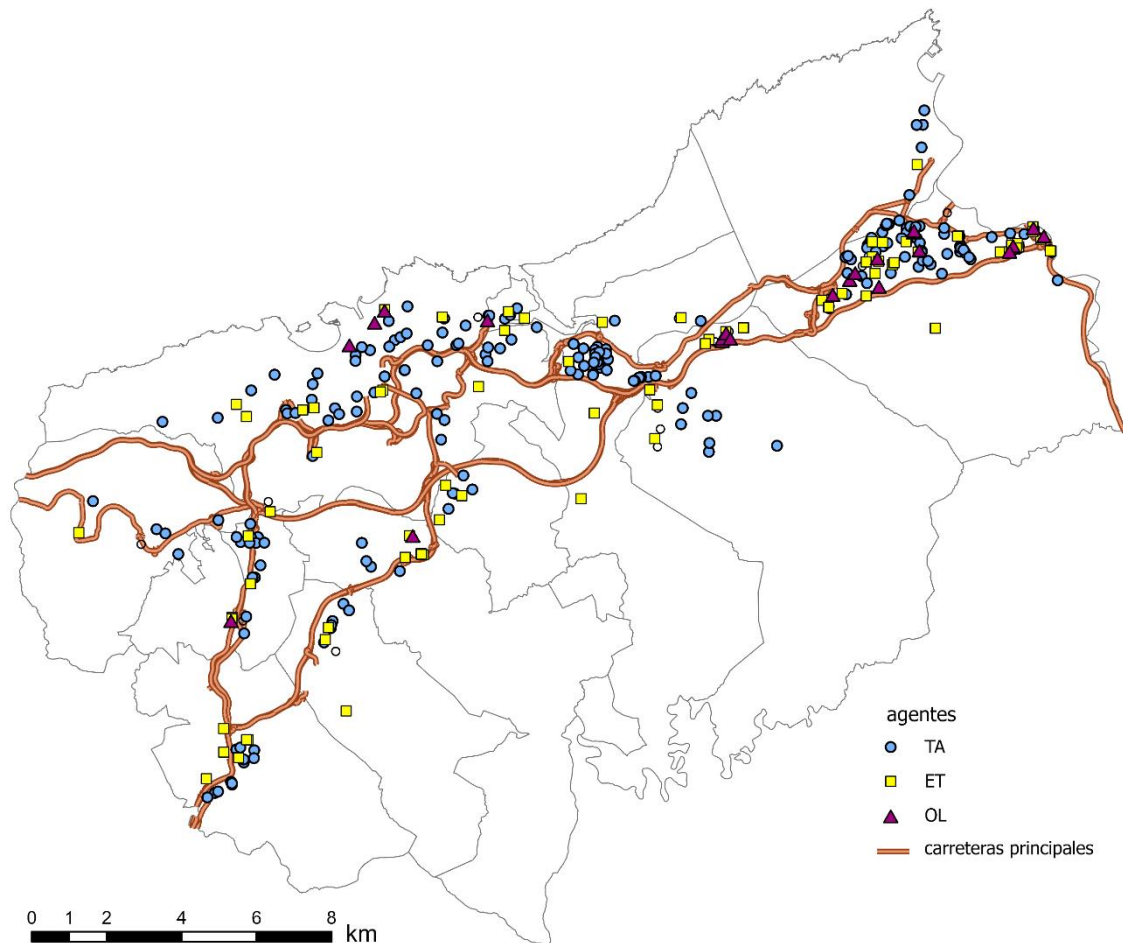


Figura 7.2. Distribución de agentes TMC en el área DABB según tipo.

El primer paso consistió en crear la capa de agentes en ArcGIS geocalizándolos uno a uno por medio de su dirección fiscal e identificándolos con su nombre o titular. Además, a cada agente le fue asignada una categoría en función de su papel dentro de las CST, es decir, operador logístico (*OL*), empresa de transporte (*ET*) o transportista autónomo (*TA*).

Por otro lado, uno de los ajustes necesarios para validar el modelo tiene que ver con la inclusión de datos referentes a la capacidad real de transporte de las empresas representadas en el modelo. Esta capacidad se puede cuantificar mediante dos tipos de equipamiento: a) el número de vehículos a motor, tanto tractoras como camiones-remolque, y b) el número de semirremolques o vehículos de carga no motorizados disponibles para su enganche. El primero de los dos equipamientos puede consultarse empresa por empresa en el “Registro de Empresas y Actividades de Transporte” del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Sin embargo, en dicho registro no se recoge ninguna información relativa al número o tipo de remolques que posee cada empresa. Teniendo en cuenta que uno de los modos más habituales de colaboraciones de subcontratación entre empresas de transporte consiste en la cesión temporal de este equipamiento por parte de una ET a un TA, quien lo utilizará para cubrir las necesidades de transporte del primero a cambio de un precio acordado, este dato, combinado

con el número de vehículos a motor, podría ser un buen indicador acerca del nivel real de subcontratación de una ET.

De tal modo, esta información fue incorporada como atributo agente por agente, dado que el acceso a la información del registro de empresas de transporte solo es posible de modo individualizado, lo cual supuso una notable inversión de tiempo y dedicación. Para calcular la disponibilidad de vehículos de las ET sumaremos su número de tractoras (vp) a los TA disponibles en el mercado, modificando la ecuación 4.8 de este modo

$$\forall ET \in CST_i \Rightarrow D_{(ET)_{i+1}} = D_{(ET)_i} \frac{\sqrt{vp + n_{(TA)}}}{10 \cdot SMT} \quad (7.1)$$

Cada agente, por tanto, parte con una capacidad de transporte determinada por sus propias circunstancias y por la disponibilidad general de vehículos ($n_{(TA)}$) y el mercado de transporte (SMT). Como se explicó en la ecuación 4.7, el argumento $D_{(ET)_i}$ introduce cierta aleatoriedad al resultado.

Finalmente, el conjunto de agentes con sus coordenadas y atributos fue introducido mediante el comando tipo bucle *foreach*, que permite la iteración de la orden a través de una variable creada por el programador (Crooks *et al.*, 2019). En la figura 7.3 se expone un ejemplo de código para la creación de los operadores logísticos en TransopeGIS a partir de las coordenadas del shapefile. Además, los atributos “name”, “CLUST_K3”, “CLUST_K5” y “CLUST_K7” se recuperan desde el mismo shapefile.

```

to display-agents
  random-seed new-seed
  foreach gis:feature-list-of companies-dataset [ j ->
    let location gis:location-of (first (first (gis:vertex-lists-of j)))

    if not empty? location [
      if gis:property-value j "TIPO" = "OPE" [create-opers 1
        [set xcor item 0 location set ycor item 1 location
          set size 3
          set color 95
          set shape "circle"
          set name gis:property-value j "name"
          set clust_k3 gis:property-value j "CLUST_K3"
          set clust_k5 gis:property-value j "CLUST_K5"
          set clust_k7 gis:property-value j "CLUST_K7"]]]]
  
```

Figura 7.3. Ejemplo de código en Netlogo sobre cómo asignar coordenadas y atributos a agentes desde un shapefile.

Estas últimas tres variables hacen referencia a los agrupamientos de agentes mediante el análisis de clusterización basado en la densidad, de acuerdo con los cuales cada agente formará parte (o no) de un clúster de transporte como resultado de aplicar el algoritmo *k*-nearest neighbor (Cover y Hart, 1967). El último de los ajustes necesarios en la integración entre GIS y TRANSOPE, por tanto, es el relativo a los agrupamientos de los agentes en clústeres de transporte, que será tratado a continuación.

2.4. Localización de clústeres en el área de estudio

Uno de los aspectos clave de esta investigación lo constituye la detección de entornos TMC favorables al intercambio de conocimiento y el análisis de sus interacciones. Como hemos visto en los capítulos dedicados al diseño e implementación del modelo TRANSOPE, cuatro regiones con límites precisos fueron creadas con el fin de simular dichos entornos de concentración de agentes. Por lo que respecta al área de estudio DABB, más allá de la mera localización de polígonos empresariales donde la concentración de empresas TMC puede ser considerada significativa (figura 7.4), es necesario establecer entornos basados en criterios de proximidad e interactividad potencial, lo cual excluye el empleo de las divisiones administrativas como criterio de agrupamiento.

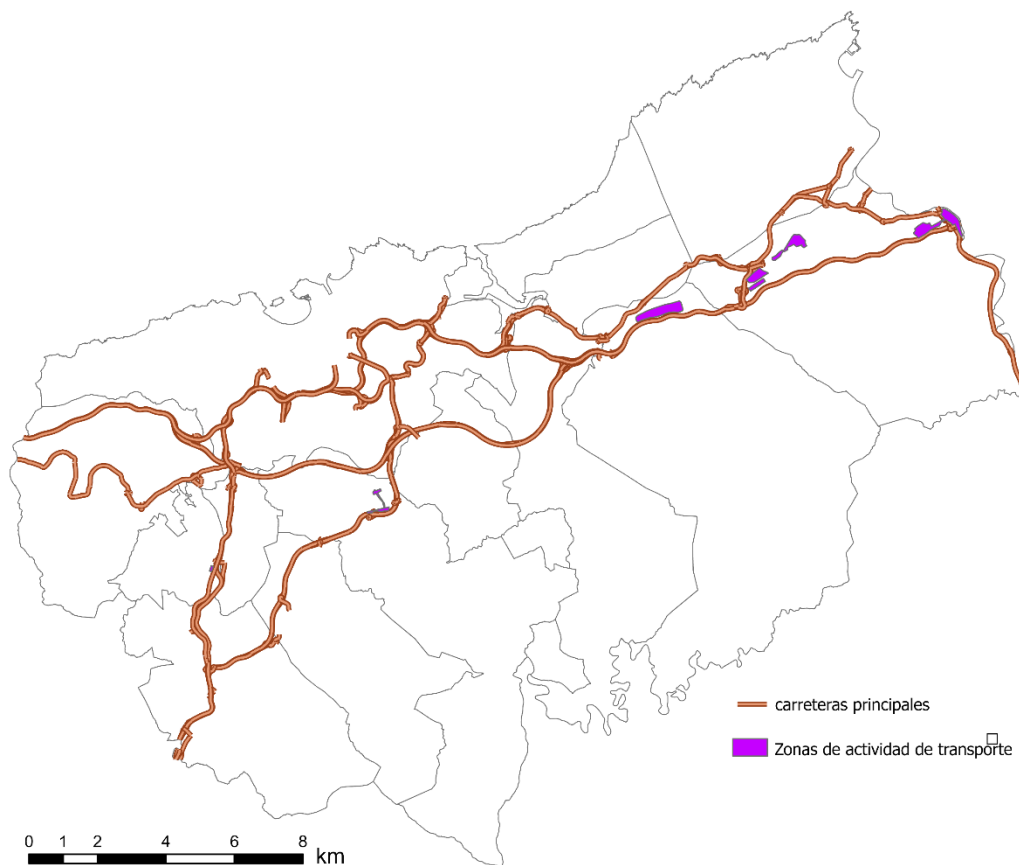
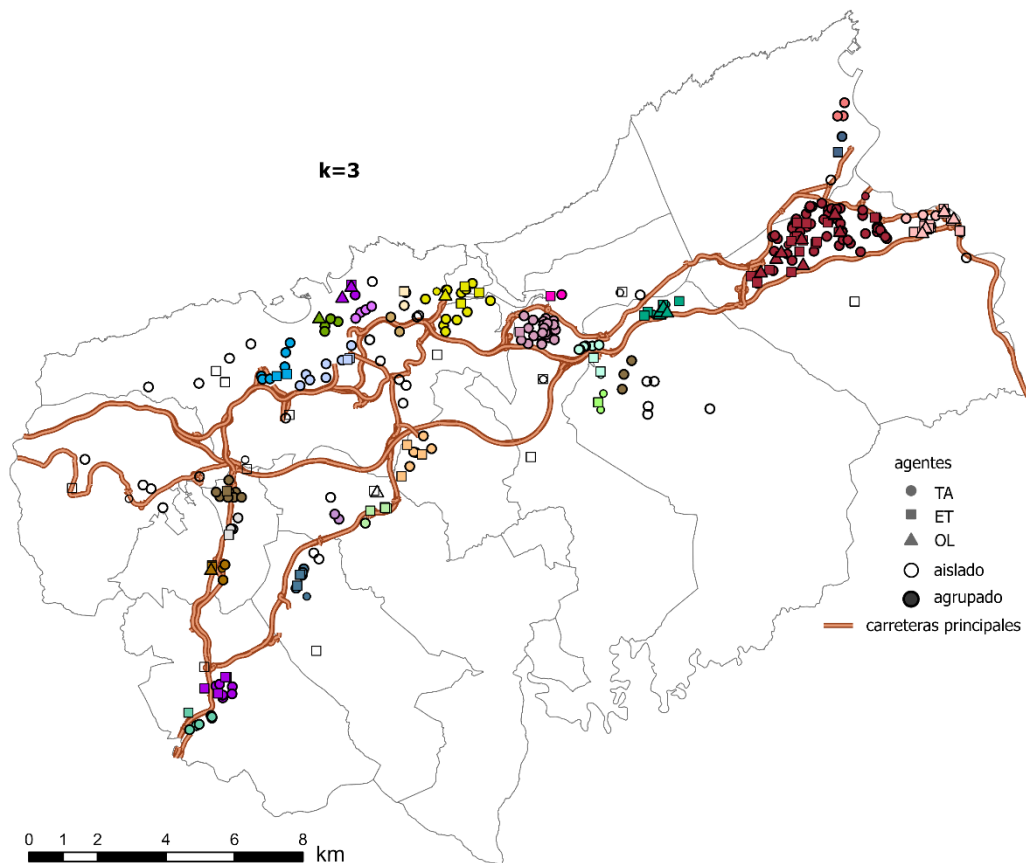


Figura 7.4. Localización de áreas de concentración de establecimientos de transporte en el área DABB.

El método escogido para conformar los entornos dinámicos de intercambio de conocimiento entre agentes TMC es el clustering espacial basado en densidad de aplicaciones con ruido (DBSCAN), creado por Ester *et al.* (1996). Esta herramienta parte de un enfoque no paramétrico para establecer clústeres a partir de áreas de alta densidad con densidad de probabilidad $p(x)$ (Campello *et al.*, 2020). Su funcionamiento consiste en detectar zonas de alta concentración de puntos o agentes en función de dos parámetros: la distancia euclidiana y el número mínimo de agentes por clúster. Dependiendo de estos, un agente podrá formar parte de uno u otro clúster, o bien no formar parte de ninguno y ser considerado como ruido.

El programa ArcGIS Pro cuenta con esta herramienta de geoprocésamiento, mediante la cual fueron calculados tres tipos de agrupamientos para una distancia de búsqueda de 0,5 km, distancia a partir de la cual las probabilidades de interacción positiva entre agentes decrecen. Estos tipos de agrupamientos varían en función número mínimo de agentes por clúster (k). Teniendo en cuenta que el número mínimo para formar una CST es de tres agentes de diferente tipo, los valores escogidos para formar clústeres fueron $k \{3, 5, 7\}$.

De acuerdo con estas tres clasificaciones de agentes en función de su grado de clusterización obtenemos la siguiente distribución (figura 7.5).



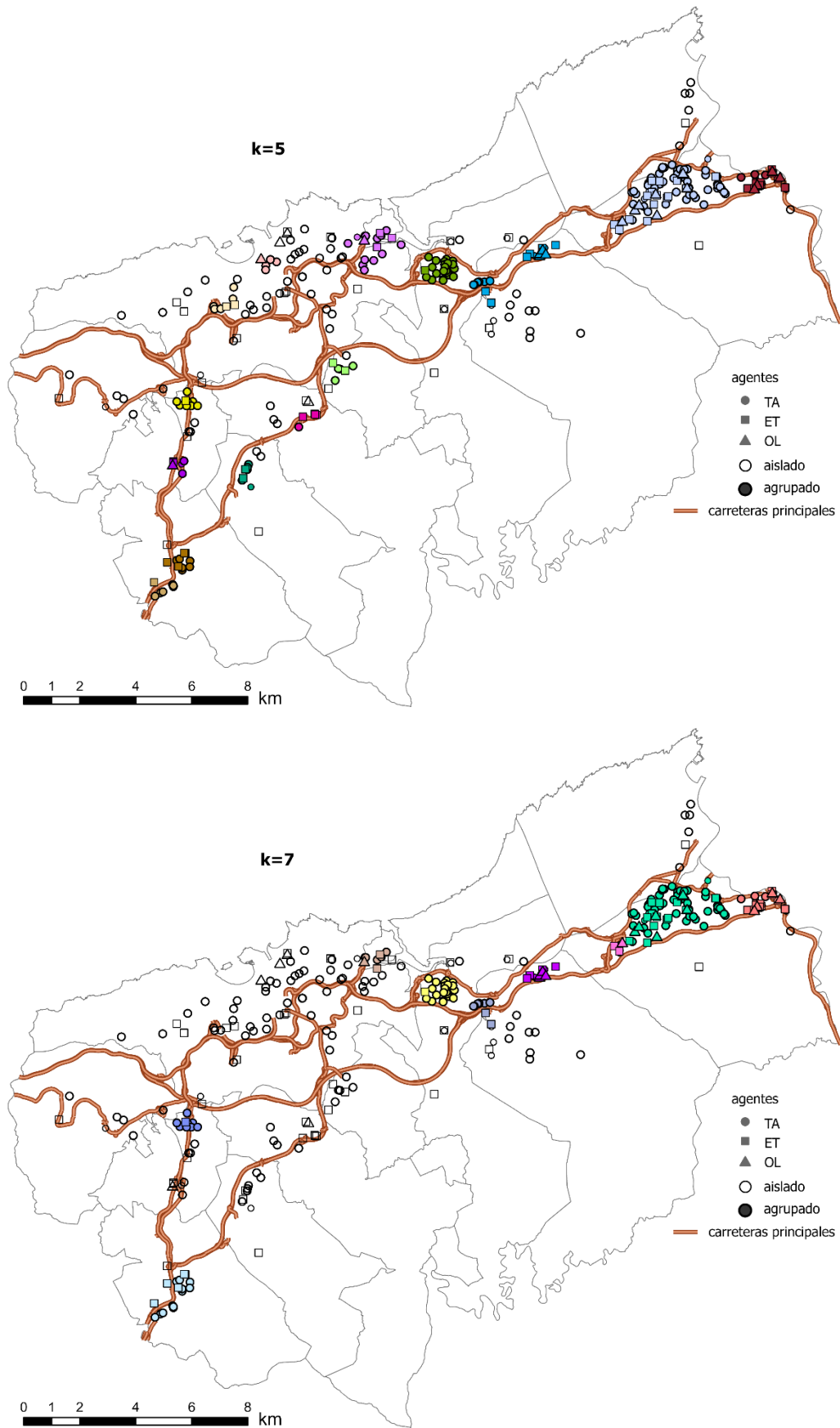


Figura 7.5. Clústeres de transporte en el área DABB según los tres niveles de clasificación.

Una vez determinados los diferentes agrupamientos es necesario realizar ciertos ajustes en el modelo para calcular los valores de centralidad geográfica (Cg) y distancia geodésica (Dg) para cada agente en función de su pertenencia o no a algún clúster, en cada una de las tres clasificaciones realizadas. Tal y como se explicó en el punto 3.2.6 del capítulo 4, los agentes con mayor centralidad dentro de su clúster obtendrán valores más cercanos a 0, lo que supondrá una ventaja para ser seleccionados por los clientes. La distancia geodésica, por su parte, se refiere al grado de cohesión geográfica del clúster, ofreciendo así el mismo valor de Dg para cada integrante del clúster. Al igual que con la centralidad geográfica, los valores más próximos a 0 favorecerán la selección de los agentes integrados en los agrupamientos más cohesionados.

Tabla 7.1. Distribución de agentes en los clústeres para cada una de las clasificaciones.

	<i>número de clústeres</i>	<i>Agentes integrados en algún clúster</i>	<i>agentes aislados</i>	<i>clúster más grande</i>	<i>clúster más pequeño</i>
<i>k = 3</i>	27	301	37	90	3
<i>k = 5</i>	15	252	86	90	5
<i>k = 7</i>	10	205	133	84	6

3. Los clústeres TMC en la articulación territorial del área DABB

Una vez integrados los sistemas GIS y ABM y presentados los tres modelos de agrupamiento espacial de los agentes TMC, en este apartado simularemos la creación de cadenas de subcontratación de transporte entre agentes del área DABB para, posteriormente, analizar el comportamiento de los agentes dentro del sistema y clasificar su desempeño mediante el empleo del algoritmo k -nn de machine learning.

3.1. Parámetros de la simulación

Los escenarios y ajustes de salida descritos en el punto 2 del capítulo anterior son la base para establecer los parámetros de simulación del modelo TransopeGIS. En dicho capítulo se comprobó que las condiciones cambiantes del mercado de transporte (SMT) resultan claves para el establecimiento de relaciones de subcontratación entre empresas TMC, resultando de ello redes con diferentes distribuciones de centralidad e influencia de sus nodos. De tal modo, en este experimento emplearemos igualmente los valores para SMT {0.5, 1.5}, partiendo de la consideración de $SMT=1$ como valor de equilibrio del mercado. De tal modo, para $SMT= 0.5$, es decir, situaciones con mayor oferta de servicios de transporte que portes a realizar, el número de operaciones diarias de transporte será 101, mientras que para $SMT=1.5$ las operaciones a realizar serán 300 por día. Estos valores se calculan aplicando la fórmula 6.1.

Por otro lado, las tres clasificaciones de agentes derivadas de la clusterización por densidad expuestas en el punto anterior, es decir, $k \{3, 5, 7\}$, se emplearán como niveles de agrupamiento diferenciados, donde aquellos agentes pertenecientes a algún clúster TMC tendrán mayores probabilidades de ser subcontratados. El nivel de difusión del conocimiento kt se situará en un valor medio $kt=0.5$, lo que significa que cada unidad espacial transmite a su entorno el 50% del aprendizaje producido durante el periodo de actividad. Además, al igual que en la simulación del capítulo anterior las cadenas de subcontratación CST estarán formadas por 3 agentes (OL, ET y TA), y la distancia de origen a destino (OD) por operación será de 150 km. La combinación de estos parámetros nos deja un total de seis escenarios:

Tabla 7.2. Detalle de los seis escenarios a analizar en TransopeGIS.

	<i>CST</i>	<i>K</i>	<i>SMT</i>	<i>OD</i>	<i>kt</i>
Escenario 1	3 agentes	3	0.5	150 km	0.5
Escenario 2	3 agentes	3	1.5	150 km	0.5
Escenario 3	3 agentes	5	0.5	150 km	0.5
Escenario 4	3 agentes	5	1.5	150 km	0.5
Escenario 5	3 agentes	7	0.5	150 km	0.5
Escenario 6	3 agentes	7	1.5	150 km	0.5

Finalmente, la gran cantidad de información que genera el modelo debido al mayor número de agentes y de operaciones diarias a realizar motivó que el número repeticiones necesarias para conseguir un nivel de confianza del 95% se ajuste a la fórmula 6.2, es decir, 16 repeticiones por escenario.

3.2. Indicadores de comportamiento de los agentes TMC

El propósito de este apartado consiste en tratar de extraer lecturas de comportamiento de los agentes TMC sobre el entorno real de desarrollo de su actividad diaria, partiendo de algunos de los indicadores analizados en el capítulo anterior.

En primer lugar, la participación de los agentes en las CST muestra una distribución de la contratación muy desigual según el tipo de agente y las condiciones de cada escenario (figura 7.6). En el caso de las ET, los índices de Gini muestran siempre valores entre 0.7 y 0.85, lo que indica gran concentración de la actividad en pocas empresas cuando se trata de operaciones de transporte con condiciones similares. Por el contrario, los TA se benefician de una mayor

distribución de los contratos en aquellos escenarios donde el mercado de transporte reclama más proveedores, aproximándose a niveles de distribución cercanos al equilibrio, mientras que en los escenarios de escasa demanda de servicios de transporte el desequilibrio es notablemente más acusado.

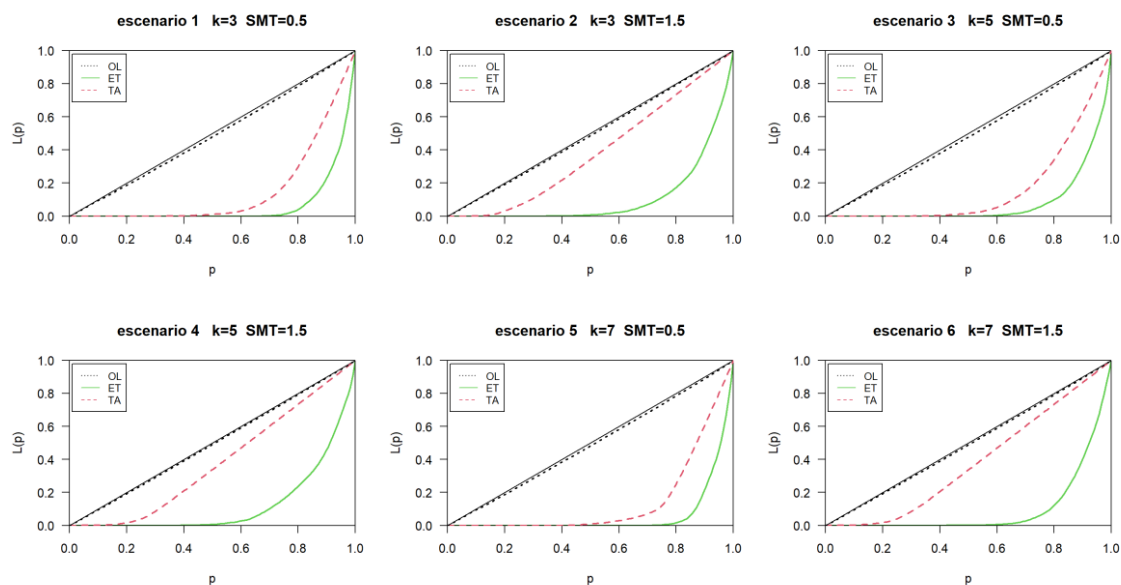


Figura 7.6. Curva de Lorenz para cada tipo de agente y escenario del área DABB.

Estas diferencias fueron observadas igualmente en el modelo teórico, si bien con diferente intensidad, especialmente en los resultados correspondientes a las ET. Nuevamente se comprueba que las situaciones de escasez de demanda tienen un efecto muy desequilibrante en la actividad, mientras que los diferentes tipos de agrupamientos no afectan de un modo significativo a los resultados.

Otro aspecto importante en el desarrollo de la actividad es el relativo a la dinámica de la contratación (figura 7.7). También en este caso encontramos similitudes importantes con el modelo teórico, dado que la mayor parte de los proveedores de transporte son contratados por primera vez durante la jornada 1 en todos los escenarios. Esta tendencia tiende a alterarse en las ET en función de la mayor demanda de transporte y de la reducción del número de clústeres.

En efecto, en estos escenarios las ET contratan a la práctica totalidad de los TA durante la primera jornada, y seguirán confiando en estos proveedores durante el resto del periodo de contratación. En el caso de los OL, a pesar de que tienden a ser seleccionados por los OL principalmente durante el primer día, la incorporación de nuevos agentes a las CST durante las jornadas posteriores es bastante significativa, sobre todo en las situaciones de abundancia de viajes a realizar.

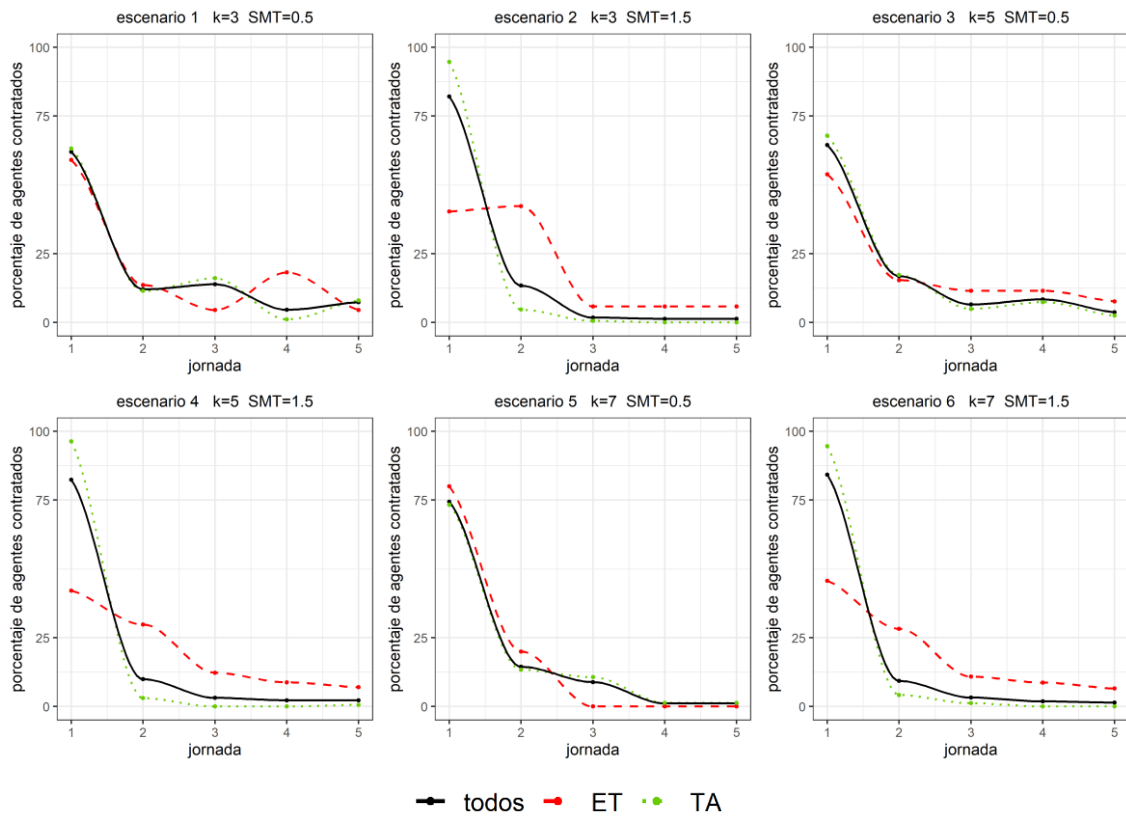


Figura 7.7. Clústeres de transporte en el área DABB según los tres niveles de clasificación.

Por lo que respecta a la evolución de la distancia media entre cliente y proveedor, los resultados del modelo del área DABB difieren de los del modelo teórico en algunos aspectos. El hecho más reseñable es la ausencia de correlación significativa entre la distancia entre cliente y proveedor y el momento de la contratación. En efecto, el coeficiente de correlación de Spearman (Daniel, 1978; de Winter, Gosling y Potter, 2016) muestra valores muy cercanos a 0 en todos los escenarios, evidenciando así la falta de relación entre variables. Esto se traduce en que no parece existir una preferencia de los agentes contratadores por seleccionar primero a los proveedores más cercanos.

Los clústeres TMC funcionan como reclamos para los clientes, aunque los proveedores no se encuentren en su misma agrupación espacial. Sin embargo, sí es posible observar en los gráficos (figura 7.8) que aquellos agentes con mayor número de contrataciones (círculos en tonos violeta y morado) se encuentran mayoritariamente por debajo de la curva de regresión, situada en torno a los 2.5 km en todos los escenarios, lo cual indica que las relaciones de confianza consolidadas entre clientes y proveedores se establecen en distancias relativamente cortas, mientras que las contrataciones ocasionales (círculos color carne y naranja) tienen lugar entre agentes más distanciados geográficamente.

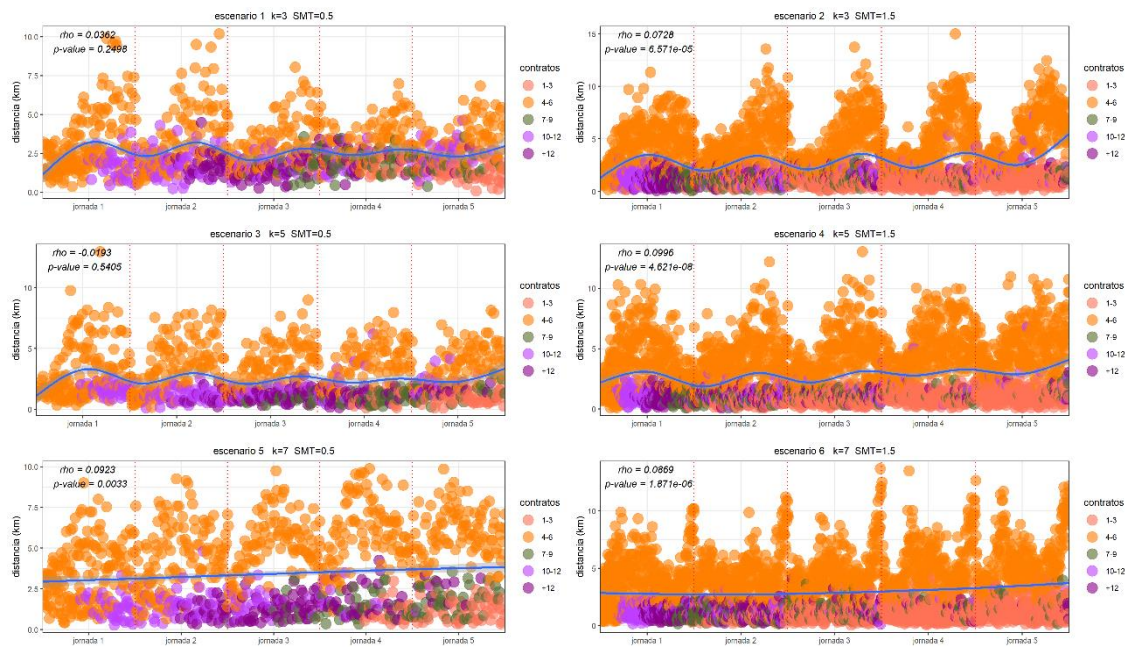


Figura 7.8. Evolución de los contratos en función de la distancia entre clientes y proveedores.

En relación con estos resultados y partiendo de la consideración de nuestro modelo como un sistema complejo, el siguiente aspecto importante a destacar son las medidas locales de centralidad de los agentes en tanto que nodos de la red, mientras que las relaciones de contratación son los arcos SMT que conectan los nodos. Las tres principales medidas de centralidad son la centralidad de grado, la centralidad de cercanía y la centralidad de intermediación. Cada una de estas métricas ofrece un valor único para cada nodo conectado, esto es, solo para aquellos agentes que han formado parte de una CST en al menos una ocasión.

Como se detalló en el capítulo anterior, la centralidad de grado tiene en cuenta la diversidad de conexiones de un agente, más allá del peso de cada una de ellas. En la figura 7.9 puede comprobarse el paulatino traslado del centro específico de la centralidad de grado hacia los clústeres situados al este del área DABB. En especial en los escenarios 5 y 6, donde $k=7$, el clúster situado entre los municipios de Irun y Oiartzun sirve de puente entre los clústeres de esa zona, beneficiándose del mayor tamaño mínimo de los agrupamientos. Sin embargo, no toda la contratación tiene lugar en los clústeres, sino que forma un eje de actividad muy evidente que recorre el área DABB de este a oeste con ramificaciones hacia otros clústeres y localizaciones del área. Como puede verse en la figura 7.10, la distribución de grado está especialmente polarizada en los escenarios con menor carga de trabajo, y especialmente en el caso de las ET. La diversidad de conexiones se amplía sustancialmente en las situaciones de mayor abundancia de operaciones a realizar, dando lugar a una red densa, aunque muy concentrada en los clústeres y entornos urbanos.

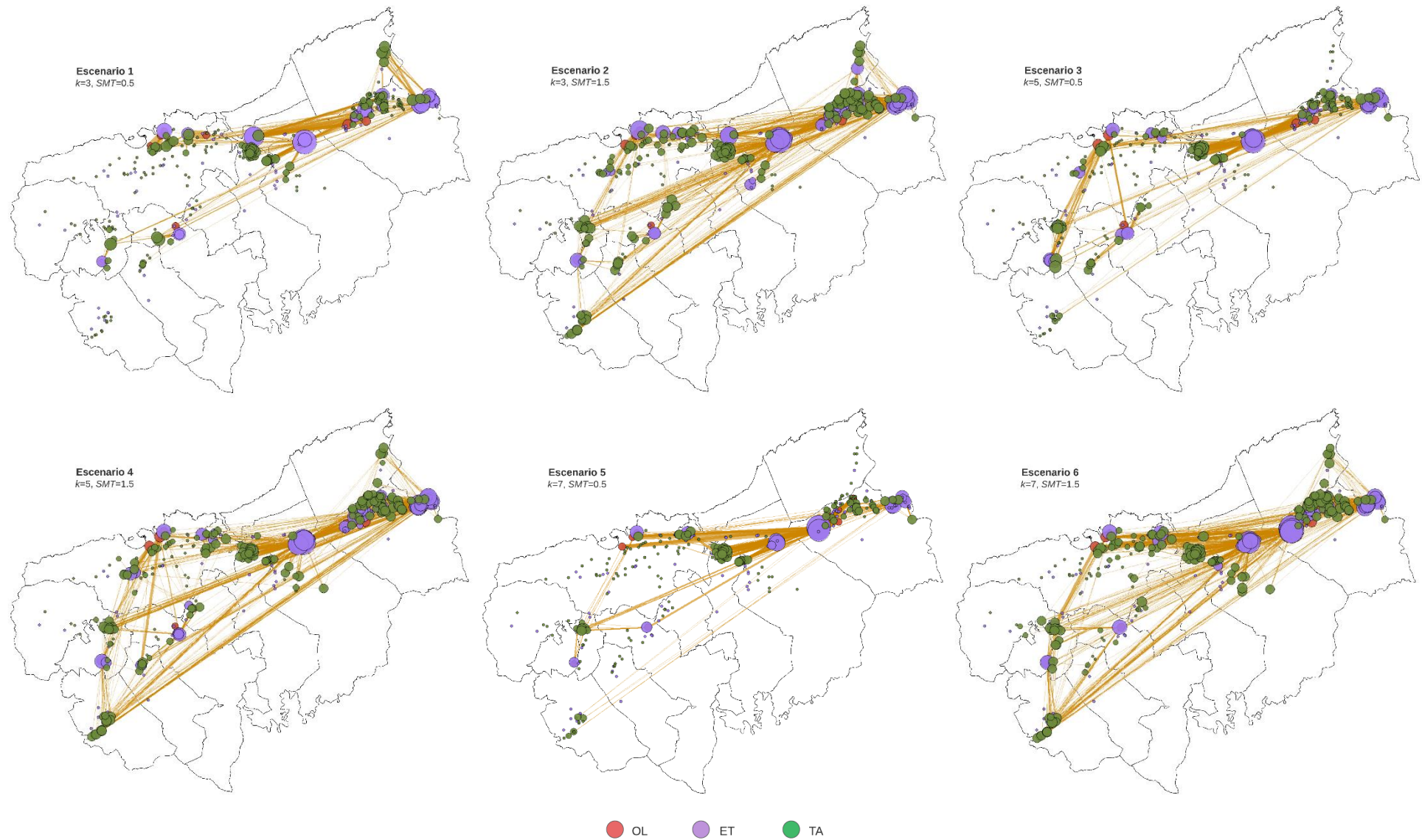


Figura 7.9. Centralidad de grado de los agentes del DABB, según tipo de escenario.

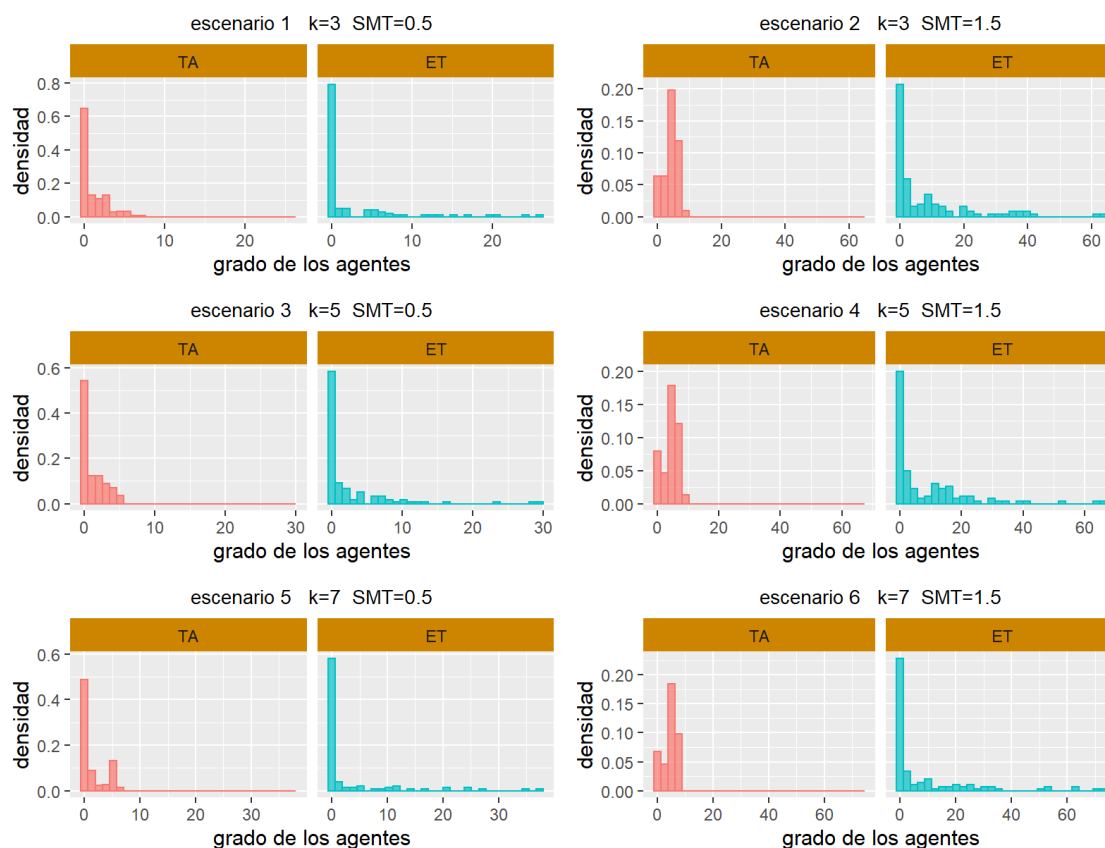


Figura 7.10. Distribución de la centralidad de grado para transportistas autónomos y empresas de transporte.

La centralidad de cercanía calcula el número mínimo de conexiones que un agente necesita para llegar hasta cualquier otro nodo integrado en la red. Por tanto, no tiene en cuenta la proximidad espacial entre nodos sino la distancia geodésica o, dicho de otro modo, cómo de cerca está un nodo del resto de nodos de la red de la que forma parte (Okamoto *et al.*, 2008). Por tanto, un agente puede presentar altos valores de cercanía dentro de la red sin por ello haber desarrollado una intensa actividad.

Sin embargo, a pesar de la aparente intrascendencia de esta métrica, es necesario recordar sus significativos niveles de correlación con las otras dos medidas de centralidad, como quedó comprobado en el análisis del modelo TRANSOPE (figura 6.15). Esto indica que la distancia, si bien geodésica en este caso, debe ser tenida en cuenta como variable predictora para determinar la probabilidad de que un agente forme parte de una red de contratación de transporte.

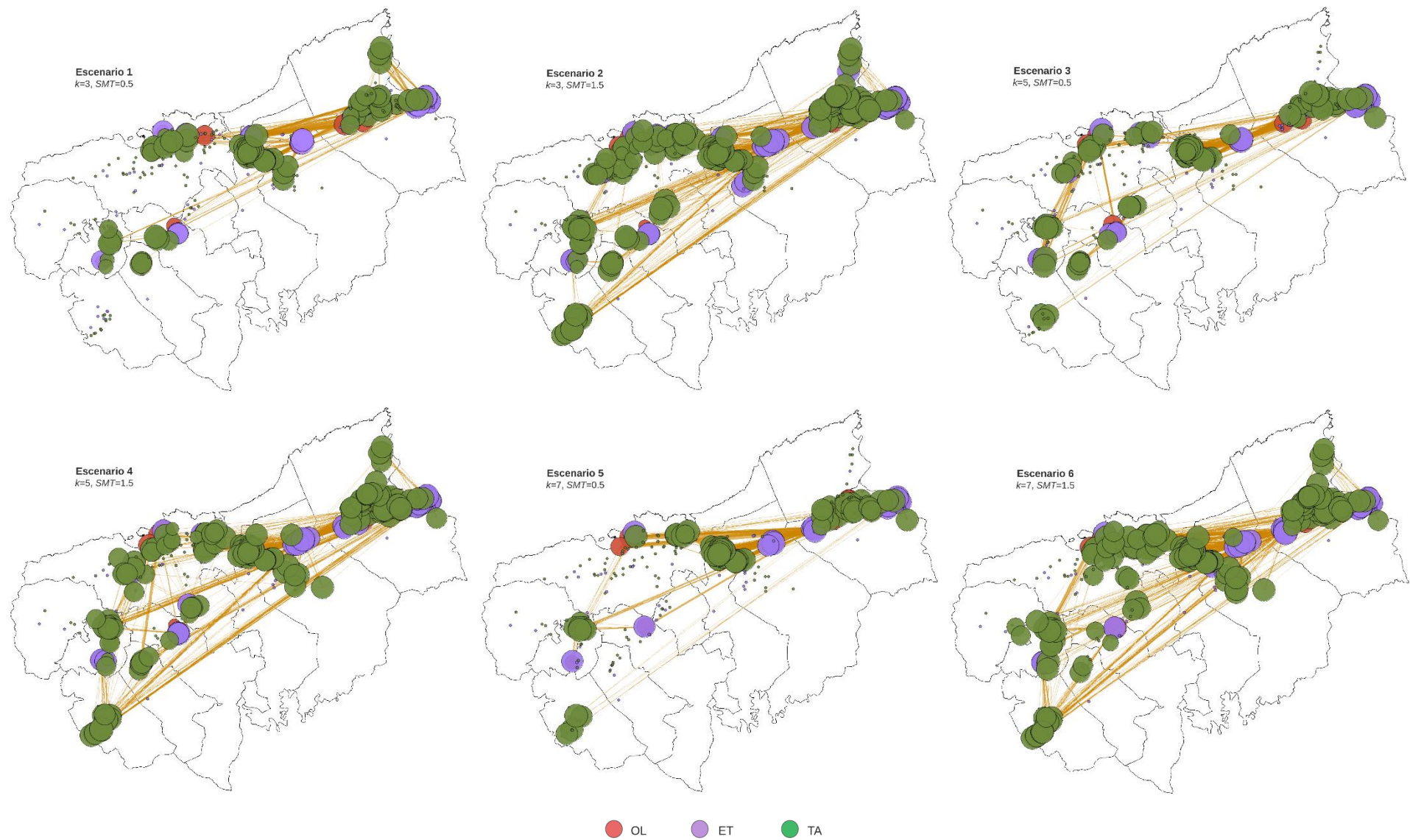


Figura 7.11. Centralidad de cercanía de los agentes del DABB, según tipo de escenario.

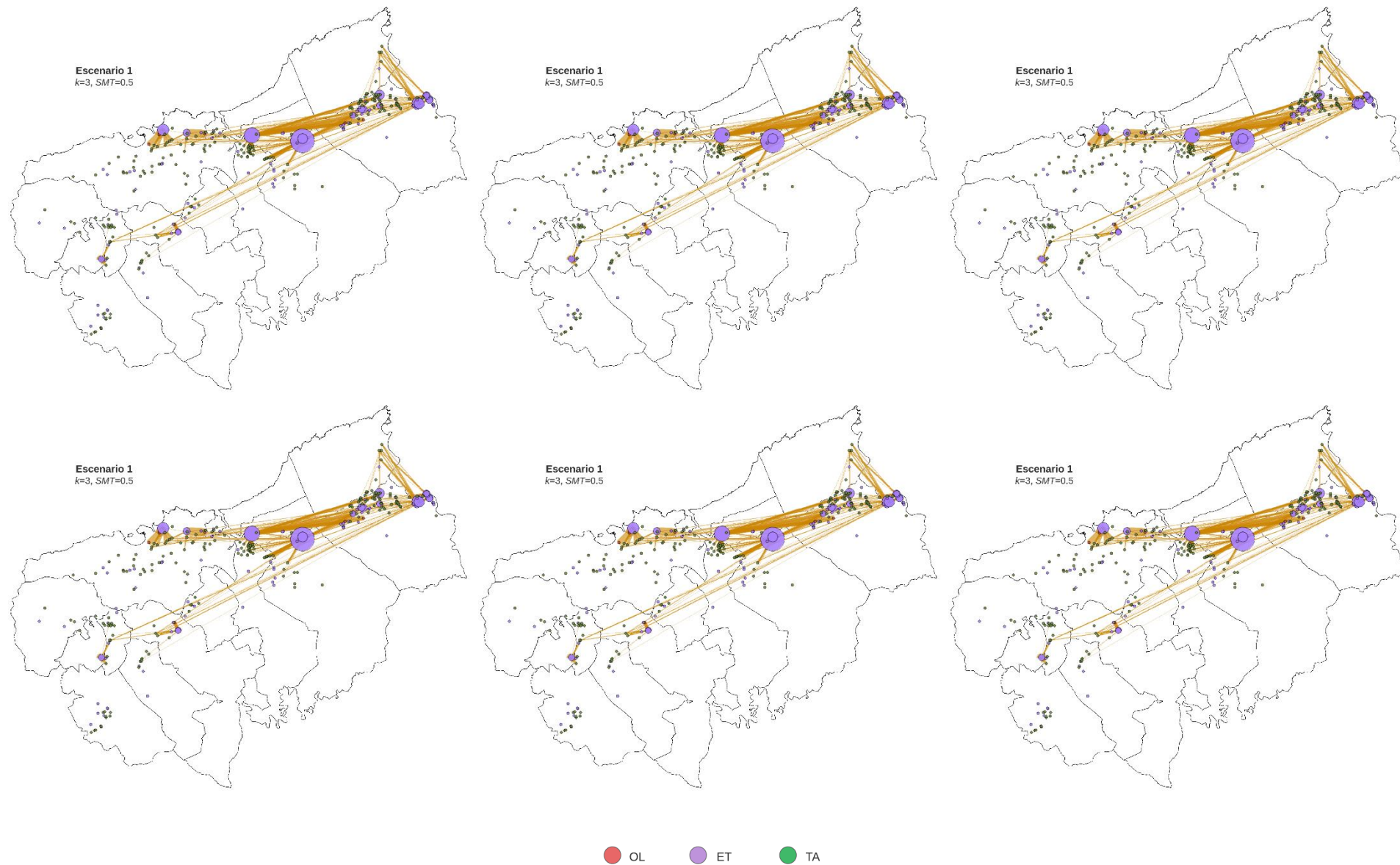


Figura 7.12. Centralidad de intermediación de los agentes del DABB, según tipo de escenario.

En el caso de la centralidad de intermediación, los escenarios con $k=3$ muestran una distribución de los agentes influyentes en la red a lo largo del mencionado eje oeste-este del área DABB. Como se explicó en el capítulo anterior, la centralidad de intermediación nos aporta información acerca de la trascendencia de cada nodo en la red, ya que su valor responde a la cantidad de caminos geodésicos que transitan por él. Esta facultad es exclusiva de las ET, debido a la posición central que ocupan en las CST. En la figura 7.12 podemos comprobar cómo los agentes más influyentes de la red se van desplazando hacia el este del área DABB a medida que los clústeres son mayores. En consecuencia, en los escenarios donde $k=7$ el liderazgo y la capacidad de decisión se concentran en los clústeres más próximos a la frontera con Francia, donde la intensidad del tránsito de mercancías es mayor.

3.3. La difusión del conocimiento en DABB

Tras analizar la actividad de los agentes a través de la contratación, el siguiente paso en la validación del modelo lo constituye el análisis de la difusión del conocimiento generado gracias al aprendizaje adquirido por los agentes que participan en las cadenas de subcontratación. Además, como vimos en el capítulo 6, el acceso al conocimiento puede producirse igualmente como consecuencia de la transferencia de información desde los agentes activos hacia aquellos que aun no han formado parte de ninguna CST. Como es sabido, la difusión del conocimiento parte de los OL, cuya participación no depende de criterios de selección sino de la aleatoriedad del sistema. En ellos recae la tarea de poner en marcha la cadena de información a través de la CST. A partir de este punto, el resto de agentes participantes será capaz de transferir conocimiento a su entorno de acuerdo con el valor del parámetro *transferencia de conocimiento* programado al inicio de la simulación ($kt=0.5$).

Esta difusión creará entornos favorables a la adquisición de conocimientos sobre multitud de aspectos relacionados con el desempeño de operaciones de transporte, como necesidades de clientes y nuevas oportunidades de mercado, tipos de mercancías, nuevos materiales de transporte, medidas de seguridad, suministro de combustible o materiales de estiba, etc... Estos entornos conforman, por ello, áreas dinámicas con potencial para el surgimiento de relaciones de colaboración efectiva entre agentes del mismo y diferente rango.

Para tratar de identificar estos entornos emplearemos indicadores locales de asociación espacial (Anselin, 1995) tales como el índice I de Moran (Brunsdon y Comber, 2015), utilizados igualmente en el modelo TRANSOPE. En la figura 7.13 se identifican aquellas zonas donde la transferencia de conocimiento mostró una significación igual o superior al 95% ($p \leq 0.05$). Asimismo, se establece una escala en función de la intensidad de dicho fenómeno.

La dispersión de entornos en los que el conocimiento se concentra es más evidente en los escenarios con $SMT=0.5$, debido precisamente a la escasez de servicios realizados. En efecto, tal y como quedó patente en el desarrollo del modelo teórico, la distribución de zonas con altos niveles de concentración de conocimiento es más dispersa cuando los servicios de transporte a realizar escasean debido a situaciones de contracción de la economía o, menos intensamente, en periodos estivales. Este aspecto tiene gran importancia, ya que la correlación entre crecimiento

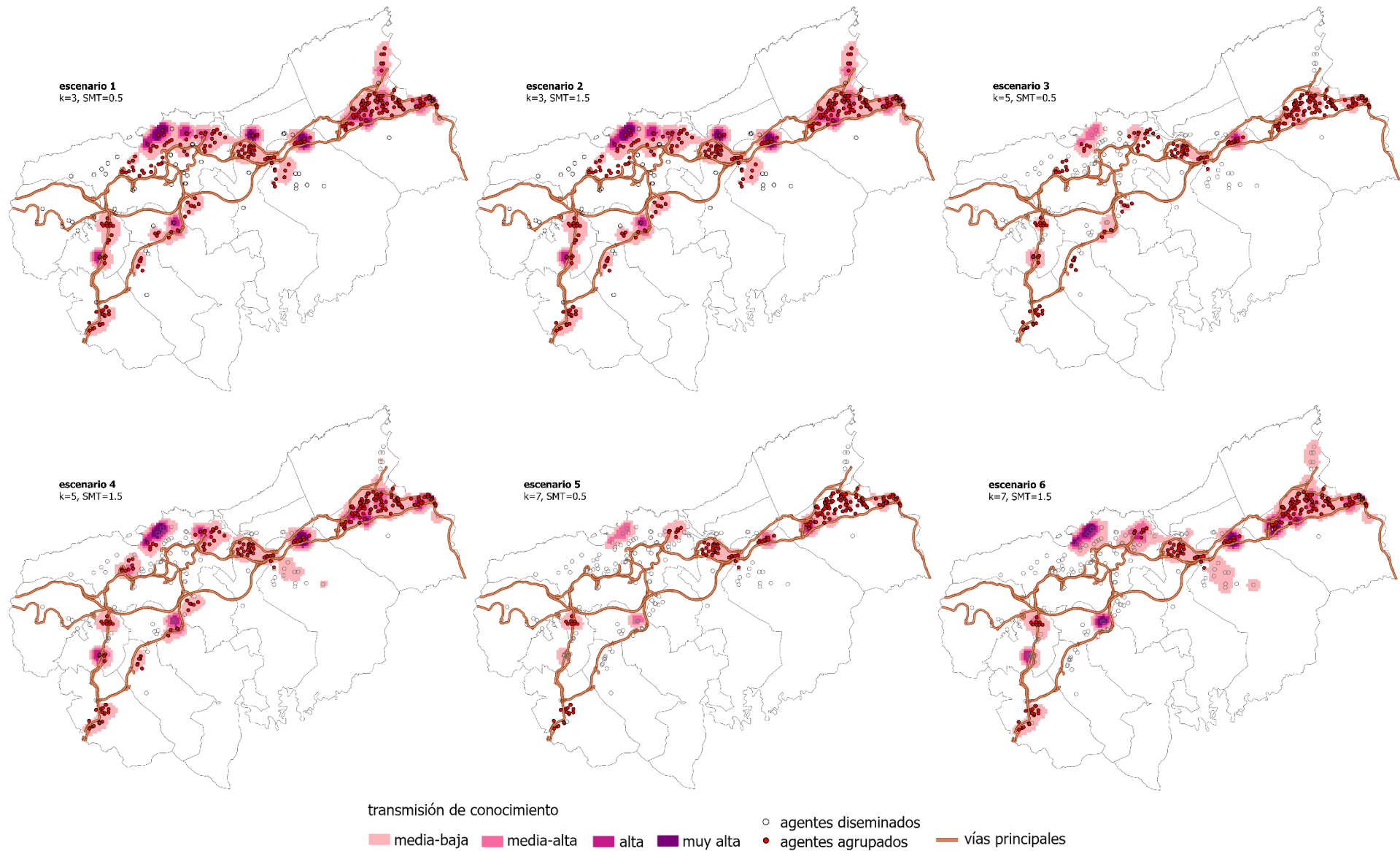


Figura 7.13. Zonas con índice de asociación espacial I de Moran con alta significancia ($p \leq 0.05$) por escenarios.

económico y demanda de transporte ha sido demostrada en estudios empíricos como el de Bennathan *et al.* (1992) o el realizado por Stead (2001). No obstante, trabajos más recientes, como el desarrollado por Alises *et al.* (2014), señalan un constante desacoplamiento entre ambas por el menor ritmo de crecimiento de la demanda de servicios TMC frente al PIB, debido principalmente a la reducción de la intensidad de transporte (ton-km/PIB).

Nuevamente vuelve a comprobarse el impacto que las diferentes situaciones del mercado de transporte ejercen en la difusión del conocimiento en el seno de los sistemas de transporte, generando importantes diferencias entre escenarios. Además, a la vista de la figura 7.13 estas diferencias se ven intensamente condicionadas por el tamaño de los clústeres TMC, pudiendo extraer de ello las siguientes observaciones para el área DABB:

- *Concentración frente a dispersión.* La situación de dispersión de la actividad y el conocimiento presente en los escenarios 1 y 2, donde $k=3$, contrasta con la mayor concentración de estas variables en áreas del este del área DABB cuando $k=7$. Este rasgo, muy visible en el escenario 6, es característico en sistemas de transporte maduros donde, de acuerdo con van den Heuvel *et al.* (2013), es necesaria una cooperación entre municipios debido a que no todos ellos pueden desarrollar en la misma medida áreas de concentración de actividades logísticas. En efecto, la inversión por parte de autoridades locales en zonas especializadas o parques logísticos puede estimular el desarrollo regional (Rivera, Gligor y Sheffi, 2016), en tanto que polos de atracción de actividad y difusión del conocimiento.
- *Liderazgo de clústeres.* Esta tendencia a la mayor concentración espacial de la actividad y el conocimiento cuanto mayores son los clústeres logísticos parece una consecuencia lógica. Sin embargo, esto es posible gracias a la existencia de áreas o parques logísticos, entendidos estos como instituciones organizadas que están integradas por empresas líderes, operadores y proveedores que desempeñan tareas fundamentales dentro de un sistema de colaboraciones (Rivera, Sheffi y Knoppen, 2016). De tal modo, estos clústeres líderes ejercen un importante efecto de arrastre, que es más observable cuanto mayor es la especialización espacial, debido a la participación de agentes con gran capacidad de movilización de activos y de colaboración con otras empresas del sector. Este fenómeno es del todo evidente en el escenario 6, donde la organización del sistema de transporte experimenta un basculamiento de su peso específico hacia el este del área de estudio, pese a que varios clústeres periféricos a ese núcleo o *hub* siguen manteniendo altos niveles de participación.
- *Estructuración espacial del sistema al abrigo de la difusión del conocimiento.* El recorrido a lo largo de los seis escenarios que nos ofrece la implementación del modelo en nuestra área de estudio muestra una variedad de distribuciones, en las que el elemento desencadenante es el aprendizaje de los agentes como producto de su actividad, en primera instancia, y la transferencia de conocimiento, en segundo lugar, como resultado de su capacidad de interacción espacial. Si consideramos toda el área como un solo clúster, con arreglo a la tipología propuesta por Beckers *et al.* (2018) y Beckers (2019) su estructura espacial resultante podría encontrarse entre un clúster policéntrico (E1 y E2)

y un clúster *hub-and-spoke* (E5 y E6). En el primer caso, debido menor tamaño de los clústeres encontramos entidades repartidas por todo el territorio con intensidad e interacción interna suficiente como para obtener una estructura espacial en apariencia más equilibrada, aunque presumiblemente menos efectiva dada la menor especialización y la falta de entornos que ejerzan un liderazgo sólido en la zona. En el segundo caso, una gran cantidad de agentes que anteriormente formaban parte de clústeres aparecen ahora aislados o diseminados, lo que compromete su participación y genera desequilibrios en toda la zona. Sin embargo, estos desequilibrios sitúan a los entornos especializados como estructuradores centrales de la actividad, mientras que los clústeres que sobreviven conforman una red circundante de entornos colaboradores. De tal modo, esta red radial resulta eficaz dado que existe una buena conexión entre entidades centrales y periféricas (Beckers *et al.*, 2018; Beckers, 2019), promueve una mayor especialización, colaboración y complementariedad entre agentes y facilita el intercambio de información y conocimiento debido al mayor tamaño de los clústeres.

3.4. Organización espacial de los clústeres logísticos

En relación con lo visto anteriormente, en este punto trataremos de identificar el tipo de organización que presenta la actividad TMC en el área DABB. Nuestro punto de partida será el escenario 6, donde el mayor tamaño de los clústeres permite concentrar la atención en aquellos entornos de cierta entidad y la abundancia de operaciones de transporte da opción a las empresas de intercambiar experiencias e información. Este último tipo de distribución es el que se presenta en la figura 7.14, cuyo clasificador de clustering por densidad deja 10 agrupaciones o clústeres. Algunos de ellos conforman entidades bien definidas, entre las que destacan las zonas de actividades del transporte Zaisa y Lanbarren, alrededor de las cuales se generan otro tipo de clústeres con composiciones más heterogéneas, como pueden ser los clústeres de Irun, Oiartzun y Errenteria. La disposición conectada de estos clústeres a las principales arterias de comunicación favorece la formación de un corredor o eje de crecimiento (Méndez, 1997), integrado dentro del Eje Atlántico Europeo.

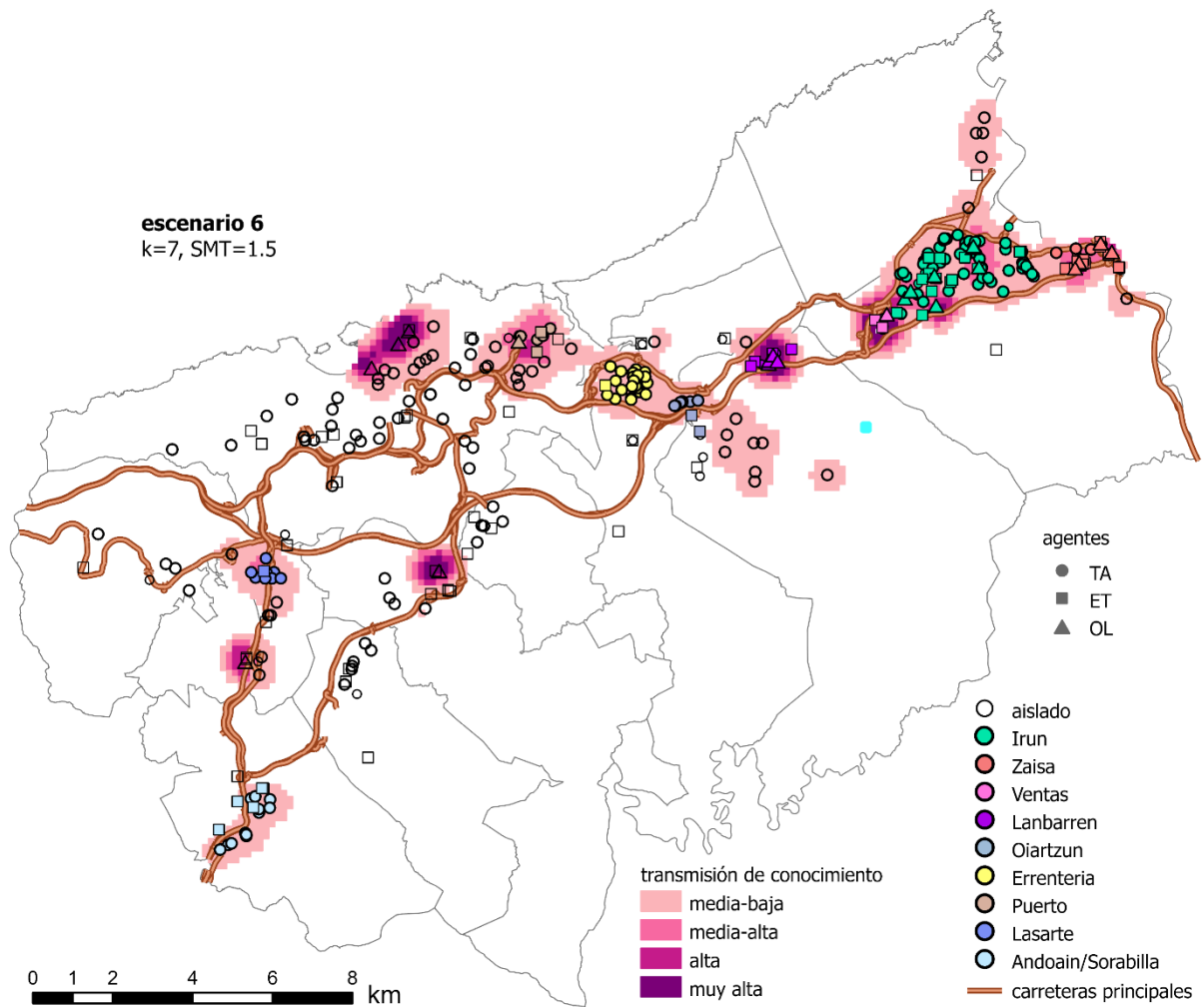


Figura 7.14. Clústeres y transmisión de conocimiento en la DABB.

El resto de clústeres, de menor tamaño que los anteriores (tabla 7.3), se relacionan con estos siguiendo un esquema centro-periferia fuertemente polarizado (Rodrigue *et al.*, 2017), donde el desarrollo de aquellos es menos intenso que en el caso de las zonas de actividad del transporte antes comentadas.

Sin embargo, no se ha de considerar la organización del sistema TMC únicamente a partir de la participación de los clústeres en la gestión de las operaciones de transporte, sino que, como puede comprobarse en la figura 7.14, existen otras áreas donde operan agentes externos a dichos clústeres, que muestran altos niveles de transferencia de conocimiento y lo irradian hacia otros agentes, creando entornos alternativos de actividad y de acumulación de conocimiento.

Tabla 7.3. Tipos de agentes y valores medios de participación y aprendizaje por cada clúster.

	OL	ET	TA	total	contratos/agente (μ)	aprendizaje/agente (μ)
<i>aislado</i>	5	46	88	139	6.47	9.88
<i>Irun</i>	7	20	52	79	13.98	21.89
<i>Zaisa</i>	5	27	3	35	20.04	30.34
<i>Ventas</i>	1	5	0	6	82.79	118.44
<i>Lanbarren</i>	4	7	0	11	49.59	75.81
<i>Oiartzun</i>	0	2	7	9	8.02	11.95
<i>Erresteria</i>	0	1	22	23	9.57	14.28
<i>Puerto</i>	1	2	5	8	25.23	32.70
<i>Lasarte</i>	0	1	9	10	12.67	20.76
<i>Andoain</i>	0	4	6	10	6.29	9.37
<i>Sorabilla</i>	0	1	7	8	8.75	13.13

De tal manera, la organización del sistema de empresas TMC en el área DABB puede ser definida como un complejo sistema de relaciones de colaboración y flujos de conocimiento entre agentes de diferentes rangos, que se localizan en entornos de actividad de transporte de muy diferente índole y función dentro de dicha organización, y que pueden clasificarse en función de la composición y dinámica de los clústeres y de la capacidad de los agentes de transferir conocimiento. Así, siguiendo la clasificación propuesta en el capítulo anterior, podemos diferenciar en el área DABB los siguientes entornos de actividad TMC:

- *Clústeres logísticos.* Por su composición, orientada a la gestión y control de las operaciones de transporte, y por su gran tamaño, constituyen el centro del sistema polarizado, donde tanto operadores logísticos y almacenistas como empresas de transporte dominan la actividad de transporte gracias al liderazgo que ejercen sobre el resto de entornos. Los clústeres que encajan en esta catalogación son los entornos de Zaisa y Lanbarren, cuya situación geográfica en las inmediaciones de la frontera de Irun les proporciona una inmejorable posición estratégica.
- *Entornos mixtos.* Muy próximos a los clústeres logísticos encontramos otros entornos donde la actividad de transporte no es dominante, si bien la presencia de agentes TMC es significativa. Los entornos de transporte de Ventas y del puerto de Pasaia representan este tipo de caso intermedio, dado que su reducido tamaño no permite situarles en la categoría de clústeres logísticos, si bien su desempeño registrado en la simulación los sitúa como complemento de los mismos.
- *Zonas subordinadas.* Estos agrupamientos se encuentran en zonas urbanas en contacto con otros tipos de actividades y constituyen importantes yacimientos de proveedores para los clústeres logísticos. Dos zonas que encajan perfectamente con esta descripción son los entornos de Irun y Erresteria.
- *Zonas periféricas.* Se trata de pequeñas agrupaciones de agentes que aportan proveedores a las zonas de actividad principal. Su composición, basada principalmente

en la presencia de TA, provoca que muestren una gran dependencia de los entornos centrales. Ejemplos de esta clase son los entornos de Andoain, Lasarte y Sorabilla que, pese a situarse en la periferia del sistema, se encuentran muy próximos a las vías principales de comunicación por carretera, lo que facilita su operatividad.

- *Entornos aislados activos.* Son aquellas zonas en las que la transferencia de conocimiento ha tenido lugar pese a que en ellas no se localizan agrupaciones o clústeres definidos. La capacidad de generar y transferir conocimiento es debida a la presencia en las mismas de agentes OL y ET muy activos, que ofrecen alternativas al liderazgo de los clústeres logísticos. El entorno de este tipo más importante lo encontramos en el área urbana de Donostia-San Sebastián, donde operan varias ET y OL.

Esta clasificación recoge los tipos principales de entornos TMC que podemos encontrar en el sistema de transporte del área DABB, como resultado de la implementación del modelo TransopeGIS. Sin embargo, la clave de su funcionamiento radica en el modo en que estos establecen relaciones de colaboración entre los diferentes clústeres y en su propio entorno. En este sentido, la tabla 7.4 revela, por un lado, una estrecha colaboración interna entre agentes del propio clúster y, por otro, un intercambio intenso entre clústeres logísticos y entornos mixtos, como podemos ver en los casos de Zaisa e Irun y de Lanbarren-Errenteria.

Tabla 7.4. Matriz OD con los pesos medios globales de intercambio de operaciones entre clústeres TMC en el área DABB para el escenario 6.

		destino										
		aislado	Irun	Zaisa	Ventas	Lanb.	Oiar.	Errent.	Puerto	Lasar.	And.	Sorab.
origen	aislado	246.73	1.13	0	54.33	20.73	2.2	2.53	31.6	89.6	37.4	20.13
	Irun	19	250.8	4.4	308.47	1.73	0	0.07	0	0.07	0.8	0.13
	Zaisa	81.27	192.93	362.87	0	0	0.13	3.6	2.87	9.6	3.73	14.47
	Ventas	74.2	203.8	0.67	66.87	0.13	13.93	81.47	15.67	13.4	6.4	20.20
	Lanbarren	100.47	5.33	0	0	261.47	55.87	101.93	4.33	1.33	5	9.8
	Oiartzun	1.73	0	0	0	0	0	0.4	0	0	0.07	0.07
	Errenteria	0.13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Puerto	39.27	0.07	0	0	0	0.07	30	81.8	0.2	0.33	0.2
	Lasarte	12.27	0	0	0	0	0	0	0	12.47	7.13	4.8
	Andoain	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	1.93	0.2
	Sorabilla	0	0	0	0	0	0	0	0	0.07		0

Estos indicadores de intercambio y colaboración, en cambio, muestran una total ausencia de colaboración entre clústeres logísticos, de donde puede extraerse la idea de que cada uno de ellos controla un área definida de influencia para cubrir sus necesidades de provisión de servicios de transporte, lo que implica acceso a nichos preferenciales de proveedores. El dibujo final del sistema TMC nos deja una imagen de una organización fuertemente polarizada, donde los clústeres logísticos lideran la actividad de transporte al tiempo que configuran su propio entorno de influencia en su entorno más próximo, sin dejar por ello de recurrir a otros entornos periféricos y áreas de acumulación de conocimiento no clusterizadas.

3.5. Clasificación de los agentes TMC mediante *k*-nearest neighbor

Los resultados obtenidos en los apartados anteriores indican cierta variabilidad en el comportamiento de los agentes del área DABB, en lo relativo a la relación entre sus niveles de actividad y aprendizaje y su pertenencia o no a algún clúster. También son observables discrepancias entre este último factor y sus medidas de centralidad en el conjunto de la red. Para analizar estos aspectos emplearemos el método de clasificación *k*-nearest neighbor (*k*-nn). Del mismo modo que en el caso del clustering por densidad, mediante el método *k*-nn puede clasificarse una muestra basándose en la clasificación conocida de sus vecinos (Mucherino *et al.*, 2009), si bien en este caso utilizaremos variables independientes o predictoras relacionadas con el comportamiento mostrado por cada agente durante las simulaciones.

El primer paso consiste en determinar la variable dependiente, que en nuestro caso será la pertenencia o no a un clúster en cada uno de los escenarios. De tal modo, esta variable dicotómica contará con los niveles “agrupado” o “diseminado”. Las variables independientes, cuya descripción vuelve a recordarse en la tabla 7.5, se dividen en dos grupos: medidas de desempeño de la actividad (participación y aprendizaje) y medidas de centralidad en la red (grado, cercanía e intermediación) derivadas del grafo resultante del modelo. Sus valores se obtienen calculando el promedio de las 16 repeticiones por cada agente y escenario. Además, para el mejor rendimiento del clasificador *k*-nn, todas ellas fueron normalizadas antes de ser utilizadas como variables predictoras:

Tabla 7.5. Descripción de las variables independientes o predictoras.

	<i>descripción</i>
participación	<i>El número de veces que un agente toma parte en una CST.</i>
aprendizaje	<i>El conocimiento acumulado por un agente por su participación en las CST o por proximidad encontrarse en zonas de difusión del conocimiento.</i>
grado	<i>Centralidad de un nodo basada en el número de arcos conectados a dicho nodo, tanto de entrada como de salida (Newman, 2003)</i>
cercanía	<i>Centralidad de un nodo que se corresponde con el valor inverso a la suma de los caminos geodésicos entre dicho nodo y el resto de nodos de la red (Latora y Marchiori, 2007)</i>
intermediación	<i>Centralidad de un nodo basada en el número de caminos geodésicos entre pares de nodos que pasan por dicho nodo (Chen <i>et al.</i>, 2013).</i>

Como método de validación de la prueba se empleó la técnica *k*-fold-cross-validation, que trata de evitar el sobreajuste o distorsión que un modelo construido a partir de una muestra pequeña puede generar cuando se generaliza o se aplica a nuevos datos (Berrar, 2018; Crooks *et al.*, 2019).

El uso de esta técnica en estudios de redes sociales complejas ha sido empleado con éxito en varios estudios, entre los cuales destacamos el realizado por Masías *et al.* (2016), cuya metodología de análisis sirve de referencia para desarrollar este apartado.

La técnica *10-fold-cross-validation* (10-CV) se emplea, en primer lugar, partiendo la muestra entre datos de entrenamiento, por un lado, y datos de test o comprobación, por otro. Los datos de entrenamiento constituyen el 80% del total, y a su vez son divididos aleatoriamente en 10 subconjuntos, los cuales ejecutarán consecutivamente una validación del modelo frente a los otros nueve subconjuntos de entrenamiento. Una vez concluido el modelo de entrenamiento, este se integra con el conjunto de datos de test para evaluar el modelo y mostrar los indicadores de clasificación de la muestra. Estas operaciones fueron realizadas en R por medio del paquete *caret* (Kuhn, 2008), mientras que las curvas ROC se extrajeron a través del paquete *pROC*.

Mediante la técnica 10-CV se obtienen los primeros resultados a partir de los datos de entrenamiento, referidos al nivel de exactitud en el ajuste de k para cada escenario. La exactitud o *accuracy* se refiere al grado en que una predicción se ajusta a la realidad modelada (Sammur y Webb, 2017) y adquiere valores entre 0 y 1. En la figura 7.15 puede observarse en primer lugar un alto grado de exactitud en todos los conjuntos de datos, si bien en los cuatro primeros escenarios existe discrepancia en el ajuste de k y el tipo de agrupamiento inicial. Para los escenarios 1 y 2, donde los agrupamientos por densidad se formaron a partir de la cercanía de 3 nodos vecinos, el desarrollo óptimo del modelo se consigue con $k=5$. En los escenarios 3 y 4, cuya densidad de clustering fue calculada para $k=5$, el mejor desempeño del modelo se consigue con $k=9$, para el primero de ellos, y $k=7$, para el segundo. Sin embargo, a diferencia de los anteriores, en los dos últimos escenarios coinciden el tipo de agrupamiento inicial y el número k en el que se logra el mejor rendimiento del modelo. De tal manera, estos resultados indican que existe un valor de k óptimo para identificar clústeres TMC a partir de la implementación del modelo TransopeGIS.

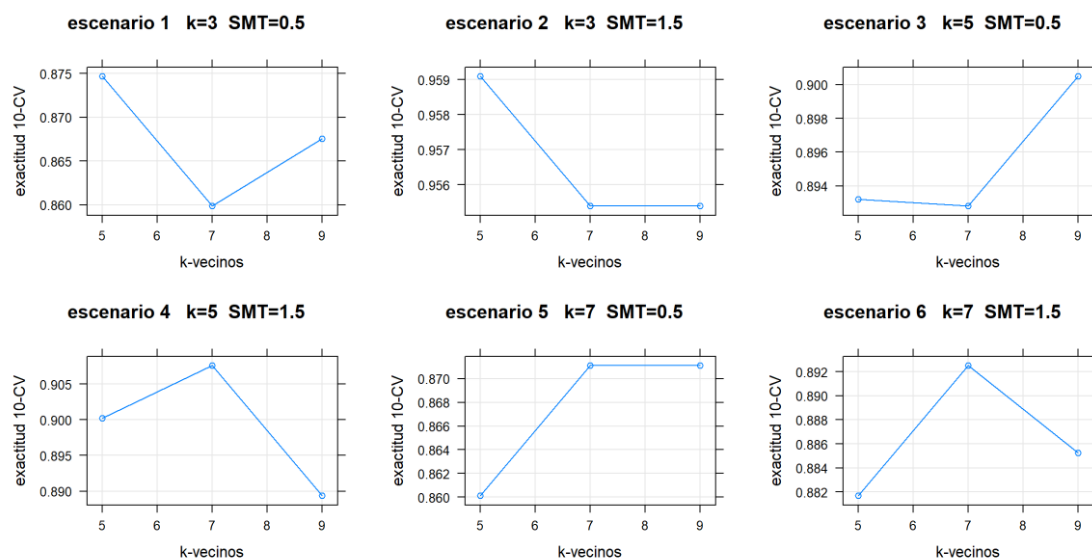


Figura 7.15. Ajuste de k para cada conjunto de datos de entrenamiento.

Por otro lado, las medidas de desempeño que resultan de la aplicación del clasificador k -nn están en relación con la matriz de confusión binaria (figura 7.16), la cual sintetiza el desempeño de un tipo de clasificador respecto de una muestra (Ting, 2017). La prueba analiza el conjunto de datos de test, es decir, el 20% de los datos de la muestra, sobre la base de los datos de entrenamiento. El resultado muestra cuatro categorías diferentes en función de las variables predictoras: los casos verdaderos positivos (VP) son aquellos nodos que han sido predichos correctamente como integrantes de un clúster y en realidad forman parte de uno de ellos, los falsos negativos (FN) son nodos que han sido incorrectamente predichos como no integrantes de un clúster aunque en realidad sí lo son, los falsos positivos (FP) son nodos que no están en ningún clúster y han sido predichos positivamente de modo incorrecto y, por último, los verdaderos negativos (VN) han sido correctamente predichos como no integrantes de ningún clúster.

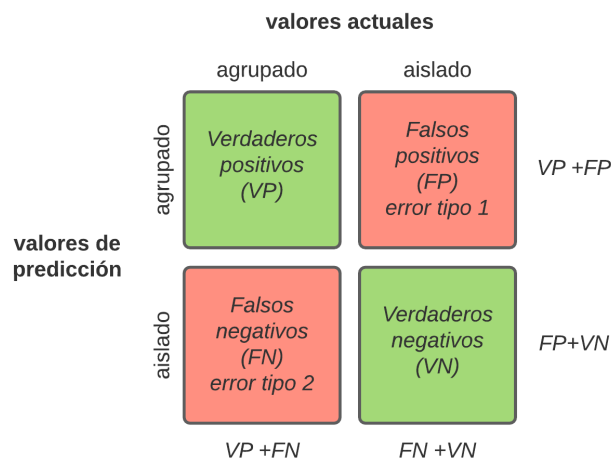


Figura 7.16. Matriz de confusión binaria. En las casillas verdes se sitúan los casos cuya predicción de agrupamiento de acuerdo con las variables independientes se ajusta a la clusterización por densidad, y en rojo tendremos los casos cuya situación actual no se ajusta a la predicción.

Tras esto, una serie de métricas de desempeño del modelo pueden obtenerse a partir de los resultados obtenidos en las matrices de confusión (Sammut y Webb, 2017): la *exactitud* equivale a la suma de los casos verdaderos, tanto positivos como negativos, dividida entre el total de casos; la *precisión*, que mide la proporción de casos positivos que son realmente positivos, es el resultado de la operación $VP/(VP+FP)$; la *sensibilidad*, también denominada *recall*, es la proporción casos positivos que han sido correctamente predichos como positivos, y se obtiene realizando la operación $VP/(VP+FN)$, la *especificidad* o tasa de verdaderos negativos resulta de aplicar $VN/(VN+FP)$, y mide la proporción de casos negativos que han sido incorrectamente predichos.

Además de estas métricas, en la tabla 7.6 se introduce el indicador AUC o área bajo la curva ROC (por sus siglas en inglés de *Receiver Operating Characteristic*). El análisis ROC investiga la relación entre sensibilidad (tasa de verdaderos positivos) y especificidad (tasa de verdaderos negativos) de un clasificador binario (Flach, 2017), resultando de ello una curva que une los puntos (0,0) y (1,1) y cuya discriminación perfecta situaría su punto máximo en (0,1), siendo el valor de $AUC = 1$,

mientras que la curva que indicaría no discriminación es la diagonal $x=y$, donde $AUC = 0.5$ (Jiménez-Valverde, 2012). De acuerdo con Fawcett (2006), los valores AUC cercanos a 1 indican un mejor desempeño medio del clasificador, mientras que los cercanos a 0.5 indican que el clasificador no es capaz de discriminar entre casos verdaderos positivos y casos verdaderos falsos.

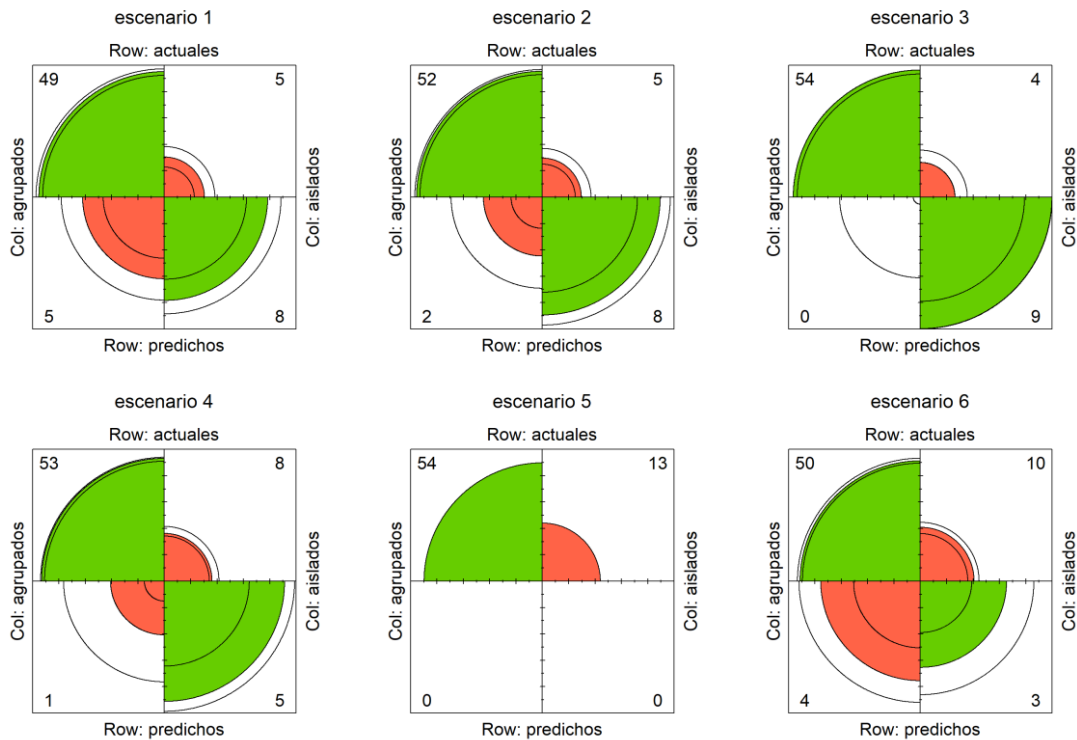


Figura 7.17. Matrices de confusión para los diferentes escenarios. De acuerdo con Friendly (1996), el área de cada cuarto de círculo es proporcional a la frecuencia estandarizada de cada cuadrante observados fila por fila. Los anillos se indican el margen de precisión de los datos a un 95% de fiabilidad.

Los resultados de la clasificación realizada con k -nn se muestran en la tabla 7.6. Es destacable el alto nivel de exactitud que arroja el modelo en todos los escenarios, aunque se observa una disminución de esta medida en los escenarios con menor tasa de agrupamiento (E5 y E6). Un efecto parecido puede encontrarse en el nivel de precisión, aunque la mayor dispersión de los datos no parece estar correlacionada con ninguno de los dos parámetros (k y SMT) que singularizan cada escenario. La tasa de verdaderos positivos o sensibilidad muestra valores máximos en dos escenarios (E3 y E5) y muy cercanos a 1 en el resto, lo que viene a indicar un óptimo funcionamiento del clasificador en la detección de nodos agrupados que realmente sí lo están. Por el contrario, en lo concerniente a la especificidad o tasa de verdaderos negativos, el clasificador muestra dificultades significativas en la identificación de aquellos nodos no agrupados o diseminados que en realidad sí forman parte de un clúster, especialmente en los escenarios 4, 5 y 6, donde los parámetros SMT y k adquieren sus valores máximos.

Tabla 7.6. Medidas extraídas a partir de la matriz de confusión. Los valores oscilan entre 0 y 1, donde 1 significa el valor óptimo de desempeño del clasificador.

	<i>Exactitud</i> $\frac{VP+VN}{VP+FP+VN+FN}$	<i>Precisión</i> $\frac{VP}{VP+FP}$	<i>Sensibilidad</i> $\frac{VP}{VP+FN}$	<i>Especificidad</i> $\frac{VN}{VN+FP}$	<i>AUC</i> $\frac{1}{2} \left(\frac{VP}{VP+FN} + \frac{VN}{VN+FP} \right)$
Escenario 1	0.8507	0.9074	0.9074	0.6154	0.8522
Escenario 2	0.8955	0.9123	0.9630	0.6154	0.9338
Escenario 3	0.9403	0.9310	1.0000	0.6923	0.8990
Escenario 4	0.8657	0.8689	0.9815	0.3846	0.8719
Escenario 5	0.8060	0.8060	1.0000	0.0000	0.8498
Escenario 6	0.7910	0.8333	0.9259	0.2308	0.7155

Las curvas ROC (figura 7.18) demuestran en general un buen desempeño del clasificador en su capacidad de discriminación entre verdaderos positivos y falsos positivos, si bien esta capacidad decrece desde el escenario 2 en adelante. El valor de AUC, como puede verse en la tabla 7.6, indica que en escenarios con mayor cantidad de nodos formando parte de algún clúster (E1 a E4) la discriminación entre nodos realmente agrupados y nodos que forman parte de un clúster, aunque realmente no actúan como tal, es muy efectiva. Sin embargo, el espacio de intersección entre ambos grupos se amplía en los escenarios con k=7, sobre todo en E6, donde el valor de AUC es más moderado. Esta circunstancia, junto con los resultados del resto de métricas comentadas, anticipa el necesario análisis de la importancia de las variables independientes en el desempeño final del clasificador.

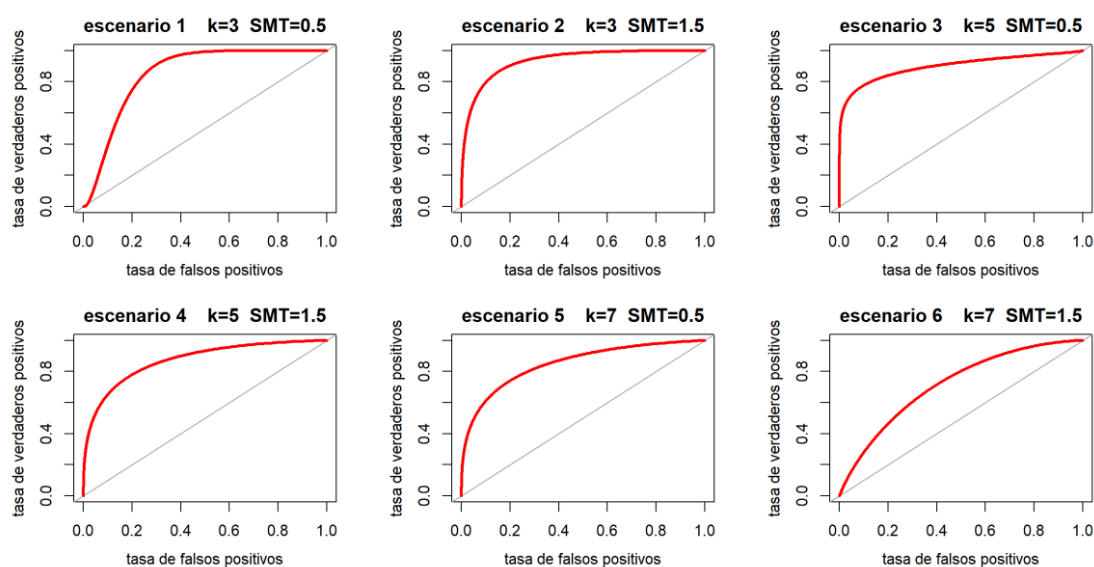


Figura 7.18. Curvas ROC para cada uno de los escenarios.

Un aspecto importante a tener en cuenta es el nivel de importancia mostrado por las variables independientes en la predicción del modelo (tabla 7.7). En efecto, en la clasificación de casos en estos escenarios se obtiene una mayor cantidad de falsos negativos que, debido a la intervención de la variable aprendizaje,

Tabla 7.7. Importancia de las variables predictoras en la clasificación de los agentes TMC.

	<i>participación</i>	<i>aprendizaje</i>	<i>grado</i>	<i>cercanía</i>	<i>intermediación</i>
Escenario 1	91.45	100.00	91.45	89.37	0.00
Escenario 2	92.82	100.00	94.53	90.97	0.00
Escenario 3	84.11	100.00	83.48	83.20	0.00
Escenario 4	91.67	100.00	89.53	86.87	0.00
Escenario 5	71.50	100.00	70.93	71.17	0.00
Escenario 6	76.50	100.00	65.26	57.96	0.00

Finalmente, con el fin de evaluar el comportamiento de los modelos resultantes de cada escenario se empleó el test de McNemar (χ^2_{Mc}). Se trata de una prueba no paramétrica basada en la comparación de modelos par a par, que busca conocer si existe relación entre los dos tipos de error registrados por el clasificador, o si hay mayor probabilidad de ocurrencia de un tipo de error frente al otro (Pembury Smith y Ruxton, 2020). En nuestro caso, los modelos se extraen a partir de las matrices de confusión, donde los argumentos necesarios son los tipos de error I y II (FP y FN, en las matrices de confusión). La hipótesis nula H_0 supone la inexistencia de diferencias significativas entre los dos modelos comparados, es decir, el clasificador comete en la misma proporción errores de apreciación entre agentes agrupados que en realidad no lo están y agentes no agrupados que en realidad sí lo están, mientras que la hipótesis alternativa H_1 confirma la diferencia en el desempeño de ambos. Teniendo en cuenta el reducido tamaño de la muestra, la prueba se realizó empleando dos métodos, ambos calculados para un intervalo de confianza del 95%. En primer lugar, el test exacto de McNemar, calculado mediante el paquete de R *exact2x2* (Fay y Lumbard, 2021), y el test *mid-p* (Fagerland et al., 2013), cuyo uso es más recomendable en muestras de pequeño tamaño (Pembury Smith y Ruxton, 2020).

En la tabla 7.8 se muestran los resultados de las pruebas, donde H_0 se acepta para $p > 0.05$ y es rechazada cuando $p \leq 0.05$. En la mayoría de los escenarios se acepta la hipótesis nula de no diferencia entre los casos no ajustados de los dos modelos. En cambio, en E4 y E5 encontramos diferencias significativas en el comportamiento de los dos tipos de error, lo cual podría reforzar

la idea de una mayor fiabilidad de las variables predictoras frente a la clustering basado en densidad cuando $k \geq 5$.

Tabla 7.8. Intervalos de confianza para la prueba de McNemar.

	<i>p-valor exacto</i>	<i>valor mid-p</i>
Escenario 1	1	1
Escenario 2	0.4531	0.2891
Escenario 3	0.125	0.0625
Escenario 4	0.0391	0.0215
Escenario 5	0.0002	0.0001
Escenario 6	0.1796	0.1185

Sin embargo, el resultado de E6 no apoya esta interpretación, al no encontrarse para este escenario diferencias significativas entre los casos erróneos. A pesar de ello, parece evidente que los casos falsos positivos, es decir, aquellos agentes que parten como nodos pertenecientes a algún clúster pero que no registran actividad ni aprendizaje suficiente como para considerarse agrupados, siempre superan a los falsos negativos, o nodos aislados que posteriormente se agrupan en virtud de su actividad y aprendizaje. Este hecho es significativo ya que muestra un rasgo de comportamiento de los clústeres TMC, donde parece demostrarse que la mera proximidad entre agentes no es garantía suficiente para la participación en las CST. Por último, las pruebas realizadas apoyan la idea de que el aprendizaje acumulado por los agentes durante el desarrollo de su actividad junto con la participación y las medidas de centralidad de grado y cercanía son variables predictoras robustas.

4. Conclusiones

A lo largo de este capítulo nos hemos ocupado del análisis de los clústeres de transporte en el área de estudio DABB, tratando de simular su formación y funcionamiento, así como su interacción, partiendo del uso de clasificadores como el clustering basado en densidad. Estos agrupamientos de empresas TMC tienen una enorme importancia en la articulación territorial de la actividad del transporte, siendo clave para su dinámica el establecimiento de relaciones de subcontratación entre agentes de diferente rango, las cuales derivan en complejas redes de colaboración. En esta dinámica, hemos comprobado que la acumulación de conocimiento por

parte de algunos agentes y su posterior transferencia hacia otros actores de su entorno actúa como catalizador de la actividad, destacándose así ciertos clústeres TMC que lideran el sistema frente a otras zonas con un papel más secundario.

La intervención del aprendizaje y la difusión del conocimiento en la formación de clústeres de transporte había sido simulada en el modelo TRANSOPE desarrollado en el capítulo anterior. Sin embargo, un modelo que reproduce un fenómeno social necesita sostenerse en la evidencia empírica para ser validado (Squazzoni, 2012). Por ello, la integración del modelo TRANSOPE con la base de datos GIS referida al área DABB, donde se incluyen agentes TMC reales que operan en esa área, demuestra que el empleo de modelos ABM teóricos desarrollados sobre espacios ficticios puede considerarse como una metodología óptima para la simulación de fenómenos espaciales, toda vez que, posteriormente, todas las probabilidades aplicadas al nuevo modelo se calculan a partir de datos empíricos (Gilbert y Troitzsch, 2005).

Finalmente, la búsqueda de patrones mediante clasificadores empleados en *machine learning* que expliquen los comportamientos e interacciones entre agentes TMC amplía enormemente el radio de investigación acerca de los clústeres logísticos o de transportes. En efecto, los resultados mostrados por las variables predictoras propuestas en este estudio demuestran que es necesario seguir aportando nuevas orientaciones y enfoques más innovadores para abordar la investigación de este tipo de fenómenos espaciales, ya que se trata de estructuras sociales muy complejas y activas, cuyo rol estratégico en la distribución de los flujos materiales que articulan el territorio es y seguirá siendo en el futuro de capital importancia.

Capítulo 8. Conclusiones

8. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

1. Conclusiones

En este tramo final extraeremos las reflexiones e ideas principales que el largo recorrido a través de los diferentes niveles de la investigación nos ha ido dejando. Comenzaremos primeramente con las conclusiones relacionadas con las preguntas y objetivos de investigación expresados en el capítulo 1, y continuaremos con las conclusiones generales.

1.1. Conclusiones relacionadas con las preguntas y objetivos específicos de investigación

Al inicio de esta tesis nueve preguntas de investigación y siete objetivos específicos fueron formulados. A lo largo de las páginas precedentes se ha tratado de dar respuesta a dichas preguntas y se han sentado las bases para alcanzar los objetivos fijados. Veamos ahora una por una las conclusiones asociadas a estas preguntas junto el nivel de alcance de los objetivos con los que se relacionan (consultar figura 1.1):

Pl 1. ¿En qué punto se encuentra la investigación sobre clústeres logísticos en lo referente a su papel en la dinámica espacial de los sistemas de transporte?

En relación con el primer objetivo específico de esta investigación se llevó a cabo una revisión de la literatura referida a los clústeres logísticos y a dos de las metodologías empleadas hasta el momento en su contextualización y análisis, como son el uso de modelos ABM y la técnica de encuestas en estudios geográficos.

De tal modo, se comprobó que la consideración de los clústeres logísticos como objeto de estudio ha aumentado sensiblemente en la última década de la mano de investigaciones doctorales y artículos especializados procedentes de ámbitos disciplinares diversos. Las líneas generales de investigación muestran una tendencia a identificar los clústeres logísticos existentes y a clasificarlos según el rol que juegan en los sistemas de transporte y, en otros casos, a estudiar los beneficios que se derivan de la clusterización de empresas del sector. Sin embargo, tras dicha revisión se constató que, a pesar de la gran calidad y variedad de enfoques de los trabajos consultados, queda aún mucho por profundizar en torno al modo en que se establecen las relaciones entre empresas TMC, cómo interactúan e intercambian conocimiento y cómo se organizan en el espacio de acuerdo con dichas interacciones.

PI 2. ¿De qué modo interactúan entre sí y con el territorio los agentes que forman parte de los sistemas de transporte de mercancías por carretera (TMC) a escala local y regional?

El establecimiento de relaciones de colaboración entre empresas de transporte en forma de subcontrataciones es un aspecto que caracteriza al sector TMC, tanto que incluso llega a convertirse en un rasgo definitorio del mismo. Esta conclusión se extrae de los datos aportados por la encuesta, donde podemos ver que las estructuras operativas de buena parte de las empresas dependen de la colaboración con otras empresas de igual o diferente rango. No obstante, esta interdependencia, a pesar de tener un efecto positivo en el acceso al mercado de transporte y el afianzamiento de los vínculos de colaboración, resulta marcadamente desigual en cuanto a la capacidad de decisión y la transmisión de la información, dado que se rige por un tipo de colaboración jerárquica o de tipo vertical, donde los agentes que lideran la gestión de las operaciones de transporte mantienen el control de los flujos y las decisiones frente a aquellos que están encargados de realizar el transporte material.

La segunda conclusión tiene que ver con la complejidad del sistema de colaboraciones. En este sentido, tres fueron los tipos de agentes considerados como necesarios para la realización de las operaciones TMC, cuyas funciones están bien delimitadas, y cuyas aptitudes son tenidas en cuenta por los contratadores cuando llega el momento de tener que seleccionar a un proveedor para la realización de una operación de transporte. La utilización de estos criterios de selección de modo variable, según intervengan factores tales como la situación del mercado, el tipo de transporte a realizar o la urgencia, hace que la complejidad del proceso de toma de decisiones derive en un sistema de colaboraciones igualmente complejo.

Otros aspectos como la motivación o la experiencia, relacionados esta vez con los procesos internos de creación y transmisión de conocimiento, resultan del mismo modo cruciales para comprender el modo en que los flujos de información alimentan la articulación de las colaboraciones entre agentes TMC. Sin embargo, estos no han sido objeto detallado de estudio en esta tesis, por lo que constituyen una excelente oportunidad para investigaciones futuras.

La consideración de las interacciones entre los agentes TMC y el territorio conforman la tercera conclusión de este apartado. Las ventajas procedentes del agrupamiento de empresas han sido constatadas profusamente en diferentes trabajos anteriores a este (Sheffi, 2012; van den Heuvel, 2013; Rivera, 2014). Sin embargo, dichos agrupamientos espaciales no garantizan de ninguna manera la cooperación si no se dan condiciones necesarias como la existencia de intereses comunes, compromisos de intercambio de conocimiento o el establecimiento de relaciones positivas con el entorno. En este sentido, a pesar de que los resultados recogidos en el último bloque de la encuesta muestran la preferencia de los agentes TMC por la colaboración con las empresas más próximas, la proximidad como criterio de selección de proveedores o aceptación de encargos de clientes fue puntuada muy por debajo del resto. De todo esto puede extraerse la conclusión de que, frente al mero agrupamiento de empresas, únicamente las relaciones

de colaboración entre agentes próximos que impliquen confianza y transferencia de conocimiento, realizadas mediante la formalización de relaciones contractuales entre empresas TMC, pueden dar lugar a la formación de clústeres logísticos.

Finalmente, esta pregunta está relacionada, por un lado, con el objetivo específico 1, cumplido por medio de la revisión del estado del arte en el capítulo 1 y, por otro, con el objetivo específico 2, alcanzado gracias a la realización de la encuesta TRANSOPE a los profesionales del transporte de Gipuzkoa, que ocupa el capítulo 5.

PI 3. ¿Qué papel juegan las cadenas de subcontratación de transporte (CST) en la articulación de los sistemas de transporte locales y regionales?

La primera conclusión a la que llegamos a raíz de esta pregunta está referida a la validez de las CST como objeto de análisis de la complejidad en las relaciones entre agentes TMC, la cual se relaciona a su vez con los objetivos específicos 2 y 7.

De tal modo, a través de la información extraída de la encuesta TRANSOPE se comprobó la existencia de estructuras de contratación complejas que implican a varios agentes TMC alrededor de una sola operación de transporte. Dichas estructuras, denominadas cadenas de subcontratación de transporte, ofrecen enormes posibilidades de estudio ya que permiten investigar la articulación de flujos de comunicación e información entre agentes que no tienen una conexión directa entre sí. La validez de las contrataciones entre clientes y proveedores como dato empírico para el estudio de las colaboraciones entre empresas que forman clústeres logísticos ha sido constatada ya por trabajos anteriores a este (Beckers *et al.*, 2018; Beckers, 2019). Sin embargo, la detección de CST a partir de datos reales resulta harto complicada debido a la confidencialidad con la que las empresas TMC operan en el ámbito de sus colaboraciones. Por esta razón y como alternativa a dicha falta de datos reales, la simulación de CST mediante el modelo TRANSOPE contribuye al análisis del comportamiento de estas estructuras.

En relación con esto, concluimos que la simulación desarrollada confirma la posibilidad de identificar entornos dinámicos de actividad a partir del establecimiento de la generación de un número determinado de CST, cuyo resultado final es la conformación de una red compleja formada por arcos y nodos emplazados en el territorio. Así, la desigual distribución de estas subcontrataciones origina importantes desequilibrios espaciales en el sistema, cuyo ordenamiento se ve mediatizado por la mayor influencia de algunos agentes en la red, provocando a su vez el surgimiento de entornos de actividad con un rol de liderazgo dentro del sistema TMC. Por ello, las CST son un medio cuantificable, directo y representable para analizar la colaboración entre empresas en un sistema TMC e identificar clústeres logísticos.

La creación del modelo TRANSOPE, que responde a la propuesta expresada en el objetivo específico 3, permite la simulación de CST en un entorno espacial ficticio alterando los factores que influyen en el sistema.

PI 4. ¿Cuáles son las variables que intervienen en la selección de proveedores de transporte?, ¿Qué factores influyen en la dinámica de las cadenas de subcontratación?

En un modelo basado en agentes los fenómenos que tratan de ser simulados son producto de las decisiones y acciones individuales de los agentes que los integran. Dichas acciones y decisiones son fruto de una serie de normas de comportamiento propios de cada agente, que además evolucionan en el tiempo debido a la interacción con otros agentes y con su entorno. En cambio, en modelos como TRANSOPE, donde todos los agentes forman parte del mismo sistema de transporte, existen ciertas normas de comportamiento de tipo corporativo, lo que implica reglas comunes para todos ellos.

Una de estas reglas tiene que con la forma en que los agentes contratadores escogen a sus proveedores de servicios de transporte empleando ciertos criterios de selección. En este sentido, entre los objetivos de la encuesta TRANSOPE se encontraba la identificación de estos criterios y su categorización según su prioridad. Los resultados generales mostraron que los criterios relacionados con el material de transporte (“equipamiento adecuado”, “medidas de seguridad”) eran los más valorados. A continuación, se situaron la “disponibilidad de vehículos”, que alude directamente a la capacidad operativa del proveedor, y la “confianza en su profesionalidad”, relacionada con la existencia de experiencias de colaboración previas entre cliente y proveedor. Por último, la variable consistente en “ofrecer un precio competitivo” se situó por detrás de la “buena comunicación” y la “capacidad de reacción ante situaciones imprevistas”.

Ante el escaso margen de puntuación que separaba unos criterios de otros en su valoración, se optó por caracterizar a los agentes proveedores con atributos de aptitud que, primero, pudieran generar competitividad entre ellos y, segundo, pudieran evolucionar en el transcurso de una simulación. Estos atributos fueron la “disponibilidad de vehículos”, la “confianza en su profesionalidad” y “ofrecer un precio competitivo”. Como se detalló en el desarrollo del punto 3 del capítulo 4, dedicado al diseño del modelo TRANSOPE, se establecieron valores fijos para cada uno de estos tres criterios en función de sus puntuaciones en la encuesta y se asignaron a cada agente, introduciendo además un elemento de aleatoriedad para cada uno con el fin de simular la diversidad dentro del conjunto. Así, los atributos de aptitud relacionados entre sí (ecuación 4.16) junto con el valor de localización de cada agente (ecuación 4.17), conforman la ecuación final (4.20), que determinó en el modelo TRANSOPE el modo en que los clientes seleccionan a sus proveedores de servicios de transporte. En conclusión, esta expresión pretende servir como base para la predicción de la formación de CST en sistemas TMC locales o regionales. La eficacia de este modo de selección deberá ser corroborada en posteriores estudios mediante el perfeccionamiento de artefactos de medición como las encuestas.

En cuanto a los factores influyentes en la dinámica de las CST, se estudió en primer lugar la trascendencia del mercado de transporte (SMT) en el modelo teórico TRANSOPE. Los desajustes entre la oferta de servicios de transporte, que muestra estabilidad en el ámbito local y regional, y la demanda, que fluctúa en función de las necesidades del mercado, resultaron claves para comprender los diferentes escenarios que puede presentar un sistema TMC. Por el contrario, otros factores tales como la capacidad de transferir conocimiento (Kt) o la distancia entre zonas demostraron su escaso impacto en el establecimiento de CST. A partir de estas pruebas en el modelo de entrenamiento, la importancia de la SMT fue confirmada de nuevo en la aplicación del modelo al área DABB. Además, el factor de agrupación de agentes mediante clustering basado en densidad fue igualmente decisivo para explicar la distribución de las colaboraciones y la formación de clústeres logísticos.

PI 5. ¿Qué impacto pueden llegar a tener el aprendizaje y la transmisión del conocimiento en la articulación territorial del sector del transporte?

La interacción entre agentes TMC no se limita a la formalización de contratos para llevar a cabo operaciones de transporte. Así, al entablarse una colaboración entre dos agentes estos necesitan intercambiar una información básica para el desarrollo de la operación. Una vez realizada, cada agente habrá aprendido aspectos clave de la misma gracias a la experiencia y podrá transmitir esos conocimientos a otros agentes de su entorno.

Partiendo de esta circunstancia, el modelo TRANSOPE simuló no solo la conformación de CST sino también la interacción de cada agente con el territorio mediante la transferencia de conocimiento al mismo, ofreciendo a aquellos agentes situados en bajo su área de influencia la posibilidad de “beber” de ese conocimiento y, por tanto, contar con mayores opciones de ser elegidos por un cliente.

Al progresar la formación de CST la acumulación de conocimiento es cada vez mayor en ciertos entornos, favorecidos además por una mayor densidad de agentes TMC. Así, consideramos este fenómeno como la base que permite la formación e identificación de clústeres logísticos. Si bien es innegable que el agrupamiento espacial es necesario para que el proceso de difusión espacial del conocimiento pueda llegar a producirse, la existencia de un intercambio de información entre empresas TMC a través de canales de comunicación abiertos permanentemente es el rasgo que define a estos entornos de actividad.

La implementación del modelo teórico en un espacio de entrenamiento demostró la posibilidad de simular la difusión del conocimiento en un sistema TMC bajo la influencia de varios factores. En cambio, la aplicación del modelo al área DABB nos permitió relacionar diferentes tipos de agrupamientos de empresas reales creados mediante el algoritmo de clustering basado en densidad DBSCAN con la generación de entornos dinámicos basados en la difusión de la información y el conocimiento a partir de la simulación de CST. A partir de este experimento realizado con datos empíricos pudimos comprobar que a mayor

tamaño de los clústeres se produce una polarización espacial más intensa de la actividad y una mayor concentración del conocimiento en esas zonas motoras del sistema. En este sentido, se constató la influencia del mercado de transporte en dicha polarización, más acentuada cuanto menor demanda de servicios de transporte.

Por último, es necesario señalar que tanto el aprendizaje como la transferencia de conocimiento entre agentes son variables de complicada medición debido a las reticencias que, con frecuencia, las empresas TMC muestran a la hora de revelar sus procedimientos internos y de colaboración con otras empresas. Por estas dos razones, la simulación de su difusión fue diseñada eludiendo la intervención de elementos limitadores u otros condicionantes que pudieran alterarla, es decir, se desarrolló entendiendo el territorio como un espacio isotrópico. Esta anomalía, no obstante, puede ser corregida en futuras versiones del modelo, si bien dicha corrección se consideró poco relevante para los objetivos de esta investigación.

PI 6. ¿Cómo colaboran internamente los agentes que integran un clúster logístico? ¿Cómo colaboran entre sí los clústeres logísticos? ¿Qué nivel de complejidad resulta de dicha colaboración y del intercambio de conocimiento? ¿Cómo se traduce esto en el territorio?

Sin duda, este conjunto de preguntas y sus correspondientes conclusiones se encuentran en el centro neurálgico de la investigación, por cuanto que apelan directamente a los mecanismos rectores que rigen en la colaboración entre agentes tanto del mismo clúster como de otros diferentes. Así, una de las claves para comprenderlos se obtuvo a partir de la encuesta TRANSOPE, donde la cuestión relativa a la colaboración explícita con agentes del entorno ofreció datos muy reveladores en lo referente al reparto de roles. Por un lado, el liderazgo que ejercen los operadores logísticos en los clústeres no puede cuestionarse, habida cuenta de su capacidad de abarcar grandes cuotas de mercado empleando avanzados sistemas de gestión logística integral como *4PL* (para más información, Fulconis *et al.*, 2016). Sin embargo, las empresas de transporte (ET) demostraron ocupar un lugar muy central en la articulación de la red, no solo en tanto que nodos intermediarios entre sus clientes (OL) y los realizadores materiales del transporte (TA), sino sobre todo como gestores experimentados en el traslado de mercancías y, por tanto, difusores de conocimiento.

Posteriormente, dicha centralidad de las ET fue corroborada en el capítulo 6, dedicado al desarrollo del modelo. La distribución de roles en función tanto de la colaboración interna como de la colaboración entre diferentes zonas (colaboración intra- o intermodular, de acuerdo con Guimera y Amaral, 2005) demostró en la mayoría de los escenarios simulados el potencial de varias ET en tanto que *hubs conectores*, ejerciendo así un papel de gran influencia en la dinámica de la red. A partir de la iniciativa de estas empresas con mayor prestigio en el sistema TMC se teje una red de relaciones preferenciales entre diferentes tipos de agentes, que además tiende a afianzarse con el paso del tiempo.

Tomando en consideración tal comportamiento dinamizador de algunos de estos agentes, se comprobó además que los clústeres de los que forman parte se contagian de dicho impulso, creándose así agrupamientos que lideran la red por su alto grado de participación y su capacidad de conectar con otros clústeres. A la par que estos tipos de clúster, otros agrupamientos mostraron la capacidad de integrarse en la red cumpliendo funciones intermedias de cohesión de la red o, a un nivel inferior, agrupamientos que desempeñan únicamente funciones subordinadas, lo que implica una escasa capacidad de decisión. En último término, dentro de la red, pero participando de una manera esporádica, se distinguieron los entornos periféricos conformados por agentes aislados y poco participativos.

Como consecuencia del sistema de elecciones preferenciales y de los mecanismos locales de aprendizaje y de difusión de información y conocimiento, a resultas de los cuales se desarrollan diferentes tipos de agrupamientos, se demostró que la red muestra un alto nivel de complejidad, al constatarse en el modelo que los agentes TMC se comportan con arreglo a un modelo de redes libres de escala, en el que la difusión del conocimiento contribuye creando importantes desequilibrios espaciales entre entornos dinámicos y entornos poco favorecidos.

En lo que respecta a la aplicación del modelo al área DABB, los datos empíricos ofrecieron la posibilidad de simular la formación de clústeres y la difusión del conocimiento a partir de tres informaciones: la razón social, el tipo de agente TMC y el número de vehículos disponible para cada agente. Así, los resultados del experimento confirmaron la idoneidad de la tipología de clústeres propuesta en el capítulo 6. Esta clasificación es reconocible en el escenario 6, donde la coincidencia entre agrupamientos generados por el algoritmo DBSCAN para grupos de al menos 7 agentes ($k=7$) y entornos de concentración de actividad y conocimiento demuestra la intensa polarización espacial del sistema TMC y las evidentes funciones de liderazgo de unos agrupamientos frente a la subordinación de otros. Además de estos, la existencia de otros entornos activos, aunque aislados, demostró que la participación en la red no se circunscribe en exclusiva a la pertenencia a algún clúster logístico o agrupamiento de agentes TMC.

Finalmente, es necesario añadir que las relaciones de colaboración entre agentes manifestadas de forma explícita por las empresas en la encuesta TRANSOPE, cuya representación cartográfica podría haber corroborado la relación entre agentes TMC y clústeres, no pudieron ser utilizados para validar la clasificación propuesta, dado que, por un lado, el mayor nivel de respuesta de unas zonas frente a otras hubiera introducido un factor de sesgo notable y, por otro, el compromiso de confidencialidad sobre estas respuestas obligaba al equipo investigador a utilizar esos datos únicamente de modo agregado.

PI 7. ¿Qué puede aportar a la ciencia geográfica la simulación de fenómenos espaciales tales como la formación de clústeres logísticos a partir de modelos teóricos basado en agentes?

La Geografía, al igual que otras ciencias sociales, adolece de espacios experimentales para realizar comprobaciones basadas en el método de ensayo-error. Los fenómenos espaciales pueden ser representados y analizados, pero hasta la aparición de modelos inteligentes la realización de pruebas para simular su comportamiento bajo diferentes condiciones estaba muy limitada. En este sentido, el empleo de modelos ABM aplicados a problemas geográficos permitió simular la génesis y evolución de fenómenos espaciales a partir de la atribución de propiedades y comportamientos a los agentes que toman parte en ellos.

Como pudo comprobarse en el capítulo 2, dedicado a la revisión de la literatura, numerosos modelos anteriores a este han conseguido simular gran variedad de fenómenos espaciales, tanto físicos como humanos. Sin embargo, el modelo TRANSOPE, centrado en la interacción entre empresas de transporte de diferentes tamaños y funciones en un entorno local y en los fenómenos espaciales emergentes derivados de ella, constituye una tentativa novedosa de ampliar el espectro metodológico de la Geografía, puesto que se trata de un modelo de ensayo que puede ser posteriormente adaptado y aplicado a otros entornos con realidades espaciales similares a la de nuestro estudio de caso.

Nuestra propuesta metodológica se desarrolló en dos pasos: en primer lugar, al diseñar e implementar un modelo de entrenamiento se pretendió sentar una base de simulación virtual para la detección de varios aspectos fundamentales del fenómeno de la colaboración entre agentes TMC. Para ello se partió de la información recabada en la encuesta, que fue clave para definir y calibrar las variables de aptitud de los agentes. Además, el entrenamiento virtual sirvió para fijar los umbrales de desempeño del modelo empleando varios escenarios con diferentes niveles de incidencia de los factores que afectan a la actividad.

El segundo paso consistió en la integración de TRANSOPE con la base de datos GIS correspondiente al estudio de caso elegido, el área DABB, en la que figuraban un total de 338 agentes distribuidos por el territorio de acuerdo con su razón social. A través de este nuevo modelo integrado, denominado TransopeGIS, fue posible estudiar la formación de clústeres logísticos a partir de la transferencia de conocimiento en un entorno real de alta concentración de empresas TMC, comparando varios escenarios en función de diferentes niveles de agrupación de agentes y de la variabilidad del mercado de transporte.

En conclusión, la metodología basada en modelos ABM de entrenamiento para ser integrados posteriormente con bases de datos GIS ofrece amplias oportunidades de investigación en Geografía, por su versatilidad para el estudio de fenómenos espaciales complejos y por la posibilidad de investigar a partir de la simulación de datos que son escasos o complicados de obtener.

PI 8. ¿Es posible estudiar la formación de clústeres logísticos integrando la teoría de grafos, el análisis de redes sociales complejas basadas en agentes y los procesos de difusión espacial?

Otro aspecto metodológico importante que se puso a prueba en esta investigación se refiere al estudio de las colaboraciones entre agentes TMC mediante el análisis de redes complejas y el empleo de la teoría de grafos. El uso de métricas de centralidad y análisis modular de grafos aplicado al comportamiento de agentes y sistemas de transporte ha sido tratado en otras investigaciones (Démare *et al.*, 2017; Beckers *et al.*, 2018). Sin embargo, la aportación más significativa de este estudio tiene que ver con la creación de procesos de difusión espacial como resultado de la interacción entre la formación dinámica de redes complejas de agentes TMC y el territorio donde estos desarrollan su actividad.

De tal modo, se asoció este tipo de estructuras con redes complejas evolutivas, donde los diferentes tipos de agentes muestran particulares niveles de aptitud para emprender operaciones de transporte o participar en CST, lo que hace que su conectividad dependa de su grado de competitividad (Bianconi y Barabási, 2001). En consecuencia, tanto en el desarrollo del modelo teórico como en su aplicación al área DABB, pudo comprobarse el modo en que la complejidad de las redes de colaboración resultantes de la formalización de CST provoca un efecto de concentración espacial del conocimiento en ciertas áreas y cómo este sigue ciertos canales o vías de difusión en el territorio.

Por tanto, de acuerdo con los objetivos específicos 5 y 6 planteados en la introducción consideramos que el empleo grafos dinámicos en tanto que redes sociales complejas constituye una metodología verdaderamente eficiente para el reconocimiento de patrones de comportamiento de agentes que interactúan en un sistema de transporte TMC y para simular el impacto espacial de su actividad y su aprendizaje. La posibilidad de interacción entre agentes no únicamente mediante las CST sino también a través de la difusión espacial del conocimiento abre una puerta al análisis de redes sociales, ya que permite la evolución simultánea de agentes gracias a la influencia de la red, pese a que aún no formen parte de ella.

PI 9. ¿De qué modo pueden ayudar los métodos y resultados de la investigación a la gestión del transporte de mercancías en el ámbito profesional?

La colaboración de la investigación universitaria con organismos o asociaciones que integran a los agentes TMC es uno de los objetivos específicos de esta investigación. En este sentido, una de las ideas de las que partió este estudio fue la de dotar al sector TMC de herramientas que posibilitaran el intercambio de información y conocimiento entre agentes de sistemas de transporte locales y regionales, con el fin de lograr entornos más competitivos y eficientes.

Así, la primera de estas herramientas la constituyó la encuesta TRANSOPE. El diseño de la encuesta, dirigida a los profesionales del transporte en varios ámbitos de decisión, supuso de inicio una novedad para las investigaciones sobre sistemas de transporte, ya que se

abarcaba a todas las unidades de decisión implicadas en las operaciones de transporte a través de CST. Por ejemplo, el análisis de la importancia de los criterios de selección empleados por los contratadores, así como de los aspectos más valorados por los proveedores respecto a las aptitudes de sus clientes, ofrece una información de tipo bidireccional que enriquece el marco de relaciones de colaboración ampliando su contenido. Además, la investigación acerca de los tipos de estructura creados a partir de las relaciones de subcontratación y de los flujos de información entre agentes alrededor de una operación de transporte plantea una nueva dimensión de para el conocimiento de los mecanismos de colaboración dentro del sector. Los resultados de la encuesta fueron de tal modo puestos a disposición de los miembros de la asociación de transportistas guipuzcoanos *Guitrans* por medio de una publicación editada por *Fundación Guitrans Fundazioa*, haciéndose extensiva igualmente a otros actores y organismos tanto públicos como privados.

Por otro lado, la metodología empleada en la simulación de CST, aplicada posteriormente con éxito al estudio de caso del área DABB, demuestra que el empleo de modelos ABM dirigidos a simular y analizar fenómenos espaciales que dependen de la interacción de agentes puede contribuir enormemente a la aportación de soluciones a problemas reales en el sector TMC. Un ejemplo de aplicación real podemos encontrarlo en aquellas situaciones de alta demanda de servicios de transporte, que acarrear dificultades a las empresas subcontratadoras por la escasez de proveedores de servicios de transporte disponibles. De tal modo, el modelo TRANSOPE puede calcular los umbrales dentro de los cuales el sistema puede seguir abasteciéndose de servicios, y los puntos de ruptura a partir del cual el sistema colapsa. Como complemento a estas aplicaciones, la cooperación de los ámbitos público y empresarial con la investigación universitaria, facilitando el acceso a fuentes de datos para alimentar los modelos, permitiría que las simulaciones fueran más ajustadas y precisas, contribuyendo así a una mayor eficiencia en la toma de decisiones.

Otro ámbito de aplicación se sitúa en torno a los procesos de aprendizaje y transferencia de conocimiento, tanto entre agentes implicados en CST como entre clústeres logísticos. En ambos casos, el modelo identifica aquellos entornos donde las probabilidades de intercambiar información a través de la cooperación entre empresas son mayores. Las cadenas de información entre empresas no siguen necesariamente la lógica jerárquica y unidireccional de las cadenas de subcontratación, sino que pueden implicar a otros agentes no involucrados en la operación de transporte a la que se refiere la CST. Por ello, la detección de estos entornos propicios para la propagación del conocimiento resulta de gran interés para aquellas empresas que buscan obtener ventajas de las externalidades derivadas de la localización en clústeres y no a partir de meros agrupamientos espaciales de empresas TMC.

Los métodos empleados en esta investigación aportan, pues, nuevos enfoques tanto para la investigación académica de las relaciones de colaboración y de la generación compartida de conocimiento entre agentes TMC como para la gestión de información y la resolución de problemas por parte de profesionales del sector del transporte. La unión de esfuerzos y voluntades entre los actores principales del mundo del transporte, públicos y privados, y

el ámbito universitario adquiere de esta manera un enorme potencial para encarar los nuevos retos a los que el transporte habrá de enfrentarse en el futuro.

1.2. Conclusiones generales

Recordando el objetivo general expresado en el capítulo 1, en esta investigación se ha pretendido estudiar la formación y evolución de los clústeres logísticos y su función dentro de los sistemas TMC. Además, más allá de esta pretensión general, los objetivos específicos ayudaron a delimitar con mayor precisión las metas perseguidas en este trabajo. En relación, pues, con la formulación de todas estas metas y con el propio desarrollo de la investigación llegamos a las siguientes conclusiones o ideas generales:

- *Las estructuras de colaboración entre empresas TMC están fuertemente jerarquizadas debido a la existencia de diferentes tipos de agentes con muy diversa capacidad de acción y decisión dentro del sistema.* El fenómeno de la subcontratación entre empresas TMC fue investigado a través de la encuesta TRANSOPE, a partir de la cual pudieron extraerse interesantes conclusiones acerca de los mecanismos operativos y de los flujos de información que envuelven a las operaciones de transporte de mercancías y a los agentes implicados en las mismas. Una de las principales tiene que ver con las grandes diferencias que los diferentes tipos de agente contemplados en el estudio (operadores logísticos, empresas de transporte y transportistas autónomos) muestran en cuanto a su capacidad de decisión. En este sentido, el estudio demostró cómo la posición central de las ET les proporciona una gran capacidad de influencia dentro del sistema, al estar en contacto con muchos y diferentes tipos de agentes. El control operativo de este tipo de agente, pues, resulta decisivo para el éxito de las colaboraciones. Además, su presencia en agrupamientos de empresas tiene un efecto dinamizador en cuanto a la formalización de contrataciones y en la transferencia de conocimiento, por lo que su impacto se considera como altamente positivo en la formación de clústeres logísticos. Por su parte, los OL, cuya participación es obligada debido a su posición dominante en lo más alto de la cadena, generan igualmente un impacto positivo en la formación de clústeres logísticos, si bien su capacidad de interacción está restringida a las ET. En el caso de los TA, su capacidad de acción es mucho menor que la de los otros dos tipos de agente, por lo que su influencia en el sistema también es escasa. Su participación en las CST nunca está asegurada, ya que dependerá de sus aptitudes y de su capacidad de evolucionar y aprender. De tal modo, tanto el modelo teórico TRANSOPE como su aplicación al área DABB permitieron reproducir a partir de los datos de la encuesta los diferentes roles y comportamientos de cada agente y el modo en que estos colaboran e interactúan entre sí de acuerdo con su distribución espacial, para así, mediante el análisis la estructura de colaboración resultante, comprobar los efectos espaciales de los diversos niveles de actividad.
- *Los agentes TMC, mediante sus colaboraciones, dan forma a los clústeres logísticos en tanto que estructuras operativas de índole espacial y los hacen evolucionar día tras día.* En efecto, el estudio de las relaciones entre agentes a través del desempeño de sus tareas operativas diarias confirmó la trascendencia de estas cadenas para el agrupamiento colaborativo de empresas del sector del transporte de mercancías. El enfoque basado en agentes demostró ser un método muy valioso para el estudio evolutivo de estos

fenómenos espaciales, puesto que, al considerarse individualmente la aportación de cada agente en el sistema, su evolución condiciona al resto de agentes y al modo en que los clústeres logísticos se desarrollan, ofreciendo diferentes resultados en función de la intervención de factores tales como la situación del mercado de transporte o la mayor o el tamaño de los agrupamientos de agentes. Esta metodología permitió, por vez primera, analizar la formación y evolución de clústeres logísticos mediante la simulación de cadenas de subcontratación y de la complejidad derivada de la red de relaciones contractuales entre los agentes de un sistema TMC. De tal modo, entendemos que este estudio ha contribuido a la ciencia geográfica aportando nuevos y significativos elementos de análisis con enorme trascendencia en la articulación espacial de las actividades del transporte.

- *El aprendizaje y la transferencia de conocimiento resultan vitales para comprender la formación de entornos colaborativos de empresas TMC y su evolución hacia lo que denominamos clústeres logísticos.* Hasta el momento, los estudios que han abordado el análisis de los clústeres logísticos han considerado el papel de la transferencia de conocimiento entre ellos como un elemento importante en los mecanismos de gestión de las relaciones entre empresas agrupadas. Sin embargo, se ha prestado poca atención al modo en que esta transferencia se produce y qué efectos espaciales ocasiona. Para tratar de arrojar luz sobre dicho proceso, este estudio planteó un novedoso modelo en el que es posible simular cómo el aprendizaje derivado de la participación de los agentes TMC en operaciones de transporte genera intercambio de conocimiento, lo cual provoca a su vez un impacto espacial allí donde este tiene lugar. Además, se contempla la posibilidad de que aquellos agentes próximos a las zonas favorecidas por la transferencia de conocimiento y cuyos niveles de participación en CST sean escasos puedan aprovecharse del conocimiento transferido por otros agentes más activos. En pocas palabras, el aprendizaje y el intercambio de conocimiento evolucionan tanto a nivel individual de agente como a nivel territorial, lo cual produce evidentes desequilibrios en los dos ámbitos.
- *Los sistemas TMC, en tanto que redes sociales, se definen por su complejidad evolutiva, cuyo efecto espacial más relevante es la formación de clústeres logísticos.* El análisis evolutivo de los grafos resultantes de las simulaciones mostró que las redes de colaboraciones entre agentes TMC siguen pautas de funcionamiento propias de las redes complejas, donde las decisiones de colaboración tomadas por los agentes con capacidad de decisión se fundamentan en las aptitudes de los proveedores y en su potencial de aprendizaje. Así, tanto el modelo teórico TRANSOPE como el modelo aplicado al área DABB demostraron que las redes son capaces de aprender y compartir lo aprendido, intercambiando dicho aprendizaje incluso con agentes que aún no forman parte de esa red y posibilitando así su incorporación a la misma. La complejidad derivada del establecimiento de relaciones preferenciales entre agentes se filtra, pues, desde la red hacia el territorio en el que las colaboraciones tienen lugar, creando vínculos de retroalimentación entre ambas estructuras y provocando de tal modo la aparición de entornos con diferentes niveles de actividad y de otras zonas menos favorecidas que quedan excluidas. De tal modo, los clústeres logísticos surgen como consecuencia de las interacciones operativas e intercambios de conocimiento mantenidos entre agentes en el seno de un agrupamiento espacial determinado. Además, de acuerdo con lo analizado en el estudio de caso, estos intercambios se ven favorecidos por el mayor tamaño de los

clústeres y por la mayor demanda de servicios de transporte, si bien la cohesión y dinamismo de estos entornos les hace capaces de resistir las situaciones de escasez de demanda mejor que a otras zonas. Los clústeres logísticos son, por tanto, entidades espaciales dinámicas que evolucionan de día en día, cuya creación de vínculos y nuevo conocimiento les dota de prestigio y notable influencia dentro del sistema TMC.

- *Los clústeres logísticos ocupan una posición central de liderazgo en la articulación territorial de los sistemas TMC, si bien requieren de la participación de otros entornos de actividad para su funcionamiento.* En la implementación del modelo teórico pudo comprobarse el modo en que ciertos entornos son capaces de acumular actividad y conocimiento frente a otras zonas que se sitúan en la periferia de los canales de participación. Estas diferencias de comportamiento de unas zonas frente a otras dentro de un sistema TMC fueron posteriormente confirmadas en la aplicación del modelo al área DABB, donde se identificaron diferentes entornos en función de su aportación al sistema. De acuerdo con estos resultados, se constató la posición de liderazgo de los clústeres logísticos en el funcionamiento de los sistemas TMC, en tanto que agrupamientos dinámicos de operadores logísticos y empresas de transporte que generan actividad e intercambian conocimiento. Sin embargo, la presencia de otros tipos de entorno, cuya participación está más restringida al suministro de servicios de transporte, se consideró igualmente fundamental para la funcionalidad del sistema TMC. Es el caso, por ejemplo, de aquellos entornos de concentración de microempresas de transporte o transportistas autónomos, clasificados como zonas subordinadas a los clústeres logísticos y a los entornos mixtos, que constituyen auténticos yacimientos de proveedores de servicios de transporte. Más allá de los circuitos principales actividad y de transferencia de conocimiento se encuentran las zonas periféricas, que participan más esporádicamente en el sistema. Finalmente, el modelo demostró que, al mismo tiempo que la actividad se distribuye de modo desigual a través del territorio entre diferentes tipos de agrupamientos de agentes, otras zonas, en las que la implantación de empresas TMC es dispersa e irregular, quedan excluidas de los canales de transferencia del conocimiento. Igualmente quedó comprobado que estos desequilibrios territoriales son más acentuados cuanto mayor es el desajuste entre oferta y demanda de servicios de transporte.
- *La participación de agentes TMC en clústeres logísticos puede predecirse a partir de los niveles de aprendizaje y del intercambio de conocimiento.* El empleo de algoritmos procedentes de la inteligencia artificial se viene aplicando muy recientemente a estudios geográficos, constituyendo una nueva disciplina de investigación a la que se ha venido a denominar GeoAI (Lavallin y Downs, 2021), que trata de integrar el uso de GIS, el análisis de redes sociales complejas y herramientas de *Machine Learning* (ML). En relación con esta nueva tendencia, esta investigación empleó un algoritmo de clasificación ML para tratar de identificar aquellas variables predictoras que pudieran ayudar a pronosticar la participación de agentes en cadenas de subcontratación. Para ello, se partió de una distribución espacial de agentes reales en el área DABB, que fueron agrupados en clústeres mediante la aplicación del algoritmo DBSCAN para diferentes valores de k y una distancia máxima entre agentes de 0.5 km . La aplicación posterior del algoritmo k -nearest neighbor demostró que el hecho de que una empresa forme parte un clúster logístico no garantiza totalmente que ésta disfrute de las ventajas potenciales de su localización en lo referente a la participación en operaciones y al acceso al conocimiento. Igualmente, se

constató que este hecho afecta más a los clústeres con valores de k más elevados. De tal modo, mediante este análisis realizado con agentes TMC auténticos, aunque a partir de relaciones de colaboración simuladas, se consiguió establecer una metodología para tratar de medir las probabilidades de los agentes de tomar parte en las CST, tomando como variable predictora principal la acumulación de conocimiento de cada agente producto de su propio aprendizaje y del acceso al conocimiento generado por otros agentes.

2. Limitaciones y futuras líneas de investigación

A continuación, se exponen, por un lado, aquellos aspectos que han limitado la investigación y sus posibles soluciones y, por otro, algunas posibles líneas de investigación que pueden emprenderse a partir de la presente tesis.

2.1. Limitaciones de la investigación

Toda investigación que pretenda abrir líneas de estudio poco o nada exploradas hasta ese momento corre el riesgo de encontrar limitaciones en varios ámbitos decisivos de la misma, las cuales podrían llegar a poner en serio peligro la viabilidad del proyecto. Sin embargo, estos obstáculos no deben ser sino un estímulo para tratar superarlos a través de la búsqueda de métodos y fórmulas que permitan aproximarse por otras vías a los objetivos planteados inicialmente.

En el caso de la presente investigación, esos límites se encontraron principalmente en la escasez de información existente respecto a las relaciones contractuales entre empresas TMC. La ausencia de este tipo de datos, tanto desde los registros oficiales como desde el ámbito privado, obligó a diseñar un cuestionario dirigido a los actores principales de la gestión del transporte de mercancías por carretera en un entorno concreto, el área DABB, con el fin de conocer los modos de subcontratación más comunes y los canales de información existentes entre agentes en el marco de las operaciones de transporte. De tal modo, esta primera limitación pudo ser superada. Sin embargo, las reticencias de muchas empresas encuestadas a facilitar información detallada acerca de sus colaboradores impidieron que se pudieran comparar los resultados de la simulación de la formación de CST con datos reales, o incluso simular contrataciones futuras a partir de vínculos ya existentes en el panorama de relaciones contractuales.

Otra limitación importante, también relacionada con la escasez de datos, se refiere a la incapacidad de conocer la capacidad de transporte real de una empresa, y por extensión, de una comarca o región. Los datos que figuran en los registros del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana solo proporcionan información sobre el número de vehículos autopropulsados que posee una empresa, mientras que la cifra de semirremolques o vehículos no motorizados, que podrían servir para estimar su capacidad de transporte, no se facilita. Esta circunstancia limita el estudio de las necesidades de subcontratación que puede presentar una empresa TMC, ya que obliga a estimar dichas necesidades en función de otros activos que no son tan fiables como el

número de vehículos no motorizados, destinados en buena parte a ser explotados por transportistas autónomos.

Por otro lado, la imposibilidad de medir y cuantificar la transferencia de conocimiento entre agentes en el seno de un sistema de colaboraciones supone un inconveniente a la hora de diseñar un modelo ABM partiendo de referentes fiables. El fenómeno del intercambio de conocimiento puede estimarse, sin embargo, tomando como base el establecimiento de una relación de colaboración contractual a dos, la cual implicará un intercambio de informaciones y una acumulación de experiencia y conocimiento por parte de ambos colaboradores en el marco de una operación de transporte. La incógnita radica en cuánta y de qué modo esa información y conocimiento serán transferidos en el caso de que otros actores tomen parte en la cadena de subcontratación. Esta carencia de información a este respecto se resuelve en nuestro modelo obviando posibles obstáculos o restricciones en los canales de difusión del conocimiento, tanto entre agentes como entre estos y el territorio. No obstante, esta cuestión debe ser abordada por posteriores estudios con más profundidad de la que se ha podido dedicar en esta investigación.

Finalmente, nos referiremos a las limitaciones autoimpuestas de esta investigación. En efecto, existen ciertos aspectos relacionados con la implementación del modelo que no pudieron ser abordados por entender que ello supondría una ampliación excesiva del mismo. Por ejemplo, a pesar de que el modelo fue diseñado para permitir la posibilidad de formar otras estructuras, se tomó como estructura más común de subcontratación las CST compuestas por tres agentes, a partir de la cual fueron realizadas las simulaciones, tanto en el modelo de entrenamiento como en su aplicación al área DABB. Sin embargo, la encuesta también mostró la presencia de estructuras CST a cuatro (OL-ET-ET-TA), lo cual podría haber ofrecido orientación sobre la colaboración entre empresas de transporte en el centro de la cadena. Asimismo, no hubo lugar para profundizar en la repercusión del fenómeno de la subcontratación en el precio del transporte, que fue igualmente diseñada para su estudio a través del modelo. Sin embargo, la limitación de precio mínimo de los transportistas autónomos quedó contemplada, tal como se explicó en el capítulo 4. La última limitación autoimpuesta a la que aludimos tiene que ver con el espacio en el que se desarrollan las relaciones contractuales entre agentes. En la simulación de ambos modelos, pero especialmente en el modelo aplicado al área DABB, la influencia de elementos físicos fue intencionadamente obviada, dado que el modelo simula relaciones contractuales y no transporte material. Sin embargo, la difusión del conocimiento a través del territorio debería tener en cuenta elementos físicos, tales como el relieve, los ríos o las vías de comunicación, para delimitar con mayor precisión los canales por los que podría ser transferida. Esta cuestión constituye, pues, un importante aspecto de mejora para posteriores versiones del modelo.

2.2. Posibles líneas futuras de investigación

Como se detalló en el capítulo dedicado a la revisión de la literatura, desde sus inicios la investigación acerca de los sistemas de transporte de mercancías ha estado más ligada al análisis de los flujos materiales entre expedidores y destinatarios, que a sus relaciones de colaboración. Así, mediante la construcción de modelos matemáticos gran parte de estas investigaciones

buscaban reducir costes de transporte y optimizar las cadenas de suministro centrando su atención en los modos de distribución de mercancías. En cambio, otras investigaciones desarrolladas en las últimas dos décadas han puesto el acento en las colaboraciones que tienen lugar entre empresas de transporte y en las ventajas derivadas de localización agrupada formando clústeres logísticos. En algunos casos, el impacto de dichas colaboraciones y agrupamientos ha sido analizado mediante datos procedentes de encuestas y entrevistas. Otros trabajos más recientes, desde una óptica más específicamente geográfica, han tratado de centrar su objeto de estudio en la detección y organización espacial de estos clústeres a partir de las relaciones entre los agentes que los integran, pero tomando los conjuntos de datos de forma agregada.

Así, estas dos líneas de investigación tienen su continuidad con la que aquí se defiende, ya que se profundiza en el estudio de los agrupamientos espaciales de empresas de transporte, si bien en esta ocasión a través del encadenamiento de relaciones de subcontratación entre agentes TCM. La diferencia principal con las dos líneas mencionadas estriba en que, ante la imposibilidad de obtener datos empíricos de cadenas de subcontratación, la presente investigación emplea contrataciones simuladas en base a una serie de criterios de selección contemplados por el contratador, quien tomará la decisión de contratar a un proveedor u otro en función de sus aptitudes. A medida que las contrataciones se van realizando, los agentes aprenden y transfieren sus conocimientos a su entorno inmediato y a aquellos agentes que se encuentran más próximos. Ante esto, una de las posibles líneas de investigación consiste en la profundización en el estudio de las cadenas de conocimiento formadas a partir de la compartición de informaciones relativas a una operación de transporte. El proceso de aprendizaje y la adquisición de conocimiento a través de la experiencia que tienen lugar en el marco de una organización (Argote y Miron-Spektor, 2011) pueden ser medidos y analizados internamente por medio de herramientas de mejora continua. Sin embargo, la transmisión de ese conocimiento adquirido a otros agentes externos requiere el empleo de metodologías suplementarias, de tal modo que puedan ser útiles para identificar y analizar de qué manera y en qué medida dos empresas TMC pueden verse beneficiadas por el conocimiento intercambiado entre ambas.

La segunda posibilidad se centra en establecer la relación entre participación en CST, acceso a los canales de conocimiento y procesos de creación y desaparición de empresas. El acceso a registros oficiales donde figure la creación, desaparición o cambio de razón social de empresas TMC ofrece la oportunidad de analizar su distribución desde un punto de vista dinámico, atendiendo a factores como la dispersión y el agrupamiento en clústeres, los cuales facilitan la obtención de beneficios tales como una mayor actividad y el acceso a entornos de acumulación de conocimiento. La adopción de esta línea de investigación, pues, serviría igualmente como continuación de los argumentos esgrimidos en esta tesis en lo referente a la formación y dinámica de los clústeres logísticos.

En tercer lugar, atendiendo a las posibilidades que ofrece el modelo TRANSOPE en torno al estudio de las CST con diferentes estructuras, resulta de gran interés la posibilidad de analizar la rentabilidad de las subcontrataciones focalizando las mismas en el último eslabón de la cadena, esto es, en el transportista autónomo. Como ya se comentó en el punto anterior, el impacto de la subcontratación en los precios finales merece un análisis más pormenorizado desde la óptica

de quienes perciben el precio final y en quienes recae la responsabilidad de completar *de facto* la operación de transporte. Se trata de una línea de investigación de plena vigencia e interés, ya que se sitúa dentro del ámbito de estudio de las dinámicas internas de un sector que se encuentra en constante crisis y remodelación debido a su gran dependencia de costes variables como el combustible. La situación actual es buena prueba de ello.

Los modelos bioinspirados, en cuarto lugar, constituyen una excelente oportunidad de investigación futura en torno a la difusión del conocimiento en el seno de organizaciones autogestionadas, como son los sistemas TMC. De acuerdo con el concepto de estigmergia, acuñado por Grassé (1959) en relación con el estudio del comportamiento de comunidades de insectos, las acciones individuales de ciertos agentes pueden modificar el comportamiento de otros que se encuentran en su proximidad gracias a un sistema de información basado en la segregación de feromonas en el medio físico, lo que supone una interacción dinámica con el espacio. De tal modo, los agrupamientos de agentes TMC en el espacio, es decir, la formación y dinámica de clústeres logísticos pueden ser analizados como entidades complejas que se adaptan a un medio, que son capaces de aprender y resistir empleando mecanismos de autoorganización. Teorías como la inteligencia de enjambre pueden ser empleadas para estudiar el comportamiento de sistemas sociales como el analizado en esta tesis, donde la creación y transmisión de conocimiento constituye el elemento clave que define el comportamiento y dinámica del conjunto de agentes.

Por último, es necesario ampliar esta investigación tomando como punto de partida la combinación de diferentes metodologías empleadas en ella. La pretensión de esta investigación ha sido en todo momento la inclusión de metodologías y herramientas de análisis que pudieran aportar mayor conocimiento geográfico a nuestro objeto de estudio. Sin embargo, queda mucho recorrido por realizar para sentar bases metodológicas firmes, con el fin de que futuras investigaciones geográficas que pretendan combinar modelos ABM, análisis de redes sociales complejas y GIS puedan acometerse a partir de pautas fijas. Además, el empleo de ML en la predicción de fenómenos geográficos desde un enfoque de agentes, tales como la formación de agrupamientos o la dispersión espacial, ofrece enormes posibilidades de análisis que deben ser exploradas.

Capítulo 9. Referencias bibliográficas

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abushaikha, I. (2018). The influence of logistics clustering on distribution capabilities: a qualitative study. *International Journal of Retail & Distribution Management*.
- Ackermann, H., Ewe, H., Kopfer, H. y Küfer, K. H. (2011). Combinatorial auctions in freight logistics. En Böse, J. W., Hu, H., Jahn, C., Shi, X., Stahlbock, R. y Voß, S. (eds.). *Computational Logistics: Second International Conference, Hamburg*. (pp. 1-17). Springer: Berlin, Heidelberg.
- Adnan, M., Pereira, F., Lima Azevedo, C., Basak, K., Lovric, M., Raveau, S., Zhu, Y., Ferreira, J., Zegras, C., Ben-Akiva, M. (2016). SimMobility: A Multi-Scale Integrated Agent-based Simulation Platform. *Conference: 95th Annual Meeting, Transportation Research Board. Washington D.C.*
- Akbari, M. (2018). Logistics outsourcing: a structured literature review. *Benchmarking: An International Journal*. Vol. 25 No. 5, pp. 1548-1580.
- Albert, R. y Barabási, A. L. (2002). Statistical mechanics of complex networks. *Reviews of modern physics*, 74(1), 47.
- Allen, J., Browne, M. y Cherrett, T. (2012) Survey Techniques in Urban Freight Transport Studies. *Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal*, 32:3, 287-311.
- Alho, A., Bhavathrathan, B. K., Stinson, M., Gopalakrishnan, R., Le, D. T. y Ben-Akiva, M. (2017). A multi-scale agent-based modelling framework for urban freight distribution. *Transportation Research Procedia*, 27, 188-196.
- Alises, A., Vassallo, J. M. y Guzmán, A. F. (2014). Road freight transport decoupling: A comparative analysis between the United Kingdom and Spain. *Transport Policy*, 32, 186-193.
- Alsnih, R. (2006). Characteristics of web based surveys and applications in travel research. In *Travel survey methods: Quality and future directions* (pp. 569-592). Emerald Group Publishing Limited.
- An, L. (2012). Modeling human decisions in coupled human and natural systems: Review of agent-based models. *Ecological Modelling*, 229, 25-36.
- Anselin, L. (1995). Local indicators of spatial association—LISA. *Geographical analysis*, 27(2), 93-115.
- Arencibia, A. I., Feo-Valero, M., García-Menéndez, L. y Román, C. (2015). Modelling mode choice for freight transport using advanced choice experiments. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 75, 252-267.

Argote, L. y Miron-Spektor, E. (2011). Organizational learning: From experience to knowledge. *Organization science*, 22(5), 1123-1137.

Arroyo, I., Bravo, L. C., Llinás, H. y Muñoz, F. L. (2014). Distribuciones Poisson y Gamma: Una discreta y continua relación. *Prospectiva*, 12(1), 99-107.

Audretsch, D. B. y Feldman, M. P. (1996). R&D spillovers and the geography of innovation and production. *The American economic review*, 86(3), 630-640.

Audretsch, D. B. y Feldman, M. P. (2004). Knowledge spillovers and the geography of innovation. En Henderson, V. y Thisse, J.F. (eds.) *Handbook of regional and urban economics* (Vol. 4, pp. 2713-2739). Elsevier.

Augustijn-Beckers, E., Useya, J., Zurita-Milla, R. y Osei, F. (2011). Simulation of cholera diffusion to compare transmission mechanisms. In *Proceedings of the 11th International Conference on Geocomputation*, No. 1, (pp. 39-42). University College London: London.

Axelrod, R. (1997). Advancing the art of simulation in the social sciences. En *Simulating social phenomena* (pp. 21-40). Springer: Heidelberg.

Bailly, A. (1985). Distances et espaces: vingt ans de géographie des représentations. *L'espace géographique*, 197-205.

Baindur, D. y Viegas, J. M. (2011). An agent based model concept for assessing modal share in inter-regional freight transport markets. *Journal of Transport Geography*, 19(6), 1093-1105.

Balland, P. A., Boschma, R. y Frenken, K. (2014). Proximity and innovation: From statics to dynamics. *Regional Studies*, 49(6), 907-920.

Barabási, A. L. (2009). Scale-free networks: a decade and beyond. *Science*, 325(5939), 412-413.

Barabási, A. L. y Albert, R. (1999). Emergence of scaling in random networks. *Science*, 286(5439), 509-512.

Barabási, A. L. y Albert, R. (1999). Emergence of scaling in random networks. *science*, 286(5439), 509-512.

Barceló, J. y Casas, J. (2005). Dynamic network simulation with AIMSUN. In *Simulation approaches in transportation analysis* (pp. 57-98). Boston: Springer.

Barthelemy, J. (2003). The seven deadly sins of outsourcing. *Academy of Management Perspectives*, 17(2), 87-98.

Barthelemy, M. (2004). Betweenness centrality in large complex networks. *The European physical journal B*, 38(2), 163-168.

Batty, M., Crooks, A. T., See, L. M. y Heppenstall, A. J. (2012). Perspectives on agent-based models and geographical systems. En Heppenstall, A. J., Crooks, A. T., See, L. M. y Batty, M., *Agent-Based Models of Geographical Systems* (pp. 1-15). Dordrecht: Springer.

Batty, M. y Jiang, B. (1999). *Multi-agent simulation: new approaches to exploring space-time dynamics in GIS*. CASA: London.

Batty, M. y Torrens, P. M. (2001). Modelling complexity: the limits to prediction. *Cybergeo: European Journal of Geography*.

Bauman, Z. (2001). Globalización. Consecuencias humanas (2ª ed.). México: Fondo de Cultura Económica.

Bavelas, A. (1950). Communication patterns in task-oriented groups. *The journal of the acoustical society of America*, 22(6), 725-730.

Beauchamp, M. A. (1965). An improved index of centrality. *Behavioral science*, 10(2), 161-163.

Beckers, J. R. (2019). *The logistics sector in a consumer driven society, essays on location and network structure*. (Tesis doctoral). Universidad de Amberes.

Beckers, J., Thomas, I., Vanoutrive, T., & Verhetsel, A. (2018). Logistics clusters, including inter-firm relations through community detection. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 18(2).

Bell, G. G. y Zaheer, A. (2007). Geography, networks, and knowledge flow. *Organization science*, 18(6), 955-972.

Ben-Akiva, M. y Bowman, J. L. (1998). Integration of an activity-based model system and a residential location model. *Urban Studies*, 35(7), 1131-1153.

Ben-Akiva, M. y de Jong, G. (2013). The aggregate-disaggregate-aggregate (ADA) freight model system. En Ben-Akiva, M., Meersman, H. y Van de Voorde, E. (eds.). *Freight Transport Modelling* (pp. 69-90). Bingley, UK: Emerald Group Publishing Ltd.

Benenson, I. (2014). Agent-Based Modelling. En Abrahart, R.J. y See, L. (eds.) *GeoComputation*, 2nd ed., (pp. 203-240). CRC Press: London.

Benjamini, Y. y Hochberg, Y. (1995). Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing. *Journal of the Royal statistical society: series B (Methodological)*, 57(1), 289-300.

Bennathan, E., Fraser, J. y Thompson, L. S. (1992). *What determines demand for freight transport?* (Vol. 998). World Bank Publications.

Bergmann, L. R. y O'Sullivan, D. (2017, November). Computing with many spaces: Generalizing projections for the digital geohumanities and GIScience. En *Proceedings of the 1st ACM SIGSPATIAL Workshop on Geospatial Humanities* (pp. 31-38).

Bernhardt, K. (2007). Agent-based modeling in transportation. *Artificial Intelligence in Transportation*, 72.

Berrar D. (2018). Cross-validation. *Encyclopedia of Bioinformatics and Computational Biology*. Volume 1, Elsevier, pp. 542–545.

Bethelehem, J. y Biffignandi, S. (2011). *Handbook of Web Surveys*. John Wiley & Sons: New Jersey.

Bianconi, G. y Barabási, A. L. (2001). Competition and multiscaling in evolving networks. *EPL (Europhysics Letters)*, 54(4), 436.

Bienenstock, E.J. y Bonacich, P. (2021). Eigenvector centralization as a measure of structural bias in information aggregation. *The Journal of Mathematical Sociology*, 1-19.

Birkin, M. y Wu, B. (2012). A review of microsimulation and hybrid agent-based approaches. In *Agent-based models of geographical systems* (pp. 51-68). Dordrecht: Springer.

Bivand, R. S. y Wong, D. W. (2018). Comparing implementations of global and local indicators of spatial association. *Test*, 27(3), 716-748.

Blumenberg, S., Wagner, H. T. y Beimborn, D. (2009). Knowledge transfer processes in IT outsourcing relationships and their impact on shared knowledge and outsourcing performance. *International journal of information management*, 29(5), 342-352.

Blumenfeld-Lieberthal, E. y Portugali, J. (2010). Network cities: A complexity-network approach to urban dynamics and development. En *Geospatial analysis and modelling of urban structure and dynamics* (pp. 77-90). Springer, Dordrecht.

Boccaletti, S., Latora, V., Moreno, Y., Chavez, M. y Hwang, D. U. (2006). Complex networks: Structure and dynamics. *Physics reports*, 424(4-5), 175-308.

Boerkamps, J., van Binsbergen, A. y Bovy, P. (2000). Modeling behavioral aspects of urban freight movement in supply chains. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1725), 17-25.

Bonabeau, E. (2002). Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(suppl 3), 7280-7287.

- Bonacich, P. (1987). Power and centrality: A family of measures. *American journal of sociology*, 92(5), 1170-1182.
- Bosch, J., Martín González, A. M., Rodrigo, A. y Navarro, D. (2009). Plant–pollinator networks: adding the pollinator’s perspective. *Ecology letters*, 12(5), 409-419.
- Boschma, R. (2005). Proximity and innovation: a critical assessment. *Regional studies*, 39(1), 61-74.
- Boschma, R. (2015). Towards an evolutionary perspective on regional resilience. *Regional Studies*, 49(5), 733-751.
- Boschma, R. A. y Frenken, K. (2006). Why is economic geography not an evolutionary science? Towards an evolutionary economic geography. *Journal of economic geography*, 6(3), 273-302.
- Boschma, R. A. y Lambooy, J. G. (1999). Evolutionary economics and economic geography. *Journal of evolutionary economics*, 9(4), 411-429.
- Bowman, J. L. y Ben-Akiva, M. (2000). Activity-based disaggregate travel demand model system with activity schedules. *Transportation Research Part A*, 35, 1-28.
- Brazinskas, S. y Beinoravičius, J. (2014). SMEs and integration driving factors to regional and global value chains. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 110(Special Issue), 1033-1041.
- Brekalo, L. y Albers, S. (2015). Effective logistics alliance design and management. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 46(2), 212-240.
- Bretagnolle, A., Daudé, E. y Pumain, D. (2006). From theory to modelling: Urban systems as complex systems. *CyberGeo: European Journal of Geography*.
- Broekel, T., Balland, P. A., Burger, M. y van Oort, F. (2014). Modeling knowledge networks in economic geography: a discussion of four methods. *The annals of regional science*, 53(2), 423-452.
- Brown, D. G., Riolo, R., Robinson, D. T., North, M. y Rand, W. (2005). Spatial process and data models: Toward integration of agent-based models and GIS. *Journal of Geographical Systems*, 7(1), 25-47.
- Brunet, R. (2001). Models in geography ? A sense to research. *Cybergeo: European Journal of Geography*. Dossiers, document 204.
- Brunsdon, C. y Comber, L. (2015). *An introduction to R for spatial analysis and mapping*. Sage: London.
- Butts, C. T. (2008). Social network analysis with sna. *Journal of statistical software*, 24(6), 1-51.

Camagni, R. y Capello, R. (2009). Knowledge-based economy and knowledge creation: the role of space. En Fratesi, U. y Senn, L. (eds). *Growth and innovation of competitive regions: The Role of Internal and External Connections* (pp. 145-165). Springer: Berlin, Heidelberg.

Campello, R. J., Kröger, P., Sander, J. y Zimek, A. (2020). Density-based clustering. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 10(2), e1343.

Cantergiani, C. (2017). *Desarrollo de un prototipo basado en agentes para la simulación del crecimiento urbano*. (Tesis doctoral). Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares (Madrid).

Carrillo, M.J. (1996) *PACE-FORWARD-Policy analytic and computational environment for Dutch freight transport*. Leiden: RAND Europe.

Cavalcante, R.A. (2013). *Freight market interactions simulation (FREMIS): an agent-based modelling framework*. (Tesis Doctoral). Universidad de Toronto.

Cavalcante, R.A. y Roorda, M.J. (2013). Freight market interactions simulation (FREMIS): an agent-based modeling framework. *Procedia Computer Science*, 19, 867–873.

Chapin, F. S. (1974). *Human activity patterns in the city: Things people do in time and space*. Wiley: London.

Charrier, R., Bourjot, C. y Charpillat, F. (2007). A nonlinear multi-agent system designed for swarm intelligence: the logistic MAS. En *IEEE First International Conference on Self-Adaptive and Self-Organizing Systems (SASO 2007, Boston)* (pp. 32-44).

Chen, D. B., Gao, H., Lü, L. y Zhou, T. (2013). Identifying influential nodes in large-scale directed networks: the role of clustering. *PloS one*, 8(10), e77455.

Chen, Y. (2015). The distance-decay function of geographical gravity model: Power law or exponential law? *Chaos, Solitons & Fractals*, 77, 174-189.

Chhetri, P., Butcher, T. y Corbitt, B. (2014). Characterising spatial logistics employment clusters. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*.

Cho, J.J.K., Ozment, J. y Sink, H. (2008). Logistics capability, logistics outsourcing and firm performance in an e-commerce market. *International journal of physical distribution & logistics management*, 38(5), 336-359.

Choi, T. Y., Dooley, K. J. y Rungtusanatham, M. (2001). Supply networks and complex adaptive systems: control versus emergence. *Journal of operations management*, 19(3), 351-366.

Christopher, M. (2010). New directions in logistics. En Waters, D. (ed.). *Global Logistics: New directions in supply chain management (6th edition)*. Kogan Page: London.

- Chorley, R. J. y Haggett, P. (1967). *Models in geography*. London: Methuen.
- Cidell, J. y Lechtenberg, D. (2016). Developing a Framework for the Spaces and Spatialities of Transportation and Mobilities. *Annals of the American Association of Geographers*, 106(2), 257-265.
- Clifford, N., French, S. y Valentine, G. (2010). *Key methods in geography (2d ed.)*. Sage: London.
- Coccia, M. (2008). Spatial mobility of knowledge transfer and absorptive capacity: analysis and measurement of the impact within the geoeconomic space. *The Journal of Technology Transfer*, 33(1), 105-122.
- Condeço-Melhorado, A y Christidis, P. (2017). Road accessibility in border regions: a joint approach. *Networks and Spatial Economics*, 18(2), 363-383.
- Cooley, P. y Solano, E. (2011). Agent-based model (ABM) validation considerations. En *Proceedings of the Third International Conference on Advances in System Simulation (SIMUL 2011)* (pp. 134-139).
- Coppola, P., Ibeas, Á., dell'Olio, L. y Cordera, R. (2013). LUTI model for the metropolitan area of Santander. *Journal of Urban Planning and Development*, 139(3), 153-165.
- Couper, M. (2011). Web Survey Methodology: Interface Design, Sampling and Statistical Inference. *XXIV Nazioarteko Estatistika Mintegia/ XXIV Seminario Internacional de Estadística*. Eustat, Bilbao.
- Cover, T. y Hart, P. (1967). Nearest neighbor pattern classification. *IEEE transactions on information theory*, 13(1), 21-27.
- Cowan, R. (2005). Network models of innovation and knowledge diffusion. *Clusters, networks and innovation*, 29-53.
- Crainic, T. G. y Laporte, G. (1997). Planning models for freight transportation. *European journal of operational research*, 97(3), 409-438.
- Cresswell, T. (2010). Towards a politics of mobility. *Environment and planning D: society and space*, 28(1), 17-31.
- Crooks, A. T. (2015). Agent-based modeling and geographical information systems. En Brunsdon, C. y Singleton, A. (eds.). *Geocomputation: A Practical Primer*, (pp. 63-77). Thousand Oaks, CA: Sage.

Crooks, A. T. (2018). *Gisagents. GIS and Agent-Based Modeling: Exploring Geographical Information Science (GIS) and Agent-Based Modeling (ABM)*. Fairfax, EU. Recuperado el 27 de agosto de 2018 de <https://www.gisagents.org/p/research.html>

Crooks, A. T. y Hailegiorgis, A. (2013). Disease modeling within refugee camps: A multi-agent systems approach. En *Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference: Simulation: Making Decisions in a Complex World* (pp. 1697-1706). IEEE Press.

Crooks, A. T. y Heppenstall, A. J. (2012). Introduction to Agent-based Modelling. En Heppenstall, A. J., Crooks, A. T., See, L. M. y Batty, M., *Agent-Based Models of Geographical Systems* (pp. 85-105). Dordrecht: Springer.

Crooks, A.T., Malleson, N., Manley, E. y Heppenstall, A. (2019). *Agent-based Modelling and Geographical Information Systems: A practical primer*. London: Sage.

Crujssen, F., Dullaert, W. y Fleuren, H. (2007). Horizontal cooperation in transport and logistics: a literature review. *Transportation journal*, 22-39.

Cruz, C. (2010). How is own account transport well adapted to urban environments? *Selected Proceedings of the 12th World Conference on Transport Research, Lisbon, Portugal*.

Cruz, C. (2013). Les échelles du transport pour compte propre, du local vers l'international: contraintes et développement. *Recherche Transports Sécurité*, 2013(01), 75-84.

Csardi, G. y Nepusz, T. (2006). The igraph software package for complex network research. *InterJournal, complex systems*, 1695(5), 1-9.

Daniel, W. W. (1978). *Applied nonparametric statistics*. Houghton Mifflin.

Danielson, S. (2009). Q method and surveys: Three ways to combine Q and R. *Field Methods*, 21(3), 219-237.

Danielson, S., Tuler, S. P., Santos, S. L., Webler, T. y Chess, C. (2012). Three tools for evaluating participation: Focus groups, Q method, and surveys. *Environmental Practice*, 14(2), 101-109.

Daugherty, P. J. (2011). Review of logistics and supply chain relationship literature and suggested research agenda. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 41(1), 16-31.

Daugherty, P. J., Chen, H. y Ferrin, B. G. (2011). Organizational structure and logistics service innovation. *The International Journal of Logistics Management*, 22(1), 26-51.

Davidsson, P. (2001). Multi Agent Based Simulation: Beyond Social Simulation. En Moss, S. y Davidsson, P. (eds.) *Multi Agent-based Simulation*, Second International Workshop, MABS 2000, Boston (pp. 97-107). Springer: Berlin.

Davidsson, P., Holmgren, J., Persson, J. A. y Ramstedt, L. (2008). Multi agent-based simulation of transport chains. En *Proceedings of the 7th international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems-Volume 2* (pp. 1153-1160). International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems.

De Bok, M. y Tavasszy, L. (2018). An empirical agent-based simulation system for urban goods transport (MASS-GT). *Procedia computer science*, 130(C), 126-133.

De Jong, G., Gunn, H.F. y Walker, W. (2004) National and international freight transport models: an overview and ideas for further development. *Transport Reviews*, 24(1), 103-124.

De Jong, G. y Ben-Akiva, M. (2007). A micro-simulation model of shipment size and transport chain choice. *Transportation Research Part B: Methodological*, 41(9), 950-965.

De Jong, G., Burgess, A., Tavasszy, L., Versteegh, R., de Bok, M. y Schmorak, N. (2011). Distribution and modal split models for freight transport in The Netherlands. En *Proceedings of the 2011 European Transport Conference, Association for European Transport. On the generalized cost-demand elasticity of intermodal container transport*.

Dekker, A. H. (2008). Centrality in social networks: Theoretical and simulation approaches. *Proceedings of SimTecT 2008*, 12-15.

Démare, T. (2016). *Une approche systémique à base d'agents et de graphes dynamiques pour modéliser l'interface logistique port-métropole*. (Tesis doctoral). Normandie Université, Le Havre.

Démare, T., Balev, S., Bertelle, C., Dutot, A., Fournier, D. y Sanlaville, E. (2019). Modelling a Multi-Modal Logistic Network with Agents and Dynamic Graphs. En *The 23rd International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM2019)*.

Démare, T., Bertelle, C., Dutot, A. y Fournier, D. (2019). Adaptive Behavior Modeling in Logistic Systems with Agents and Dynamic Graphs. *ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems (TAAS)*, 13(3), 15.

Démare, T., Bertelle, C., Dutot, A. y Lévêque, L. (2017). Modeling logistic systems with an agent-based model and dynamic graphs. *Journal of Transport Geography*, 62, 51-65.

de Winter, J. C., Gosling, S. D. y Potter, J. (2016). Comparing the Pearson and Spearman correlation coefficients across distributions and sample sizes: A tutorial using simulations and empirical data. *Psychological methods*, 21(3), 273.

DFG/GFA (2021). *Infraestructura de Datos Espaciales de Gipuzkoa: conjunto de datos geográficos*, recuperado el 1 de julio de 2021 de <https://b5m.gipuzkoa.eus/web5000/es/cartoteca/conjuntos-datos/>

- Dillman, D. A., Smyth, J. D. y Christian, L. M. (2014). *Internet, phone, mail, and mixed-mode surveys: The tailored design method*. Hoboken, NJ: John Wiley
- Dong, X., Castro, L. y Shaikh, N. (2020). fastnet: An R Package for Fast Simulation and Analysis of Large-Scale Social Networks. *Journal of Statistical Software*, 96(7), 1 – 23
- Ducruet, C. y Lugo, I. (2013). Structure and dynamics of transportation networks: Models, methods and applications. En Rodrigue, J.P., Notteboom, T.E., and Shaw, J. *The SAGE Handbook of Transport Studies*, SAGE, pp.347-364.
- Dunford, R., Su, Q. y Tamang, E. (2014). The Pareto Principle. *The Plymouth Student Scientist*, 7(1), p. 140-148.
- Eco, H. (1992). *Cómo se hace una tesis. Técnicas y procedimientos de investigación, estudio y escritura*. Barcelona: Gedisa.
- Eden, S., Donaldson, A. y Walker, G. (2005). Structuring subjectivities? Using Q methodology in human geography. *Area*, 37(4), 413-422.
- Edmondson, A. C. (1999). Psychological safety and learning behavior in work teams. *Admin. Sci. Quart.* 44(2) 350–383.
- Elbery, A., Devorak, F., Du, J., Rakha, H. A. y Klenk, M. (2018). Large-scale agent-based multi-modal modeling of transportation networks: System model and preliminary results. *Proceedings of the 4th International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems (VEHITS 2018)*, pp. 103-112.
- Eng, T. Y. (2016). An empirical study of Chinese SME grocery retailers' distribution capabilities. *Supply Chain Management: An International Journal*.
- Entrikin, J. N. y Tepple, J. H. (2006). Humanism and democratic place-making. En Aitken, S. y Valentine, G. *Approaches to human geography*. Sage: London.
- Eriksson, R. H. (2011). Localized spillovers and knowledge flows: How does proximity influence the performance of plants? *Economic Geography*, 87(2), 127-152.
- Ester, M., Kriegel, H. P., Sander, J. y Xu, X. (1996, August). A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. En Simoudis, E., Han, J., Fayyad, U. M. (eds). *Proceedings of the Second International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD-96)*. AAAI Press. pp. 226-231
- Ettema, D. y Timmermans, H. (1997). *Activity-based approaches to travel analysis*. Oxford: Pergamon.
- European Union, United Nations, ITF and OECD (2019). *Glossary for Transport Statistics (5th ed.)*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

Eurostat (2019). *Road freight transport measurement (road go): Summary of annual road freight transport by type of operation and type of transport [road_go_ta_tott]*. The statistical office of the European Union.

Eusko Jaurlaritzza – Gobierno Vasco (2020). *Directrices de Ordenación Territorial de la CAPV. Decreto 128/2019, de 30 de julio*. Vitoria-Gasteiz: Servicio de publicaciones del Gobierno Vasco.

EUSTAT (2022). *Banco de datos por temas*. Recuperado el 2 de marzo de 2022 de <https://www.eustat.eus/banku/indexArbol.html>

EXPEDITE consortium (2002) *EXPEDITE final report, Report for the European Commission DGTREN*. Leiden: RAND Europe.

Eyvindson, K., Kangas, A., Hujala, T., & Leskinen, P. (2014). Likert versus Q-approaches in survey methodologies: discrepancies in results with same respondents. *Quality & Quantity*, 49(2), 509-522.

Fagerland, M. W., Lydersen, S. y Laake, P. (2013). The McNemar test for binary matched-pairs data: mid-p and asymptotic are better than exact conditional. *BMC medical research methodology*, 13(1), 1-8.

Fay, M. P. y Lumbard, K. (2021). Confidence intervals for difference in proportions for matched pairs compatible with exact McNemar's or sign tests. *Statistics in Medicine*, 40(5), 1147-1159.

Fawcett, T. (2006). An introduction to ROC analysis. *Pattern recognition letters*, 27(8), 861-874.

Feitelson, E. (1991). The potential of mail surveys in geography: some empirical evidence. *The Professional Geographer*, 43(2), 190-205.

Flach (2017). ROC Analysis. En Sammut, C. y Webb, G. I. (Eds.) (2017). *Encyclopedia of machine learning, Second Ed*. Springer Science & Business Media.

Florian, M., Gaudry, M., y Lardinois, C. (1988). A two-dimensional framework for the understanding of transportation planning models. *Transportation Research Part B: Methodological*, 22(6), pp. 411-419.

Fox, M. (1995). Transport planning and the human activity approach. *Journal of transport geography*, 3(2), 105-116.

Fox, J. y Weisberg, S. (2019). *An R Companion to Applied Regression*, Third edition. Sage: Thousand Oaks, CA.

Freeman, L. C. (1978). *Centrality in social networks conceptual clarification*. *Social Networks*, 1(3), 215–239.

- Freeman, L. C., Roeder, D. y Mulholland, R. R. (1979). Centrality in social networks: II. Experimental results. *Social networks*, 2(2), 119-141.
- Frenken, K. y Boschma, R. (2015). Geographic clustering in evolutionary economic geography. En Karlsson, Ch., Andersson, M. y Norman, T. (eds.). *Handbook of Research Methods and Applications in Economic Geography*, (pp. 291-302). Edward Elgar Publishing: Cheltenham.
- Friedrich, M., Haupt, T. y Nökel, K. (2003). Freight Modelling: Data Issues, Survey Methods, Demand and Network Models. 10th International Conference on Travel Behaviour Research, Lucerne.
- Friendly, M. (1994). A fourfold display for 2 by 2 by k tables. Technical Report 217, Psychology Department, York University.
- Fujita, M. y Krugman, P. (2004). La nueva geografía económica: pasado, presente y futuro. *Investigaciones Regionales*, 4, 177-206.
- Fulconis, F., Nollet, J., Paché, G. (2016). Purchasing of logistical services: a new view of LSPs' proactive strategies. *European Business Review*, Vol. 28 Iss 4 pp. 449 - 466
- Gamero, N., Silla, I., Sainz-González, R. y Sora, B. (2018). The influence of organizational factors on road transport safety. *International journal of environmental research and public health*, 15(9), 1938.
- García, F. A., Marchetta, M. G., Camargo, M., Morel, L. y Forradellas, R. Q. (2012). A framework for measuring logistics performance in the wine industry. *International Journal of Production Economics*, 135(1), 284-298.
- García-Palomares, J. C., Gutiérrez, J., Martín, J. C. y Moya-Gómez, B. (2018). An analysis of the Spanish high capacity road network criticality. *Transportation*, 1-21.
- García-Valdecasas, J. I. (2016). *Simulación basada en agentes: Introducción a Netlogo*. Madrid: Centro de Investigaciones Sociológicas.
- Gavaud, O., Brehier, O., Guilbault, M. y Niérat, P. (2011). La sous-traitance dans le transport routier de marchandises: les enseignements de l'enquête ECHO (2004), *Recherche Transports Sécurité*, 27(2), 104-119.
- Gibson-Graham, J. K. (2002). Beyond global vs. local: economic politics outside the binary frame. En Herod, A. y Wright, M. W. (eds). *Geographies of power: Placing scale*, (pp. 25-60). Oxford: Blackwell.
- Gilbert, B. A., McDougall, P. P. y Audretsch, D. B. (2008). Clusters, knowledge spillovers and new venture performance: An empirical examination. *Journal of business venturing*, 23(4), 405-422.

- Gilbert, N. (2008). *Agent-based models. (No. 153)*. London: Sage.
- Gilbert, N. y Troitzsch, K. G. (2005). *Simulation for the Social Scientist*. Berkshire: Open University Press.
- Gilley, K. M. y Rasheed, A. (2000). Making more by doing less: an analysis of outsourcing and its effects on firm performance. *Journal of management*, 26(4), 763-790.
- Giuliani, E. (2007). The selective nature of knowledge networks in clusters: evidence from the wine industry. *Journal of economic geography*, 7(2), 139-168.
- Giuliani, E., & Bell, M. (2005). The micro-determinants of meso-level learning and innovation: evidence from a Chilean wine cluster. *Research policy*, 34(1), 47-68.
- Goetz, A. R., Vowles, T. M. y Tierney, S. (2009). Bridging the qualitative–quantitative divide in transport geography. *The Professional Geographer*, 61(3), 323-335.
- González-Bailón, S. (2004). ¿Sociedades artificiales? Una introducción a la simulación social. *Revista Internacional de Sociología*, 39, 199-222.
- Grassé, P. P. (1959). La reconstruction du nid et les coordinations interindividuelles chez *Bellicositermes natalensis* et *Cubitermes* sp. La théorie de la stigmergie: Essai d'interprétation du comportement des termites constructeurs. *Insectes Sociaux*, 6(1), 41–83.
- Gregory, D., Johnston, R., Pratt, G., Watts, M. y Whatmore, S. (Eds.) (2011). *The dictionary of human geography*. West Sussex: John Wiley & Sons.
- Grimm, V. et al. (2006). A standard protocol for describing individual-based and agent-based models. *Ecological modelling*, 198(1-2), 115-126.
- Grimm, V., Berger, U., DeAngelis, D. L., Polhill, J. G., Giske, J. y Railsback, S. F. (2010). The ODD protocol: a review and first update. *Ecological modelling*, 221(23), 2760-2768.
- Grimm, V. y Railsback, S. F. (2012). Designing, formulating, and communicating agent-based models. En Heppenstall, A. J., Crooks, A. T., See, L. M. y Batty, M. (Eds.). *Agent-based models of geographical systems* (pp. 361-377). Springer: Dordrecht.
- Grosvenor, T. (2000). Qualitative research in the transport sector. Resource paper for the workshop on qualitative/quantitative methods. *Proceedings of an International Conference on Transport Survey Quality and Innovation*. Grainau, Germany, Transportation Research E-Circular, Number E-C008, August 2000.
- Guilbault, M. (Coord.) (2008). Enquête ECHO «Envois-chargeurs-opérateurs de transport»: résultats de référence. Synthèse Inrets, 56.

- Guimerà, R. y Amaral, L. A. N. (2005). Functional cartography of complex metabolic networks. *Nature*, 433(7028), 895-900.
- Gutiérrez, A. (2012). ¿Qué es la movilidad?. Elementos para (re) construir las definiciones básicas del campo del transporte. *Bitácora Urbano-Territorial*, 2(21), 61-74.
- Gutiérrez Puebla, J. (1998). Redes, espacio y tiempo. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 18, 65-86.
- Gutiérrez-Puebla, J., García-Palomares, J. C., Salas-Olmedo, M. H. (2016). Big (Geo)Data en Ciencias Sociales: Retos y Oportunidades. *Revista de Estudios Andaluces*, vol. 33 (1), 1-23.
- Ha, D. H. y Combes, F. (2016). Building a model of freight generation with a commodity flow survey. En Clausen, U., Friedrich, H., Thaller, C. y Geiger, C. (eds.). *Commercial Transport* (pp. 23-37). Springer: Cham.
- Haase, D., Lautenbach, S. y Seppelt, R. (2010). Modeling and simulating residential mobility in a shrinking city using an agent-based approach. *Environmental Modelling & Software*, 25(10), 1225-1240.
- Hägerstrand, T. (1970). What about people in regional science? *Papers of the Regional Science Association*, 24, 7-21.
- Hamed, M. M. y Mannering, F. L. (1993). Modeling travelers' postwork activity involvement: toward a new methodology. *Transportation Science*, 27(4), 381-394.
- Han, S. Y., Tsou, M. H. y Clarke, K. C. (2018). Revisiting the death of geography in the era of Big Data: The friction of distance in cyberspace and real space. *International Journal of Digital Earth*, 11(5), 451-469.
- Harary, F. y Gupta, G. (1997). Dynamic graph models. *Mathematical and Computer Modelling*, 25(7), 79-87.
- Hassink, R. (2010). Regional resilience: a promising concept to explain differences in regional economic adaptability?. *Cambridge journal of regions, economy and society*, 3(1), 45-58.
- Hätönen, J. y Eriksson, T. (2009). 30+ years of research and practice of outsourcing—Exploring the past and anticipating the future. *Journal of international Management*, 15(2), 142-155.
- Held, P., Moewes, C., Braune, C., Kruse, R. y Sabel, B. A. (2013). Advanced analysis of dynamic graphs in social and neural networks. In *Towards Advanced Data Analysis by Combining Soft Computing and Statistics* (pp. 205-222). Springer, Berlin, Heidelberg.

- Heppenstall, A. J., Crooks, A. T., See, L. M. y Batty, M. (Eds.). (2012). *Agent-based models of geographical systems*. Springer Science & Business Media.
- Heppenstall, A., Malleson, N. y Crooks, A. (2016). "Space, the final frontier": How good are agent-based models at simulating individuals and space in cities?. *Systems*, 4(1), 9.
- Herring, R. H., Namikis, R., Chemmangattuvalappil, N. G., Roberts, C. B. y Eden, M. R. (2012). Incorporating topographical characteristics in molecular signature descriptors. En *Computer Aided Chemical Engineering* (Vol. 30, pp. 497-501). Elsevier.
- Herzig, A., Lorini, E., Hübner, J. F., & Vercouter, L. (2010). A logic of trust and reputation. *Logic Journal of the IGPL*, 18(1), 214-244.
- Hesse, M. y Rodrigue, J. P. (2004). The transport geography of logistics and freight distribution. *Journal of transport geography*, 12(3), 171-184.
- Ho, G. W. K. (2016). Examining perceptions and attitudes: A review of Likert-type scales versus Q-methodology. *Western Journal of Nursing Research*, 39(5), 674-689.
- Hofer, A. R., Knemeyer, A. M. y Dresner, M. E. (2009). Antecedents and dimensions of customer partnering behavior in logistics outsourcing relationships. *Journal of Business Logistics*, 30(2), 141-159.
- Holguín-Veras, J. y Sánchez-Díaz, I. (2016). Freight demand management and the potential of receiver-led consolidation programs. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 84, 109-130.
- Hollander, M., Wolfe, D. A. y Chicken, E. (2014). *Nonparametric statistical methods (Third ed.)*. John Wiley & Sons: New Jersey.
- Holmgren, J. (2008). *Multi-agent-based simulation and optimization of production and transportation*. (Tesis doctoral). Blekinge Institute of Technology.
- Holmgren, J., Ramstedt, L. y Davidsson, P. (2009). Roles and responsibilities in transport chains: Agent simulation modeling challenges. En *7th European Workshop on Multi-Agent Systems*. EUMAS.
- Holmgren, J., Davidsson, P., Persson, J. A. y Ramstedt, L. (2012). TAPAS: A multi-agent-based model for simulation of transport chains. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 23, 1-18.
- Holmgren, J., Dahl, M., Davidsson, P. y Person, J. A. (2013). Agent-based simulation of freight transport between geographical zones. En *4th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies (ANT)/3rd International Conference on Sustainable Energy Information Technology (SEIT), Halifax, Nova Scotia* (Vol. 19, pp. 829-834). Elsevier.

Holmgren, J., Ramstedt, L., Davidsson, P., Edwards, H. y Persson, J. A. (2014). Combining macro-level and agent-based modeling for improved freight transport analysis. *Procedia Computer Science*, 32, 380-387.

Hörcher, D. y Graham, D.J. (2020). The Gini index of demand imbalances in public transport. *Transportation*. <https://doi.org/10.1007/s11116-020-10138-4>

Hsiao, H. I., Kemp, R. G. M., Van der Vorst, J. G. A. J. y Omta, S. O. (2010). A classification of logistic outsourcing levels and their impact on service performance: Evidence from the food processing industry. *International journal of production economics*, 124(1), 75-86.

Huynh, T. D., Jennings, N. R. y Shadbolt, N. R. (2006). An integrated trust and reputation model for open multi-agent systems. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 13(2), 119-154.

Hylton, P.J. y Ross, C.L. (2018). Agglomeration economies' influence on logistics clusters' growth and competitiveness. *Regional Studies*, Vol. 52 No. 3, pp. 350-361.

Iacono, M., Levinson, D. y El-Geneidy, A. (2008). Models of transportation and land use change: a guide to the territory. *Journal of Planning Literature*, 22(4), 323-340.

Ihde, T. (2002). Internet-based transportation marketplaces: A critical analysis. *Manuskripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel*, No. 562.

Inkpen, A. C. (1996). Creating knowledge through collaboration. *California management review*, 39(1), 123-140.

Izquierdo, L. R., Ordax, J. M. G., Santos, J. I. y Martínez, R. D. O. (2008). Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas. *Empiria. Revista de metodología de ciencias sociales*, (16), 85-112.

Jaafar, H. S. y Rafiq, M. (2005). Logistics outsourcing practices in the UK: a survey. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 8(4), 299-312.

Janelle, D. G. y Beuthe, M. (1997). Globalization and research issues in transportation. *Journal of Transport Geography*, 5(3), 199-206.

Janic, M. (2007). Modelling the full costs of an intermodal and road freight transport network. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 12(1), 33-44.

Jiménez-Valverde, A. (2012). Insights into the area under the receiver operating characteristic curve (AUC) as a discrimination measure in species distribution modelling. *Global Ecology and Biogeography*, 21(4), 498-507.

Jordan, R., Birkin, M. y Evans, A. (2014). An agent-based model of residential mobility: Assessing the impacts of urban regeneration policy in the EASEL district. *Computers, Environment and Urban Systems*, 48, 49-63.

Juran, J. M. (1975). The non-Pareto principle; mea culpa. *Quality Progress*, 8(5), 8-9.

Karis, B. y Dinwoodie, J. (2005). Impact of the road transport directive: a survey of road hauliers in the Netherlands. *Transport Policy*, 12(1), 79-88.

Kennedy, W. G. (2012). Modelling Human Behaviour in Agent-Based Models. En Batty, M., Crooks, A. T., See, L. M. y Heppenstall, A. J., *Agent-based models of geographical systems* (pp. 167-179). Dordrecht: Springer.

Kitchin, R. (2013). Big data and human geography: Opportunities, challenges and risks. *Dialogues in human geography*, 3(3), 262-267.

Klügl, F. (2008). A validation methodology for agent-based simulations. In *Proceedings of the 2008 ACM symposium on Applied computing – Advances in Computer Simulation*. ACM. New York, USA (pp. 39-43).

Kramer, M. R. y Porter, M. (2011). *Creating shared value*. FSG.

Kreuels, M. (2018). *Der Kunde als effektiver Wertschöpfungspartner bei Kontraktlogistikdienstleistungen*. Tesis doctoral. Universität Duisburg-Essen.

Kuhn, M. (2008). Building predictive models in R using the caret package. *Journal of statistical software*, 28(1), 1-26.

Kumar, I., Zhalnin, A., Kim, A. y Beaulieu, L. J. (2016). Transportation and logistics cluster competitive advantages in the US regions: A cross-sectional and spatio-temporal analysis. *Research in Transportation Economics*, 61, 25-36.

Kwan, M. y Schwanen, T. (2016). Geographies of Mobility. *Annals of the American Association of Geographers*, 106(2), 243-256.

Laatabi, A., Marilleau, N., Nguyen-Huu, T., Hbid, H. y Babram, M. A. (2018). ODD+ 2D: an ODD based protocol for mapping data to empirical ABMs. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 21(2).

Lammoglia, A., Josselin, D. y Marilleau, N. (2015). Some propositions to find optimal conditions to simulate a flexible transport using an agent-based model. *Cybergeo: European Journal of Geography*, 728, 1-24.

Latora, V. y Marchiori, M. (2007). A measure of centrality based on network efficiency. *New Journal of Physics*, 9(6), 188.

Latour, B. (2005). *Reensamblar lo social: una introducción a la teoría del actor-red*. Buenos Aires: Ed. Manantial.

Lavallin, A. y Downs, J. A. (2021). Machine learning in geography—Past, present, and future. *Geography Compass*, 15(5), e12563.

Lei, H. S. y Huang, C. H. (2014). Geographic clustering, network relationships and competitive advantage. *Management Decision*.

Leitner, R., Meizer, F., Prochazka, M. y Sihm, W. (2011). Structural concepts for horizontal cooperation to increase efficiency in logistics. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 4(3), 332-337.

Lenntorp, B. (1979). Das PESASP-Modell: Seine Theoretische Grundlegung im Rahmen des Zeitgeographischen Ansatzes und Anwendungsmöglichkeiten. *Geographische Zeitschrift*, 67(4), 336-353.

Levin, D. Z. y Cross, R. (2004). The strength of weak ties you can trust: The mediating role of trust in effective knowledge transfer. *Management Sci.* 50(11) 1477–1490.

Li, F., Li, Z., Chen, H., Chen, Z. y Li, M. (2020). An agent-based learning-embedded model (ABM-learning) for urban land use planning: A case study of residential land growth simulation in Shenzhen, China. *Land Use Policy*, 95, 104620.

Liedtke, G. (2009). Principles of micro-behavior commodity transport modeling. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45(5), 795-809.

Lindsay, V. J. (2005). The development of international industry clusters: a complexity theory approach. *Journal of international entrepreneurship*, 3(1), 71-97.

Liu, R., Van Vliet, D. y Watling, D. (1995). DRACULA: Dynamic route assignment combining user learning and microsimulation. *PTRC-Publications*, vol. E, 143-152.

Louviere, J. J., Hensher, D. A. y Swait, J. D. (2000). *Stated choice methods: analysis and applications*. Cambridge university press.

Lundquist, K. J. y Trippel, M. (2013). Distance, proximity and types of cross-border innovation systems: A conceptual analysis. *Regional studies*, 47(3), 450-460.

Macal, C. M. (2016). Everything you need to know about agent-based modelling and simulation. *Journal of Simulation*, 10(2), 144-156.

Macal, C. M. y North, M. J. (2009). Agent-based modeling and simulation: ABMS examples. En Rossetti, . D., Hill, R. R., Johansson, B., Dunkin, A. e Ingalls, R. G. (eds.) *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference* (pp. 86-98).

Macal, C. M. y North, M. J. (2010). Tutorial on agent-based modelling and simulation. *Journal of simulation*, 4(3), 151-162.

Malmberg, A. (2003). Beyond the cluster—local milieus and global economic connections. En Peck, J. y Yeung, H. W. C. (eds). *Remaking the Global Economy*. London: Sage Publications, 145–159.

Manley, E., Cheng, T., Penn, A. y Emmonds, A. (2014). A framework for simulating large-scale complex urban traffic dynamics through hybrid agent-based modelling. *Computers, Environment and Urban Systems*, 44, 27-36.

Manson, S. M., Sun, S. y Bonsal, D. (2012). Agent-Based Modeling and Complexity. En Heppenstall, A. J., Crooks, A. T., See, L. M. y Batty, M. (Eds.). *Agent-based models of geographical systems* (pp. 125-139). Springer: Dordrecht.

Marasco, A. (2004). Business Models of Transportation Electronic Marketplaces: an Empirical Survey. *Pomorski zbornik*, 42(1), 77-92.

Markusen, A. (2003). An Actor-Centered Approach to Regional Economic Change. *Annals of Japan Association of Economic Geographers*, Vol. 49, pp. 415-428.

Maroto, A. y Zofío, J. L. (2015). Nueva metodología para la descomposición de los costes generalizados del transporte de mercancías por carretera usando la teoría económica de los números índice. *Investigaciones regionales: Journal of Regional Research*, (33), 123-134.

Marshall, A. (1920): *Principles of Economics*. London: Macmillan.

Marston, S. A., Jones III, J. P. y Woodward, K. (2005). Human geography without scale. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 30(4), 416-432.

Martens, K., Benenson, I. y Levy, N. (2010). The dilemma of on-street parking policy: exploring cruising for parking using an agent-based model. En *Geospatial Analysis and Modelling of Urban Structure and Dynamics* (pp. 121-138). Springer, Dordrecht.

Martin, R. (2010). Roepke Lecture in Economic Geography—Rethinking regional path dependence: beyond lock-in to evolution. *Economic geography*, 86(1), 1-27.

Martin, R. y Sunley, P. (2015). Towards a developmental turn in evolutionary economic geography? *Regional Studies*, 49(5), 712-732.

Masías, V. H., Valle, M., Morselli, C., Crespo, F., Vargas, A. y Laengle, S. (2016). Modeling verdict outcomes using social network measures: the watergate and caviar network cases. *PLoS one*, 11(1), e0147248.

- Maskell, P., Bathelt, H. y Malmberg, A. (2006). Building global knowledge pipelines: The role of temporary clusters. *European Planning Studies*, 14(8), 997-1013.
- Matteis, T., Liedtke, G. y Wisetjindawat, W. (2016). A framework for incorporating market interactions in an agent-based model for freight transport. *Transportation Research Procedia*, 12, 925-937.
- McLafferty, S. L. (2010). Conducting questionnaire surveys. En Clifford, N., French, S. y Valentine, G. (eds.). *Key methods in geography*, 87-100. Sage: London.
- McLeod, S. A. (2019). *Z-score: definition, calculation and interpretation*. Simply Psychology. Recuperado de: <https://www.simplypsychology.org/z-score.html>
- McNally, M. G. (2000). The Four-step model. En Hensher, D. A. y Button, K. J. (Eds.) *Handbook of Transport Modelling*, (pp. 35–52). Oxford: Elsevier.
- McNally, M. G. y Rindt, C. (2008). *The Activity-Based Approach*. UC Irvine: Center for Activity Systems Analysis. Recuperado el 2 de julio de 2018 de <https://escholarship.org/uc/item/86h7f5v0>
- Meixell, M. y Norbis, M. (2008). A review of the transportation mode choice and carrier selection literature. *The International Journal of Logistics Management*, 19(2), 183-211.
- Méndez, R. (1997). *Geografía Económica: La lógica espacial del capitalismo global*. Barcelona: Ariel.
- Méndez, R. y Caravaca, I. (1996). *Organización industrial y territorio*. Col. Espacios y Sociedades. Madrid: Editorial Síntesis.
- Méndez, R., García Palomares y J. C., Michelini, J. J. (2005). La nueva industria metropolitana. Tendencias y contrastes en la ciudad de Madrid. *Ería*, 67, 173-191.
- Méndez, R., García Palomares y J. C., Michelini, J. J. (2007). La construcción de ciudades innovadoras: transformaciones económicas recientes y desarrollo local en Getafe. *Estudios geográficos*, LXVIII, 262, enero-junio, 173-203.
- Mérenne, É. (1995). *Géographie des Transports*. Nathan: Paris.
- Millar, M. M. y Dillman, D. A. (2011). Improving response to web and mixed-mode surveys. *Public opinion quarterly*, 75(2), 249-269.
- Minian, I. (2009). Nuevamente sobre la segmentación internacional de la producción. *Economía UNAM*, 6(17), 46-68.
- Ministerio de Fomento (2013). *Estrategia logística de España*. Gobierno de España: Madrid.

Ministerio de Fomento (2019). *Encuesta Permanente de Transporte de Mercancías por Carretera (EPTMC): Año 2018*. Subdirección General de Estadística. Ministerio de Fomento: Madrid.

Mollenkopf, D., Gibson, A. y Ozanne, L. (2000). The integration of marketing and logistics functions: an empirical examination of New Zealand firms. *Journal of Business Logistics*, Vol. 21 No. 2, pp. 89-112.

Mommens, K., van Lier, T. y Macharis, C. (2016). Loading Unit in Freight Transport Modelling. *Procedia Computer Science*, 83, 921-927.

Morris, J. W. (1950). The role of the Geographer in social surveys. *The Professional Geographer*, vol. II, n. 3, p. 23-32.

Moss, S. y Davidsson, P. (Eds.) (2003). *Multi-Agent-Based Simulation: Second International Workshop, MABS 2000, Boston, MA, USA, July 2000; Revised and Additional Papers*. London: Springer.

Moya-Gómez, B., Salas-Olmedo, M. H., García-Palomares, J. C. y Gutiérrez, J. (2018). Dynamic accessibility using big data: the role of the changing conditions of network congestion and destination attractiveness. *Networks and Spatial Economics*, 18(2), 273-290.

Müller, B., Bohn, F., Dreßler, G., Groeneveld, J., Klassert, C., Martin, R., Schlüter, M., Schulze, J., Weise, H. y Schwarz, N. (2013). Describing human decisions in agent-based models—ODD+ D, an extension of the ODD protocol. *Environmental Modelling & Software*, 48, 37-48.

Mucherino, A., Papajorgji, P. J. y Pardalos, P. M. (2009). K-nearest neighbor classification. En *Data mining in agriculture* (pp. 83-106). Springer, New York, NY.

Nandiraju, S. y Regan, A. (2008). *Freight Transportation Electronic Marketplaces: A Survey of the Industry and Exploration of Important Research Issues*. UC Berkeley: University of California Transportation Center.

Newman, M. E. J. (2003). The structure and function of complex networks. *SIAM review*, 45(2), 167-256.

Ngo, T. A. y See, L. (2012). Calibration and Validation of Agent-Based Models of Land Cover Change. En Heppenstall, A. J., Crooks, A. T., See, L. M. y Batty, M. (eds.), *Agent-Based Models of Geographical Systems* (pp. 181-197). Dordrecht: Springer.

Nilsson, F. y Darley, V. (2006). On complex adaptive systems and agent-based modelling for improving decision-making in manufacturing and logistics settings: Experiences from a packaging company. *International Journal of Operations & Production Management*.

- Nooteboom, B. (2006). Innovation, learning and cluster dynamics. *Clusters and regional development*, 137-163.
- Okamoto K., Chen W. y Li X.Y. (2008) Ranking of Closeness Centrality for Large-Scale Social Networks. En Preparata F.P., Wu X., Yin J. (eds.). *Frontiers in Algorithmics. FAW 2008. Lecture Notes in Computer Science*, vol 5059. Springer, Berlin, Heidelberg.
- O'Lear, S. R. M. (1996). Using electronic mail (e-mail) surveys for geographic research: Lessons from a survey of Russian environmentalists. *The Professional Geographer*, 48(2), 209-217.
- Ortúzar, J. D. y Willumsen, L. G. (2011). *Modelos de Transporte*. Santander: Ed. Universidad de Cantabria.
- Ostertagova, E., Ostertag, O., y Kováč, J. (2014). Methodology and application of the Kruskal-Wallis test. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 611, pp. 115-120). Trans Tech Publications Ltd.
- OTEUS – Observatorio del Transporte del Gobierno Vasco (2021). *Simuladores y herramientas del transporte* (11 de junio de 2021). <https://www.euskadi.eus/gobierno-vasco/transportes/simuladores/>
- Ottmöller, O. y Friedrich, H. (2017). Implications for Freight Transport Demand Modelling from Interdisciplinary Research: Developing a Concept for Modelling Freight Transport Within Supply Networks of the Automotive Industry. En Abele, E., Boltze, M. y Pfohl, H.C. (eds.) *Dynamic and Seamless Integration of Production, Logistics and Traffic* (pp. 185-207). Cham: Springer.
- Paelinck, J. H. P. (2004). Transport and spatial clustering. En *Handbook of transport geography and spatial systems*. Emerald Group Publishing Limited.
- Parker, D. C. (2005). Integration of Geographic Information Systems and Agent-Based Models of Land Use: Prospects and Challenges. En Maguire, D., Batty, M. y Goodchild M. F., *GIS, Spatial Analysis and Modeling* (pp. 403-423). Redlands: Esri Press.
- Parlamento Europeo (2006). *Reglamento (CE) nº 561/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de marzo de 2006, relativo a la armonización de determinadas disposiciones en materia social en el sector de los transportes por carretera y por el que se modifican los Reglamentos (CEE) nº 3821/85 y (CE) nº 2135/98 del Consejo y se deroga el Reglamento (CEE) nº 3820/85 del Consejo.*
- Parlamento Europeo (2020). *Reglamento (UE) 2020/1054 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de julio de 2020, por el que se modifica el Reglamento (CE) n.o 561/2006 en lo que respecta a los requisitos mínimos sobre los tiempos de conducción máximos diarios y semanales, las pausas mínimas y los períodos de descanso diarios y semanales y el Reglamento (UE) n.o 165/2014 en lo que respecta al posicionamiento mediante tacógrafos.*

- Parunak, H. V. D., Savit, R. y Riolo, R. L. (1998). Agent-based modeling vs. equation-based modeling: A case study and users' guide. En *International Workshop on Multi-Agent Systems and Agent-Based Simulation* (pp. 10-25). Heidelberg: Springer.
- Pekkarinen, O. (2005). *Northwest Russian Transport Logistics Cluster: Finnish Perspective*. Northern Dimension Research Centre, Lappeenranta University of Technology
- Phelps, C., Heidl, R. y Wadhwa, A. (2012). Knowledge, networks, and knowledge networks: A review and research agenda. *Journal of management*, 38(4), 1115-1166.
- Pinyol, I. y Sabater-Mir, J. (2013). Computational trust and reputation models for open multi-agent systems: a review. *Artificial Intelligence Review*, 40(1), 1-25.
- Porter, M. E. (1998). Clusters and the new economics of competition. *Harvard Business Review*, Vol. 76, No. 6, pp. 77-90.
- Porter, M.E. (2000). Location, competition and economic development: local clusters in the global economy". *Economic Development Quarterly*, Vol. 14 No. 1, pp. 15-31.
- Railsback, S. F. y Grimm, V. (2011). *Agent-Based and Individual-Based Modeling: A practical Introduction*. Princeton: Princeton University Press.
- Ramstedt, L. (2008). *Transport policy analysis using multi-agent-based simulation*. (Tesis doctoral). Blekinge Institute of Technology.
- Ramstedt, L. y Woxenius, J. (2006). Modelling approaches to operational decision-making in freight transport chains. En *Proc. 18th NOFOMA Conference, Oslo*.
- Raney, B., Cetin, N., Völlmy, A., Vrtic, M., Axhausen, K. y Nagel, K. (2003). An agent-based microsimulation model of Swiss travel: First results. *Networks and Spatial Economics*, 3(1), 23-41.
- Razzaque, M. A. y Sheng, C. C. (1998). Outsourcing of logistics functions: a literature survey. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*.
- Reagans, R. y McEvily, B. (2003). Network structure and knowledge transfer: The effects of cohesion and range. *Administrative science quarterly*, 48(2), 240-267.
- Reis, V. (2014). Analysis of mode choice variables in short-distance intermodal freight transport using an agent-based model. *Transportation research part A: Policy and practice*, 61, 100-120.
- Richardson, A. J., Ampt, E. S. y Meyburg, A. H. (1995). *Survey methods for transport planning* (p. 314). Melbourne: Eucalyptus Press.

- Rinehart, L. M., Eckert, J. A., Handfield, R. B., Page Jr, T. J. y Atkin, T. (2004). An assessment of supplier—customer relationships. *Journal of business logistics*, 25(1), 25-62.
- Rinsler, S. (2010). Outsourcing: the result of global supply chains? En Waters, D. (ed.). *Global Logistics: New directions in supply chain management (6th ed.)*. Kogan Page: London.
- Rivera, L. (2014). *Logistics clusters: Prevalence and impact*. (Tesis Doctoral). Massachusetts Institute of Technology.
- Rivera, L., Gligor, D. y Sheffi, Y. (2016). The benefits of logistics clustering. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 46(3)242-268.
- Rivera, L., Sheffi, Y. y Knoppen, D. (2016). Logistics clusters: The impact of further agglomeration, training and firm size on collaboration and value added services. *International Journal of Production Economics*, 179, 285-294.
- Robbins, P. y Krueger, R. (2000). Beyond bias? The promise and limits of Q method in human geography. *The Professional Geographer*, 52(4), 636-648.
- Rodrigue, J. P., Comtois, C. y Slack, B. (2017). *The Geography of Transport Systems (4th Ed.)*. New York: Routledge.
- Roorda, M. J., Cavalcante, R., McCabe, S. y Kwan, H. (2010). A conceptual framework for agent-based modelling of logistics services. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46(1), 18-31.
- Rosenthal, S. S. y Strange, W. (2004). Evidence on the nature and sources of agglomeration economies. En Henderson, J.V. y Thisse, J. F. (Eds.). *Handbook of regional and urban economics (Vol. 4)*. Elsevier B. V.
- Rubinov, M., y Sporns, O. (2011). Weight-conserving characterization of complex functional brain networks. *Neuroimage*, 56(4), 2068-2079.
- Rühl, F., Freudenreich, T., Berbner, U., Ottemöller, O., Friedrich, H. y Boltze, M. (2013). Production, logistics, and traffic: a systematic approach to understand interactions. *13th World Conference on Transport Research (WCTR), Rio de Janeiro, Brazil*.
- Sabidussi, G. (1966). The centrality index of a graph. *Psychometrika*, 31(4), 581-603.
- Saglietto, L. (2013). Towards a classification of fourth party logistics (4PL). *Universal Journal of Industrial and Business Management*, 1(3), 104-116.
- Salas-Olmedo, M. H. y Rojas Quezada, C. (2017). The use of public spaces in a medium-sized city: from Twitter data to mobility patterns. *Journal of Maps*, 13(1), 40-45.

- Salas, A., Cases, B. y García Palomares, J. C. (2019). Value chains of Road Freight Transport operations: An agent-based modelling proposal. *Procedia Computer Science*, 151, 769-775.
- Salas-Peña, A. (2021). *Encuesta TRANSOPE a profesionales del transporte de mercancías por carretera de Gipuzkoa*. Fundación Guitrans Fundazioa: Donostia-San Sebastián.
- Salle, I., Yildizoğlu, M. y Sénégas, M. A. (2013). Inflation targeting in a learning economy: An ABM perspective. *Economic Modelling*, 34, 114-128.
- Samimi, A., Mohammadian, A. y Kawamura, K. (2010). A behavioral freight movement microsimulation model: method and data. *Transportation Letters*, 2(1), 53-62.
- Samimi, A., Mohammadian, A., Kawamura, K. y Pourabdollahi, Z. (2014). An activity-based freight mode choice microsimulation model. *Transportation Letters*, 6(3), 142-151.
- Sammut, C. y Webb, G. I. (Eds.) (2017). *Encyclopedia of machine learning, Second Ed.* Springer Science & Business Media.
- Sánchez-Fernández, J., Muñoz-Leiva, F. y Montoro-Ríos, F. J. (2012). Improving retention rate and response quality in Web-based surveys. *Computers in Human Behavior*, 28(2), 507-514.
- Santos, M. (2004). *Por otra globalización: Del pensamiento único a la conciencia universal*. Bogotá: Convenio Andrés Bello.
- Sawamoto, J., Tsuji, H. y Koizumi, H. (2002). Continuous truck delivery scheduling and execution system with multiple agents. En *Pacific Rim International Workshop on Multi-Agents* (pp. 190-204). Berlin: Springer.
- Schatzki, T. R. (2002). *The site of the social: A philosophical account of the constitution of social life and change*. University Park: Pennsylvania State University Press.
- Schilling, M. A. y Steensma, H. K. (2001). The use of modular organizational forms: An industry-level analysis. *Academy of management journal*, 44(6), 1149-1168.
- Schröder, S., Zilske, M., Liedtke, G. y Nagel, K. (2012). A computational framework for a multi-agent simulation of freight transport activities. En *Annual Meeting Preprint* (pp. 12-4152).
- Schwanen, T. (2016). Geographies of transport I: Reinventing a field?. *Progress in Human Geography*, 40(1), 126-137.
- Schwanen, T. (2016). Geographies of transport II: Reconciling the general and the particular. *Progress in Human Geography*, 41(3), 355-364.

- Scott, C., Lundgren, H. y Thompson, P. (2018). Guide to outsourcing in supply chain management. En Scott, C., Lundgren, H. y Thompson, P. (eds). *Guide to Supply Chain Management* (pp. 189-202). Springer: Berlin.
- Secor, A. (2010). Social surveys, interviews, and focus groups. En Gómez, B. y Jones, J.P. (eds.). *Research methods in Geography*, 194-205. Blackwell: West-Sussex.
- Seguí Pons, J. M. y Martínez Reynés, M. R. (2004). *Geografía de los Transportes*. Palma: Universitat de les Illes Balears.
- Selviaridis, K., y Spring, M. (2007). Third party logistics: a literature review and research agenda. *The international journal of logistics management*, 18(1), 125-150.
- Shapiro, S. y Wilk, M. (1965). An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). *Biometrika*, 52(3/4), 591-611.
- Shaw, J. y Hesse, M. (2010). Transport, geography and the 'new' mobilities. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 35(3), 305-312.
- Sheffi, Y. (2010). Logistics intensive clusters. *Época/Epoch*, 20(1-2), 11-17.
- Sheffi, Y. (2012). *Logistics Clusters: Delivering value and driving growth*. MIT Press: Cambridge, MA.
- Sheffi, Y. (2013). Logistics-intensive clusters: global competitiveness and regional growth. En Bookbinder, J. H. (ed.) *Handbook of global logistics* (pp. 463-500). New York: Springer.
- Sheffi, Y., Saenz, M. J., Rivera, L. y Gligor, D. (2019). New forms of partnership: the role of logistics clusters in facilitating horizontal collaboration mechanisms. *European Planning Studies*, 27(5), 905-931.
- Sheller, M. y Urry, J. (2006). The new mobilities paradigm. *Environment and planning A*, 38(2), 207-226.
- Shmool, J. L., Johnson, I. L., Dodson, Z. M., Keene, R., Gradeck, R., Beach, S. R. y Clougherty, J. E. (2018). Developing a GIS-based online survey instrument to elicit perceived neighborhood geographies to address the uncertain geographic context problem. *The Professional Geographer*, 70(3), 423-433.
- Simandan, D. (2005). *New ways in Geography. Timisoara: West University Press (Editura Universitatii de Vest)*.
- Simandan, D. (2016). Proximity, subjectivity, and space: Rethinking distance in human geography. *Geoforum*, 75, 249-252.

- Smith, L., Beckman, R. y Baggerly, K. (1995). *TRANSIMS: Transportation analysis and simulation system* (No. LA-UR-95-1641). Los Alamos National Lab., NM (United States).
- Smyth, J. D., Olson, K. y Burke, A. (2018). Comparing survey ranking question formats in mail surveys. *International Journal of Market Research*, 60(5), 502-516.
- Solakivi, T. y Ojala, L. (2017). Determinants of carrier selection: updating the survey methodology into the 21st century. *Transportation research procedia*, 25, 511-530.
- Squazzoni, F. (2012). *Agent-based computational sociology*. Singapur: John Wiley & Sons.
- Stead, D. (2001). Transport intensity in Europe—indicators and trends. *Transport policy*, 8(1), 29-46.
- Stojanović, Đ. (2012). Paradoxes and opportunities in logistic outsourcing research. *Promet-Traffic & Transportation*, 24(6), 525-533.
- Stojanović, Đ. (2017). Road freight transport outsourcing trend in Europe—what do we really know about it? *Transportation research procedia*, 25, 772-793.
- Storper, M. (2004). Territories, flows, and hierarchies in the global economy. En Barnes, T.J., Peck, J. Sheppard, E. y Tickell, A. (eds). *Reading economic geography*. Blackwell: Oxford.
- Strambach, S. y Klement, B. (2012). Cumulative and combinatorial micro-dynamics of knowledge: The role of space and place in knowledge integration. *European Planning Studies*, 20(11), 1843-1866.
- Straube, F., Nagel, A. y Rief, D. (2010). Trends and strategies in global logistics. En Waters, D. (ed.). *Global Logistics: New directions in supply chain management (6th edition)*. Kogan Page: London.
- Strauss, A.L. y Corbin, J. (1990). *Basics of Qualitative Research: Grounded Theory Procedures and Techniques*. Sage: Newbury Park, CA.
- Sun, Y., Mburu, L., y Wang, S. (2016). Analysis of community properties and node properties to understand the structure of the bus transport network. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 450, 523-530.
- Surana, A., Kumara, S., Greaves, M. y Raghavan, U. N. (2005). Supply-chain networks: a complex adaptive systems perspective. *International Journal of Production Research*, 43(20), 4235-4265.
- Swahn, H. (2001). The Swedish national model systems for goods transport SAMGODS—a brief introductory overview. SAMPLAN-report 2001: 1. *Swedish Institute for Transport and Communications Analysis (SIKA)*.

- Taillandier, P., Vo, D. A., Amouroux, E. y Drogoul, A. (2010). GAMA: a simulation platform that integrates geographical information data, agent-based modeling and multi-scale control. En *International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems* (pp. 242-258). Heidelberg: Springer.
- Tallman, S. y Phene, A. (2007). Leveraging knowledge across geographic boundaries. *Organization Science*, 18(2), 252-260.
- Tavasszy, L. A., van der Vlist, M. y Ruijgrok, C. (1998). Scenario-wise analysis of transport and logistics systems with a SMILE. En *8th World Conference on Transport Research*.
- ten Klooster, P. M., Visser, M., de Jong, M.D.T. (2008). Comparing two image research instruments: the Q sort method versus the Likert attitude questionnaire. *Food Quality and Preference*, 19(5), 511-518.
- Ting, K. M. (2017). Confusion Matrix. En Sammut, C. y Webb, G. I. (Eds.). *Encyclopedia of machine learning, Second Ed.* (p. 260). Springer Science & Business Media.
- Tobler, W. R. (1970). A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic geography*, 46(sup1), 234-240.
- Tomkins, C. (2001). Interdependencies, trust and information in relationships, alliances and networks. *Accounting, organizations and society*, 26(2), 161-191.
- Torrens, P. M. (2010). Agent-based Models and the Spatial Sciences. *Geography Compass*, 4(5), 428-448.
- Torrens, P. M. y McDaniel, A. W. (2013). Modeling geographic behavior in riotous crowds. *Annals of the Association of American Geographers*, 103(1), 20-46.
- Trope, Y. y Liberman, N. (2010). Construal-level theory of psychological distance. *Psychological review*, 117(2), 440.
- Unión Europea (1998). *Reglamento 1172/98, de 25 de mayo, sobre la relación estadística de los transportes de mercancías por carretera*. Diario Oficial de la Unión Europea, nº L163, de 6 de junio de 1998.
- Unión Europea. *Reglamento (UE) 70/2012 del Parlamento europeo y del Consejo, de 18 de enero de 2012, sobre la relación estadística de los transportes de mercancías por carretera (refundición)*. Diario Oficial de la Unión Europea L 32, 3 de febrero de 2012, 1-18.
- van Acker, V., van Wee, B. y Witlox, F. (2010). When Transport Geography Meets Social Psychology: Toward a Conceptual Model of Travel Behaviour. *Transport Reviews* 30(2), 219-240.

van Biesebroeck, J. y Sturgeon, T. J. (2010). *Effects of the crisis on the automotive industry in developing countries: a global value chain perspective*. Policy Research Working Paper 5330. The World Bank.

van den Heuvel, F. P., De Langen, P. W., van Donselaar, K. H. y Fransoo, J. C. (2012). Proximity matters: synergies through co-location of logistics establishments. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 17(5), 377-395.

van den Heuvel, F. P., de Langen, P. W., van Donselaar, K. H. y Fransoo, J. C. (2013). Regional logistics land allocation policies: Stimulating spatial concentration of logistics firms. *Transport Policy*, 30, 275-282.

van Schijndel, W. J. y Dinwoodie, J. (2000). Congestion and multimodal transport: a survey of cargo transport operators in the Netherlands. *Transport Policy*, 7(4), 231-241.

Vázquez García, J.A. y Pérez González, P. (1998). El declive de la Cornisa Cantábrica. En Mella Márquez, J.M. (coord.). *Economía y política regional en España ante la Europa del siglo XXI*. Madrid: Akal textos.

Verspagen, B. (2010). The spatial hierarchy of technological change and economic development in Europe. *The Annals of Regional Science*, 45(1), 109-132.

Wang, Y., Potter, A. y Naim, M. (2007). An exploratory study of electronic logistics marketplaces and its impact on customised logistics. En *POMS 18th Annual Conference*, URL: http://www.poms.org/conferences/poms2007/CDProgram/Topics/full_length_papers_files/007-0265.pdf, accessed Jun (Vol. 12, p. 2015).

Wasserman, S. y Faust, K. (1994). *Social network analysis: Methods and applications* (Structural Analysis in the Social Science). Cambridge: Cambridge University Press.

Webler, T., Danielson, S. y Tuler, S. (2009). Using Q method to reveal social perspectives in environmental research. *Greenfield MA: Social and Environmental Research Institute*, 54, 1-45.

Wegener, M. (2004). Overview of land-use transport models. *Handbook of transport geography and spatial systems*, 5, 127-146.

Westervelt, J. D. (2002). Geographic information systems and agent-based modelling. En Gimblett, H. R. (ed.). *Integrating geographic information systems and agent-based modeling techniques for simulating social and ecological processes*, (pp. 83-104). Oxford University Press: New York.

Whitford, J. y Potter, C. (2007). Regional economies, open networks and the spatial fragmentation of production. *Socio-Economic Review*, 5(3), 497-526.

- Wilensky, U. (1999). NetLogo. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.
- Wilensky, U. y Rand, W. (2015). *An introduction to agent-based modeling: modeling natural, social, and engineered complex systems with NetLogo*. Cambridge: MIT Press.
- Williams, Z., Garver, M. S. y Taylor, G. S. (2013). Carrier selection: understanding the needs of less-than-truckload shippers. *Transportation Journal*, 52(2), 151-182.
- Wilson, A. G. (2002). Complex spatial systems: Challenges for modellers. *Mathematical and computer modelling*, 36(3), 379-387.
- Wise, S., Crooks, A. y Batty, M. (2016, May). Transportation in agent-based urban modelling. En *International Workshop on Agent Based Modelling of Urban Systems* (pp. 129-148). Springer: Cham.
- Wisetjindawat, W., Sano, K., Matsumoto, S. y Raathanachonkun, P. (2007). Micro-simulation model for modeling freight agents interactions in urban freight movement. En *CD Proceedings, 86th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington DC* (pp. 21-25).
- Wooldridge, M. y Jennings, N. R. (1995). Intelligent agents: Theory and practice. *The knowledge engineering review*, 10(2), 115-152.
- Yeung, H. W. C. (2002). The limits to globalization theory: a geographic perspective on global economic change. *Economic geography*, 78(3), 285-305.
- Zailani, S., Shaharudin, M. R., Razmi, K. e Iranmanesh, M. (2017). Influential factors and performance of logistics outsourcing practices: an evidence of Malaysian companies. *Review of Managerial Science*, 11(1), 53-93.
- Zgonc, B., Tekavčič, M. y Jakšič, M. (2019). The impact of distance on mode choice in freight transport. *European Transport Research Review*, 11(1), 10.
- Zhang, J. y Luo, Y. (2017). Degree centrality, betweenness centrality, and closeness centrality in social network. En *Proceedings of the 2017 2nd International Conference on Modelling, Simulation and Applied Mathematics (MSAM2017)* (Vol. 132, pp. 300-303).
- Zhou, H. y Benton Jr, W. C. (2007). Supply chain practice and information sharing. *Journal of Operations management*, 25(6), 1348-1365.
- Zuo, Y., Yada, K., Li, T., y Chen, P. (2018). Application of network analysis techniques for customer in-store behavior in supermarket. En *2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)* (pp. 1861-1866). IEEE

Capítulo 10. Anexos

10. ANEXOS

10.1. Código del modelo TRANSOPE aplicado en NetLogo

```
directed-link-breed [arrows arrow]
breed [opers oper]
breed [trans tran]
breed [carriers carrier]
turtles-own [time contracts closeness competitiveness trust availability K valor-neto S original-color MGD
Z P Ki gd_parcial]
patches-own [learning original-pcolor]
arrows-own [path weight ordinal]
opers-own [proxi-to-expeds price_opers]
trans-own [distance-to-opers price_trans distance-to-trans1 S_trans1]
carriers-own [distance-to-trans distance-to-trans2 occupied? price_carriers costs kms kms_day]
globals [closeness_verde closeness_cyan closeness_rosa closeness_gris linked_trans linked_carriers
excluded_carriers no_linked_carriers
chain_distance global_distance
value_chain net_value
green-agents pink-agents cyan-agents grey-agents density_cyan density_rosa density_verde density_gris
density_trans not_density_trans density_carriers not_density_carriers
density2_trans density2_carriers not_density2_trans not_density2_carriers
gd-green gd-grey gd-pink gd-cyan gd-global
edges t-weight agents-in-knowing-areas knowing-agents pasos day-counter cluster_1 cluster_2 cluster_3
cluster_4]
extensions [csv]
```

to setup

```
random-seed new-seed
if world = "new" [
  ca
  ask patches with [pycor <= 0] [set pcolor 57]
  ask patches with [pxcor >= 0 and pycor >= -2] [set pcolor 127]
  ask patches with [pxcor <= -1 and pycor >= -2] [set pcolor 87]
  ask patches with [pxcor <= 3 and pycor <= -2] [set pcolor 7]

  let opers-green round ((count patches with [pcolor = 57] * freight-forwarders) / count patches)
  ask n-of 2 patches with [pcolor = 57] [sprout-opers 1]
  let opers-cyan round ((count patches with [pcolor = 87] * freight-forwarders) / count patches)
  ask n-of 2 patches with [pcolor = 87] [sprout-opers 1]
  let opers-pink round ((count patches with [pcolor = 127] * freight-forwarders) / count patches)
  ask n-of 3 patches with [pcolor = 127] [sprout-opers 1]
  let opers-gray round ((count patches with [pcolor = 7] * freight-forwarders) / count patches)
  ask n-of 3 patches with [pcolor = 7] [sprout-opers 1]
  ask opers [ set color pcolor - 4
  set shape "house" set size 2]
```

```

create-trans tr-companies
[ setxy random-pxcor random-pycor
move-to one-of patches with [not any? other turtles-here]
set shape "transportista"
set size 5
set color pcolor - 4]
create-carriers self-e-carrier
[ setxy random-pxcor random-pycor
move-to one-of patches with [not any? other turtles-here]
set color pcolor - 4
set size 2
set shape "truck"]
ask turtles [set original-color color]
  ask patches [set original-pcolor pcolor]]
if world = "last" [ifelse not any? turtles [user-message "choose 'Detener' and put 'display?' on"]
  [clear-links
  clear-globals
  clear-output
  clear-all-plots
  ask turtles [set color original-color]
  ask carriers [set kms 0
  set kms_day 0
  if any? carriers with [size = 3] [set size 2]]]]
if world = "import" [ca
  import-world "C:/Users/Aitor/Desktop/ni/TESIS/NETLOGO/TRANSOPE/transope world/escenario
0/transope_world1.csv"
  clear-links
  clear-globals
  clear-output
  clear-all-plots
  ask turtles [set color original-color]
  ask carriers [set kms 0
  set kms_day 0
  if any? carriers with [size = 3] [set size 2]]]
set operations precision (((600 / trip_kms) * self-e-carrier) * (SMT / 4) + 1) 0
ask patches [set pcolor original-pcolor]
set learning 0
set plabel ""]
ask turtles [set time 0]
set contracts 0
set K 0]
agent-values
closeness_measure
gd
select
selection_chain
ask arrows with [color = red] [set weight (weight + 1)]
recalculate-distance
reset-ticks
set iteration (iteration + 1)
set pasos operations - 1
set day-counter days

```

output-print "ordinal source target weight length"; **procedimiento inicial para extraer el grafo resultante de la simulación**

```
foreach sort-on [ordinal] arrows [ q -> ask q [
  output-print (word ordinal word " " ([[who] of end1) ) word " " ([[who] of end2) ) word " " weight word
  " " path)]]
set edges count arrows with [weight = 1]
set linked_trans count trans with [any? my-links] * 100 / count trans; indicador de conectividad de ETs
set linked_carriers count carriers with [any? my-links] * 100 / count carriers; indicador de conectividad de TAs
set excluded_carriers count carriers with [color = blue] * 100 / count carriers; indicador de no participación de TAs por precio insuficiente
set no_linked_carriers count carriers with [not any? my-links] with [color != blue] * 100 / count carriers
; indicador de no participación de TAs por no ser la mejor opción;
; estos indicadores se encuentran también en el procedimiento "share"
end
```

to agent-values

```
ask turtles [ifelse probability-distributions = "gamma" [
  set availability precision (availability_level + (random-gamma 1 9 - random-gamma 1 9)) 4
  set trust precision (trust_level + (random-gamma 1 9 - random-gamma 1 9)) 4
  set competitiveness precision (competitiveness_level + (random-gamma 1 9 - random-gamma 1 9)) 4]
[set availability availability_level
  set trust trust_level
  set competitiveness competitiveness_level]
ask opers [set price_opers precision (trip_kms * price_eur/km + (competitiveness * random 100)) 2]
ask carriers [set costs ((costs_eur/km * trip_kms) + regular_costs) + random 10 - random 10]]
ask trans [ set availability precision (self-e-carrier / (availability * (SMT * 100))) 4
  set valor-neto precision ((trust + competitiveness) * availability ^ 2) 4]
ask carriers [set valor-neto precision ((trust + competitiveness) * availability ^ 2) 4]
end
```

to closeness_measure

```
ask turtles [
ask other turtles [
set closeness (sum [distance myself] of turtles with [color = [color] of myself]) / 10; primero: calcula la suma de distancias desde cada nodo al resto de nodos de su región
let poblacion count turtles with [color = [color] of myself] - 1; segundo: calcula la población menos uno mismo
if poblacion = 0 [set poblacion 1]
set closeness precision (closeness / poblacion) 4; tercero: calcula la media de la distancia euclídea desde cada nodo respecto al resto de nodos de su región (población)
set gd_parcial precision sum [distance myself / 10] of turtles with [who < [who] of myself] with [color = [color] of myself] 4; cuarto: calcula la suma de distancias desde nodo i a nodo j, siendo i>j
]]
end
```

to gd; procedimiento que calcula la distancia geodésica (Newman, 2003) entre los agentes de cada región. Además, se calcula la media

```
if count turtles with [original-color = 53] >= 2 [set gd-green sum [gd_parcial] of turtles with [original-color = 53]; suma de valores de gd_parcial de cada nodo verde (de nodo i a nodo j, siendo i>j)
set gd-green precision (gd-green / ((count turtles with [original-color = 53] * (count turtles with [original-color = 53] - 1)) / 2)) 4]; fórmula de Newman para la región verde
```

```

if count turtles with [original-color = 3] >= 2 [set gd-grey sum [gd_parcial] of turtles with [original-color = 3]; lo mismo para la los nodos grises
  set gd-grey precision (gd-grey / ((count turtles with [original-color = 3] * (count turtles with [original-color = 3] - 1)) / 2)) 4]; lo mismo para la zona gris
if count turtles with [original-color = 123] >= 2 [set gd-pink sum [gd_parcial] of turtles with [original-color = 123]; lo mismo para los nodos rosas
  set gd-pink precision (gd-pink / ((count turtles with [original-color = 123] * (count turtles with [original-color = 123] - 1)) / 2)) 4]; lo mismo para la zona rosa
if count turtles with [original-color = 83] >= 2 [set gd-cyan sum [gd_parcial] of turtles with [original-color = 83]; lo mismo para los nodos cyan
  set gd-cyan precision (gd-cyan / ((count turtles with [original-color = 83] * (count turtles with [original-color = 83] - 1)) / 2)) 4]; lo mismo para la zona cyan
ask turtles with [original-color = 53] [set MGD gd-green]
  ask turtles with [original-color = 3] [set MGD gd-grey]
  ask turtles with [original-color = 123] [set MGD gd-pink]
  ask turtles with [original-color = 83] [set MGD gd-cyan]
set gd-global sum [MGD] of turtles
set gd-global precision (gd-global / ((count turtles * (count turtles - 1)) / 2)) 4
end

```

to select

```

random-seed new-seed
if any? opers [ask one-of opers [
  ask trans [set distance-to-opers precision (distance myself / 10) 4]; se establece la distancia euclidiana entre el OL y las ET
  ask trans with [color != [color] of myself] [set distance-to-opers distance-to-opers + (proximity_of_regions)]; distancia euclidiana entre OL y ET de otras regiones
  ask trans [ifelse no_distance? [set S valor-neto][set S precision (valor-neto / ((sqrt (closeness ^ 2 * MGD ^ 2)) * distance-to-opers * distance_impact)) 4
  set S S + K]
  set price_trans precision ([price_opers] of myself * ((100 - %-profit * (2 - SMT) - competitiveness) / 100)) 2]; cálculo de Ptrans respecto al oper que inicia la cadena
  set color yellow
  let available_trans trans with [color = original-color]
  if any? trans with [availability > 0] [
    ask max-one-of available_trans [S] [
      ;ask one-of available_trans with [S > mean [S] of trans][
        set color yellow
        create-arrow-from myself
        ask my-in-arrows with [[color] of end1 = yellow][set color red
        set ordinal max [ordinal] of arrows + 1]]]
    ask trans with [color = yellow][
      set availability precision (availability - (SMT * 10) / self-e-carrier) 4
      ask carriers with [color = blue or color = red][set occupied? true]
      ask carriers with [color != blue and color != red] [set occupied? false]

    ifelse subcontract [; condición de subcontratación extra: la cadena pasa de 3 agentes (1 OL, 1 ET y 1 TA) a estar formada por 4 (1 OL, 2 ETs y 1 TA)
      set distance-to-trans1 0.1; la ET seleccionada (amarilla) recibe un valor residual de "distancia a sí mismo" = 0.1
      ask other trans [set distance-to-trans1 precision (distance myself / 10) 4]; la ET1 pide a las otras ET que calculen la distancia hasta ella

```

```

set price_trans precision ([price_trans] of myself * ((100 - %-profit * (2 - SMT) - competitiveness) / 100))
4]; se recalcula el precio de las ETs respecto a la la ET1 para que sea menor
ask other trans with [original-color != [original-color] of myself] [set distance-to-trans1 distance-to-
trans1 + proximity_of_regions]; las ETs de otras regiones suman la distancia interregional
ask trans [set S_trans1 precision (valor-neto / (distance-to-trans1 * (sqrt (closeness ^ 2 * MGD ^ 2)) *
distance_impact)) 4]; calcula el valor de selección para el resto de ETs
set S_trans1 S_trans1 + K
let available_trans trans with [color = original-color]
ask max-one-of available_trans [S_trans1] [
; se selecciona a la ET con mayor valor (ET2) de entre el resto de ETs
ask carriers [set distance-to-trans2 precision (distance myself / 10) 4]
; la ET2 pide a los TAs que calculen la distancia hasta ella
ask carriers with [original-color != [original-color] of myself][set distance-to-trans2 distance-to-trans2 +
proximity_of_regions]
; los TAs de otras regiones suman la distancia interregional
set color 47; la ET2 se destaca con un color amarillo pálido
create-arrow-from myself; se crea el link entre ET1 y ET2
ask my-in-arrows with [[color] of end1 = yellow] with [[breed] of end1 = trans] [set color red; pinta el
link de rojo
set ordinal max [ordinal] of arrows + 1]]
ask trans with [color = 47] [
set availability precision (availability - (SMT * 10) / self-e-carrier) 4; reduce disponibilidad a la ET2
ask carriers [set price_carriers precision ([price_trans] of myself * ((100 - %-profit * (2 - SMT) -
competitiveness) / 100)) 4]; calcula el precio de los TAs respecto a la la ET2 para que sea menor
if costs + ((%-profit * costs) / 100) >= price_carriers [
set availability 0
set color blue]; descarte de carriers sin margen en setup y luego cada cambio de día
set S precision (valor-neto / (distance-to-trans2 * (sqrt (closeness ^ 2 * MGD ^ 2)) * distance_impact))
4
; recalcula el valor de selección para los TAs respecto a ET2
set S S + K]
if any? carriers with [availability > 0] [
ask carriers with [color = original-color] with-max [S] [
set color yellow; la ET2 pide al TA con mayor valor de selección que se vuelva amarillo
set availability precision (availability - (SMT * 10) / tr-companies) 4
set kms kms + (trip_kms * 2); suma los kms del viaje a su cuenta de kms totales
set kms_day kms_day + (trip_kms * 2); suma los kms del viaje a su cuenta de kms diarios
create-arrow-from myself; se crea el link entre ET2 y TA
ask my-in-arrows with [[color] of end1 = 47][set color red; pinta el link de rojo
set ordinal max [ordinal] of arrows + 1]; establece un número de orden para el link
set occupied? true]; cambia su estado a ocupado
]]; se etiquetan los TAs con el valor de selección respecto a ET2

[ask carriers [
; se ejecuta si no hay condición de subcontratación extra
set distance-to-trans precision (distance myself / 10) 4; se establece la distancia de las ET a los TAs
if distance-to-trans = 0 [set distance-to-trans 0.1]
set price_carriers precision ([price_trans] of myself * ((100 - (%-profit * (2 - SMT)) - competitiveness) /
100)) 2; precio de carriers con trans1
if costs + ((%-profit * costs) / 100) >= price_carriers [
set availability 0
set color blue]; descarte de carriers sin margen en setup y luego cada cambio de día

```

```

ask carriers with [original-color != [original-color] of myself] [set distance-to-trans precision (distance-
to-trans + (proximity_of_regions)) 4]
set S precision (valor-neto / ((sqrt (closeness ^ 2 * MGD ^ 2)) * distance-to-trans * distance_impact)) 4
set S S + K]
ifelse any? carriers with [availability > 0] [
ask one-of carriers with [color = original-color] with-max [S] [
set color yellow; la ET1 pide al TA con mayor valor de selección que se vuelva amarillo
set availability precision (availability - (SMT * 10) / tr-companies) 4
set kms kms + (trip_kms * 2); suma los kms del viaje a su cuenta de kms totales
set kms_day kms_day + (trip_kms * 2); suma los kms del viaje a su cuenta de kms diarios
create-arrow-from myself; se crea el link entre ET1 y TA
ask my-in-arrows with [[color] of end1 = yellow][set color red; pinta el link de rojo
set ordinal max [ordinal] of arrows + 1]; establece un número de orden para el link
set occupied? true]]
[user-message "Any self-employed carrier is available."]
]]]
ask turtles with [color = yellow or color = 47] [set contracts contracts + 1]
display
end

```

to selection_chain

```

ask turtles [
ifelse subcontract
[if any? carriers with [S >= 0] with [color = yellow]
[set value_chain [S] of one-of trans with [color = yellow] + [S_trans1] of one-of trans with [color = 47] +
[S] of one-of carriers with [color = yellow]
set net_value ((valor-neto) of one-of trans with [color = yellow] + [valor-neto] of one-of trans with [color
= 47] + [valor-neto] of one-of carriers with [color = yellow]) / 3]]
[if any? carriers with [S >= 0] with [color = yellow] [set value_chain [S] of one-of trans with [color =
yellow] + [S] of one-of carriers with [color = yellow]
set net_value ((valor-neto) of one-of trans with [color = yellow] + [valor-neto] of one-of carriers with
[color = yellow]) / 2]]]
end

```

to share

```

readjust
ask turtles [
set valor-neto precision ((trust + competitiveness) * availability ^ 2) 2]
select
recalculate-distance
ask trans with [color = yellow or color = 47] [set k precision (k + (knowledge-transfer / value_chain)) 4];
aumenta el aprendizaje de ET1
ask carriers with [color = yellow] [set k precision (k + (knowledge-transfer / value_chain)) 4]; aumenta el
aprendizaje de TA1
ask carriers with [valor-neto = 0] [set valor-neto 1]
set linked_trans count trans with [any? my-links]
set linked_carriers count carriers with [any? my-links]
set excluded_carriers count carriers with [color = blue]
set no_linked_carriers count carriers with [not any? my-links] with [color != blue]
selection_chain
ask arrows with [color = red] [set weight (weight + 1)]
set edges count arrows with [weight = 1]
set t-weight sum [weight] of arrows - count arrows

```

```

set pasos pasos - 1
if pasos = 0 [set day-counter day-counter - 1]
ask arrows with [color = red][
  output-print (word ordinal word " " ([[who] of end1) ) word " " ([[who] of end2) ) word " " weight word
  " " path)]
display
tick
end

```

to readjust; procedimiento para reajustar el sistema

```

ask carriers with [occupied? = true] ; el carrier seleccionado no entra en esta regularización
  with [color != blue]; los carriers excluidos por precio pueden tener una nueva oportunidad en la siguiente
operación
[set color red]; PASO 1: Pide a los TAs que no esté excluidos por precio que se vuelvan rojos
ask carriers with [color = red] [ifelse kms_day < 600 [
  set color original-color]; PASO 3: Pide a todos los TAs no excluidos y con capacidad de hacer más viajes
que recobren su color original
  [set kms_day kms_day]]
ask carriers with [kms_day >= 600] [set color red; PASO 4: Los TAs sin posibilidad de hacer más viajes
durante ese día se vuelven rojos y ocupados
set occupied? true]
ask trans [if availability <= 0 [set color red]]; si las disponibilidad es 0 o menos las ETs se vuelven rojas
ask turtles with [color = yellow or color = 47] [
set color original-color]; pide a las tortugas previamente seleccionadas que recuperen su color original
ask arrows [set color 19]; pinta los links de gris
ask turtles [set time time + 1]; cuenta los pasos para cada tortuga
if pasos = 0 [set pasos operations;
  ask carriers [ifelse kms_day <= 600 [set kms_day 0]
[set kms_day kms_day - 600]]; al acabar un día pone el contador de kms diarios a 0
end

```

to recalculate-distance; calcula la longitud de los links teniendo en cuenta la separación de las regiones

```

ask arrows [ifelse [original-pcolor] of [patch-here] of end1 > ( [original-pcolor] of [patch-here] of end2 +
20); si hay links entre agentes situados en
  or [original-pcolor] of [patch-here] of end1 < ( [original-pcolor] of [patch-here] of end2 - 20);; diferentes
regiones:
  [set path precision ((link-length / 10) + proximity_of_regions) 2] [set path precision (link-length / 10)
2]]; calcula la distancia y suma la distancia interregional
ask turtles with [color = yellow or color = 47] [ask my-out-arrows [set chain_distance precision (sum
[path] of arrows with [color = 15]) 2]]
set global_distance sum [path] of arrows; crea dos variables globales: 1) chain_distance es la longitud
de la cadena de subcontratación en cada operación
;; 2) global_distance no es el sumatorio de chain_distance sino el incremento de distancia en el grafo.
P.e. si se producen tres operaciones seguidas entre los mismos agentes el incremento de d será 0.
end

```

to learning_transfer

```

repeat days [ifelse operations = 1 [repeat (operations) [share]]
[repeat (operations - 1) [share]
if all? trans [color != original-color] or all? carriers [color != original-color] [stop]]]
ask turtles [set color original-color]
ask links [set color 108]

```

```

ask turtles [ifelse probability-distributions = "gamma" [set availability precision (availability_level +
(random-gamma 1 9 - random-gamma 1 9)) 4]
[set availability availability_level]]
ask trans [set availability precision (availability * ((SMT * 100) / self-e-carrier)) 4]
ask turtles with [any? my-links] [ask patches in-radius spread [
set learning (sum [contracts] of turtles in-radius spread / (count turtles in-radius spread * knowledge-
transfer ^ -1)) ]]
repeat spread [diffuse learning knowledge-transfer]

ask patches [ask patches in-radius 1 with [original-pcolor != [original-pcolor] of myself]
[set learning learning * (1 / (log (1 + proximity_of_regions) 250 + 0.8))]; simula el efecto spillover de
learning entre regiones
set learning precision learning 4]
ask turtles [set K precision (k + [learning] of patch-here) 4]
foreach sort-on [learning] patches [ t ->
ask t [ask patches with [learning > 0][
set pcolor original-pcolor - (5 * learning * clustering_level)]]; crea zonas sombreadas donde se
concentra mayor actividad
ask patches with [original-pcolor = 57] [if pcolor < 52 [set pcolor 52]]
ask patches with [original-pcolor = 7] [if pcolor > 10 or pcolor < 2 [set pcolor 2]]
ask patches with [original-pcolor = 127] [if pcolor < 122 [set pcolor 122]]
ask patches with [original-pcolor = 87] [if pcolor < 82 [set pcolor 82]]

ifelse pasos = 0 []
[share]
set edges count arrows
set t-weight sum [weight] of arrows - edges
set agents-in-knowing-areas count turtles-on patches with [learning >= mean [learning] of patches]
let learning-patches patches with [learning >= mean [learning] of patches]
ask turtles [set knowing-agents count (turtles-on learning-patches) with [any? my-links]]
set cluster_1 ((count patches with [learning < mean [learning] of patches * 0.5] * 100) / count patches)
set cluster_2 ((count patches with [learning >= mean [learning] of patches * 0.5 and learning < mean
[learning] of patches] * 100) / count patches)
set cluster_3 ((count patches with [learning >= mean [learning] of patches and learning < 2 * mean
[learning] of patches] * 100) / count patches)
set cluster_4 ((count patches with [learning >= 2 * mean [learning] of patches] * 100) / count patches)
print-nodes
]
export-output word "C:/Users/Aitor/Desktop/ni/TESIS/NETLOGO/TRANSOPE/transope grafos/escenario
8/graph_dynamic/" (word "graph_dynamic" (word iteration ".csv"))
export-plots
ex-world
end

to sim
repeat 30
[setup
learning_transfer]
end

```

10.2. Coeficientes de fiabilidad de la encuesta TRANSOPE

Para conocer la fiabilidad y la coherencia interna de los datos recogidos se realizaron análisis alfa de Cronbach para conjuntos de variables y se calculó el coeficiente Spearman-Brown, que indica la coherencia de los datos divididos en dos mitades. Se considera en ambos casos que valores iguales o mayores de 0.7 otorgan una fiabilidad aceptable a los datos recogidos. El valor máximo es 1. Además, en todos los conjuntos de datos se observó la distribución de frecuencias para demostrar la validez del instrumento de medición diseñado.

A) Criterios de selección.

- *Coeficientes de Fiabilidad.*

Los coeficientes se calcularon para todas las variables contenidas en las preguntas que figuran en la columna de la izquierda. Todos muestran altos valores de cohesión en sus respuestas.

<i>preguntas</i>	Operadores de tráfico		Transportistas autónomos	
	<i>Alfa de Cronbach</i>	<i>Coefficiente Spearman-Brown</i>	<i>Alfa de Cronbach</i>	<i>Coefficiente Spearman-Brown</i>
O.B2	.96	.95		
O.B3	.87	.86		
O.B4	.92	.91		
O.B5	.89	.89		
O.B6	.96	.96		
O.B7	.96	.95		
T.B1			.89	.89
T.B2			.93	.94
T.B3			.92	.89

- *Prueba ANOVA sobre los criterios de selección de proveedores.*

Se realizó la prueba no paramétrica de normalidad Kolmogorov-Smirnov a todas las variables, concluyéndose a partir de la misma que ninguna de las variables de los transportistas ni de los operadores de tráfico se ajusta a una distribución normal, salvo las variables “*tener reputación en el sector*” y “*ser una empresa de la comarca o alrededores*” del grupo de operadores de tráfico, que muestran una significancia bilateral de .148 y .139 respectivamente. Pese a ello, se comprobó la homogeneidad de las varianzas, resultando todas ellas por encima del nivel crítico. De tal modo se procedió a realizar el contraste de hipótesis, siendo H0: No existe diferencia entre las medias de los tres grupos (transitarios, agencias de transporte y empresas de transporte) en ninguna de las variables. Los coeficientes de significancia (en la columna de la derecha de la tabla) muestran valores $p > .05$, por lo tanto, al no haber diferencias entre los tres tipos de empresas TMC en cuanto a la consideración de los criterios de selección se aceptó la hipótesis nula.

ANOVA	operadores de tráfico	
	F	Significancia
<i>criterios</i>		
Cumplir con las medidas de seguridad	.21	.810
Tener reputación en el sector	.94	.398
Mostrar capacidad de reacción ante imprevistos	.91	.412
Tener el equipamiento adecuado	.41	.668
Mantener una buena comunicación e intercambio de información	.49	.619
Confiar en su profesionalidad	1.03	.366
Tener experiencia previa en este tipo de viajes	.06	.939
Tener un precio competitivo	.60	.553
Ser una empresa de la comarca o alrededores	.89	.418
Tener disponibilidad de vehículos	.40	.673

B) Creación de valor.

- *Coefficientes de Fiabilidad.*

Como se explica en el apartado 7, los encuestados respondieron a 24 ítems en el bloque “Creación de valor”. Dichos ítems fueron agrupados en 4 conjuntos según el aspecto que se trataba de medir. En la siguiente tabla figuran los niveles de fiabilidad de cada agrupación de ítems en torno a cada aspecto medido. En algunos casos fue necesario depurar algún ítem para el elevar la cohesión del conjunto de datos.

Aspecto	Operadores de tráfico		Transportistas autónomos	
	Alfa de Cronbach	Coefficiente de Spearman-Brown	Alfa de Cronbach	Coefficiente de Spearman-Brown
Motivación	.80	.81	.82	.69
Experiencia	.81	.63	.75*	.67
Comunicación	.81**	.74	.71*	.65
Saturación	.71**	.64	.76**	.73

* Este indicador no fue depurado ya que la eliminación de ítems no concedía mayor fiabilidad.

** Fueron depurados 2 ítems de 6 para poder elevar la fiabilidad.

C) Colaboración.

- *Coefficientes de Fiabilidad.*

Se realizaron pruebas de fiabilidad a los conjuntos de datos correspondientes a las preguntas O.E1 y T.E1. El ítem “Todas las empresas por igual” fue eliminado con el fin de elevar el nivel de fiabilidad de la muestra. El resultado de las pruebas es el siguiente:

	Operadores de tráfico		Transportistas autónomos	
<i>preguntas</i>	<i>Alfa de Cronbach</i>	<i>Coefficiente de Spearman-Brown</i>	<i>Alfa de Cronbach</i>	<i>Coefficiente de Spearman-Brown</i>
O.E1 / T.E1	.81*	.89*	.74*	.85*

* Fue depurado un elemento para elevar el nivel de fiabilidad de la muestra.

- Prueba ANOVA sobre las preferencias de colaboración según ámbitos territoriales.

Por otro lado, se realizó a los dos conjuntos de datos (operadores y transportistas) una prueba ANOVA de un factor de contraste de hipótesis, siendo la hipótesis nula H_0 : No existen diferencias entre los tipos de empresa respecto a las preferencias de colaboración según ámbito de procedencia. En el caso de los operadores de tráfico, las pruebas de homogeneidad de varianzas fueron positivas, mostrando valores $p > .05$ salvo en el caso del ítem “empresas de la comarca”, que resultó $p = .048$. Por su parte, los transportistas autónomos mostraron igualmente valores positivos $p > .05$, salvo en el caso del ítem “empresas vascas” ($p = .035$).

ANOVA	Operadores de tráfico		Transportistas autónomos	
<i>ámbitos</i>	<i>F</i>	<i>Significancia</i>	<i>F</i>	<i>Significancia</i>
Empresas de la comarca	.51*	.604	.11	.743
Empresas de Gipuzkoa	.12	.884	.06	.807
Empresas vascas	.59	.557	2.41*	.123
Empresas españolas	.94	.398	6.06	.016
Empresas extranjeras	1.77	.182	2.03	.157

* Prueba de homogeneidad de varianza $p < .05$

Los resultados no permiten descartar la hipótesis nula, por lo que no se observa diferencias entre los diferentes tipos de agente de cada grupo, salvo en el caso de las “empresas españolas” en el grupo de transportistas autónomos, donde sí se existen diferencias significativas entre transportistas autónomos habituales y no habituales al respecto de sus preferencias a colaborar con empresas de TMC españolas.

- Análisis de grafos.

Por último, en este punto se detallan los métricos relativos a los dos grafos del apartado 9. En el primer caso, se ofrecen los indicadores correspondientes al grafo de la **figura 13**, donde G es el grado de cada nodo. Por tanto, $G \geq 0$ mide el grado contemplando todos los nodos, estén conectados o no, y $G \geq 1$ se refiere solo a los nodos con al menos una conexión, o lo que es lo mismo, excluye a los encuestados que no contestaron o no respondieron adecuadamente. La

siguiente tabla muestra los métricos del grafo de colaboración entre empresas TMC del sistema de transporte del área DABB:

	G ≥ 0	G ≥ 1
Nodos	138	130
Aristas	201	201
Grado medio	1,457	1,546
Diámetro de la red	12	12
Densidad de grafo	0,011	0,012
Longitud media de camino	4,764	4,764
Coefficiente medio de clustering	0,015	0,016
Componentes débilmente conexos	11	3
Número de comunidades	21	12

Los datos de la última tabla se refieren al grafo de la **figura 14**, el cual representa la colaboración entre empresas TMC y transportistas autónomos del sistema de transporte del área DABB:

	G ≥ 0	G ≥ 1
Nodos	291	233
Aristas	297	297
Grado medio	1,021	1,275
Diámetro de la red	12	12
Densidad de grafo	0,004	0,005
Longitud media de camino	4,832	4,831
Coefficiente medio de clustering	0,009	0,011
Componentes débilmente conexos	80	22
Número de comunidades	88	31

10.3. Cuestionario de la encuesta TRANSOPE dirigido a los transportistas autónomos

ENCUESTA A PROFESIONALES DEL TRANSPORTE DE MERCANCÍAS POR CARRETERA (TRANSPORTISTAS)

FUNDACIÓN GUITRANS FUNDAZIOA



¡GRACIAS POR ACEPTAR AYUDARNOS! Esta encuesta está diseñada por personal investigador universitario y forma parte de una investigación doctoral sobre las cadenas de valor generadas en torno a las operaciones de transporte de mercancías por carretera. Te pedimos que te tomes tu tiempo para completarla y que contestes con sinceridad **DESDE TU PROPIA EXPERIENCIA**. Nadie más allá del personal investigador tiene acceso a los resultados, por lo que toda la información recabada será utilizada exclusivamente con fines académicos.

En primer lugar queremos pedirte algunos datos generales...

P1. ¿Cuál es el nombre de tu empresa? *

Indica el nombre completo en mayúsculas

P2. ¿En qué localidad está ubicada? *

P3. ¿Cuál es tu edad? *



P4. Indica tu sexo. *

Hombre

Mujer

P5. ¿Cuál es tu país de procedencia? *



P6. ¿Cuál es tu nivel de estudios acabados? *



P7. ¿Tienes formación específica en transporte y logística? Si es así, indica el título.

P8. ¿Cuántos años llevas trabajando en el sector del transporte? *

*



P9. ¿Cuáles de estas funciones realizas en tu empresa? *

Puedes marcar más de una opción

- Trabajo como conductor
- Dirijo los camiones de mi flota
- Me dedico a gestionar mi empresa
- Otras

Ahora queremos preguntarte sobre la cadena de transporte.

Para ayudarte con las respuestas te facilitamos un pequeño GLOSARIO de términos.

EXPEDIDOR: Empresa fabricante o almacén donde se recoge la mercancía. Es un cliente directo.

DESTINATARIO: Empresa fabricante o almacén que recibe la mercancía. Es un cliente directo.

AGENCIA DE TRANSPORTE: Intermediaria entre cargadores y transportistas. No tiene flota propia.

EMPRESA DE TRANSPORTE: Posee flota propia para realizar servicios de transporte. Puede ejercer como agencia de transporte.

TRANSITARIO: Realiza trámites aduaneros, depósito de mercancías, consolidación de cargas y funciones de agencia de transporte. No tiene flota propia.

ALMACENISTA-DISTRIBUIDOR: Administra, manipula, custodia y acondiciona mercancías ajenas y las distribuye con medios propios o externos.

A1. Indica cuál es tu régimen de trabajo. *

- Trabajo a tiempo completo para un único cliente
- Trabajo principalmente para un único cliente aunque tengo más clientes
- Trabajo para varios clientes por igual, no tengo uno principal
- Otros regímenes

A2. Por cada 10 cargas que realizas, ¿cuántas te da cada tipo de cliente? *

Si en la anterior pregunta has contestado "trabajo a tiempo completo para un único cliente" indica "9-10" en el tipo de cliente del que se trate y "0" en el resto

	0	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10
Empresas fabricantes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Agencia o transitario	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Empresa de transporte	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Almacenista-distribuidor	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Clientes de bolsas de carga	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

A3. ¿Con cuántos vehículos profesionales propios cuentas? *



A4. Indica el tipo de vehículo(s). *

Puedes marcar más de una opción

- Furgoneta
- Camión rígido
- Cabeza tractora
- Otros

A5. Si trabajas con camión articulado señala con qué tipo de remolque según su propiedad.

Puedes marcar más de una casilla

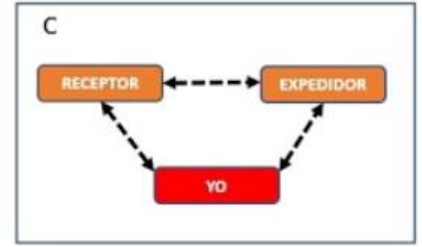
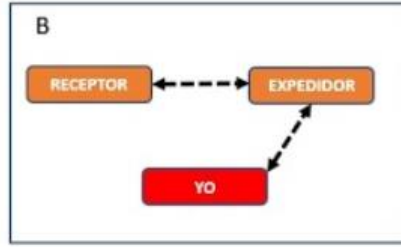
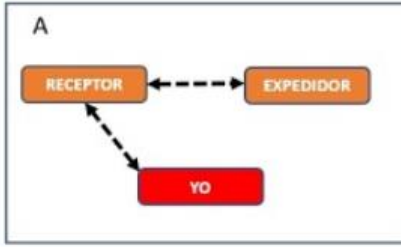
	propio	al enganche	otros modos
Semitrailer	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Refrigerado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Basculante	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cisterna	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Plataforma	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Portacontenedores	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Portacoches	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Otros	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

EN ESTA PARTE TE PEDIMOS MUCHA ATENCIÓN:

Las siguientes figuras representan QUIÉN ESTÁ EN COMUNICACIÓN DIRECTA CON QUIÉN durante una operación de transporte. En los recuadros figuran los agentes implicados, y las flechas indican los canales de comunicación directa* entre agentes. Teniendo en cuenta esto, señala con qué FRECUENCIA se dan los siguientes supuestos en TU DÍA A DÍA.

* Comunicación referida a instrucciones de carga, horarios de recogida o entrega, condiciones de estiba, normas de seguridad, etc... es decir, cualquier información relativa al desarrollo de la operación de transporte.

A6. Operaciones en las que mi cliente es el CLIENTE DIRECTO (expedidor o destinatario). *



nunca a veces a menudo muy a menudo siempre

Estructura A	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Estructura B	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Estructura C	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

A7. Operaciones en las que mi cliente es un INTERMEDIARIO* entre el cliente directo y yo. *

* Intermediario: Cualquier agencia de transporte, empresa de transporte, transitario o almacenista que no sea el propio expedidor de la mercancía.

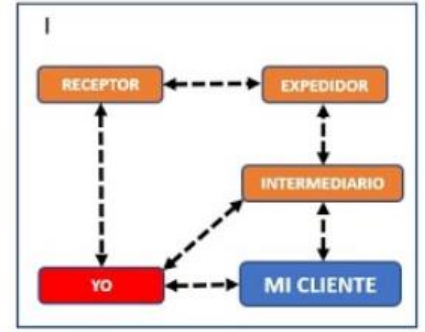
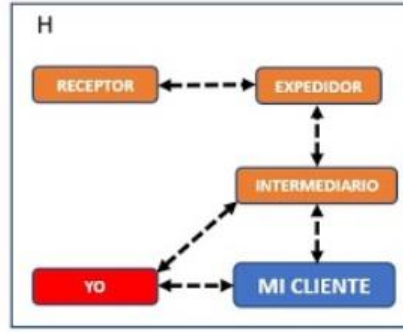


nunca a veces a menudo muy a menudo siempre

Estructura D	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Estructura E	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Estructura F	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

A8. Operaciones en las que hay UN INTERMEDIARIO* entre mi cliente y el cliente directo. *

* Intermediario: Cualquier agencia de transporte, empresa de transporte, transitario o almacenista que no sea el propio expedidor de la mercancía.

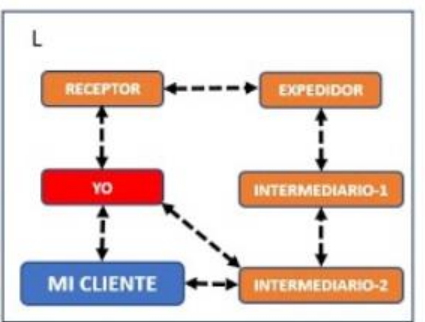


nunca a veces a menudo muy a menudo siempre

Estructura G	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Estructura H	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Estructura I	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

A9. Operaciones en las que hay DOS INTERMEDIARIOS* entre mi cliente y el cliente directo. *

* Intermediario: Cualquier agencia de transporte, empresa de transporte, transitario o almacenista que no sea el propio expedidor de la mercancía.



nunca a veces a menudo muy a menudo siempre

Estructura J	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Estructura K	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Estructura L	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

En este bloque queremos saber algunos datos sobre el proceso de selección.

B1. ¿Cuáles de estos aspectos crees que tus clientes valoran más de ti? *

Indica tu respuesta siendo 1 = nada y 5 = muchísimo

	1	2	3	4	5
Equipamiento adecuado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mi disponibilidad	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mi proximidad geográfica a su empresa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mi capacidad de reacción ante imprevistos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mi precio competitivo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Confianza en mi profesionalidad	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mi reputación en el sector	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mis medidas de seguridad	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mi experiencia anterior	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
La respuesta a incidencias	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

B2. ¿Cuáles de estos aspectos valoras más en tus clientes? *

Indica tu respuesta siendo 1 = nada y 5 = muchísimo

	1	2	3	4	5
Su proximidad geográfica a mi empresa/domicilio	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Puntualidad en los pagos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Equipamiento adecuado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Reputación en el sector	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Disponibilidad de cargas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Respuesta a incidencias	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Medidas de seguridad	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tarifas adecuadas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Experiencia de los operadores	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Confianza en su profesionalidad	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

B3. ¿Cuál es el ámbito de los viajes que realizas normalmente? *

Puedes marcar más de una opción

- Zona corta (Euskadi-Navarra, zona norte, sur de Francia...)
- España-Portugal
- Oeste de Europa (Francia, Benelux, Alemania...)
- Islas británicas
- Este de Europa (Polonia, Chequia, Hungría,...)
- Sur de Europa (Italia, Grecia, Turquía,...)
- Norte de Europa (Escandinavia, países Bálticos,...)
- Norte de África (Marruecos, Argelia,...)

Ya queda poco. Ahora quisiéramos conocer cuál es tu procedimiento habitual de trabajo.

D1. ¿Cuántos viajes realizas de promedio en un mes? *



D2. Señala el ORDEN en el que realizas las siguientes acciones cuando recibes un encargo de transporte de tu cliente. *

	1°	2°	3°	4°	5°
Planifico la ruta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Me dirijo al lugar de carga	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Calculo la rentabilidad del viaje	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Calculo el tiempo de viaje y horario aprox. de llegada al cliente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Compruebo el estado de mi equipamiento	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

D3. Si se da el caso, ¿en cuáles de estos supuestos rechazas realizar una carga que te da tu cliente? *

Puedes marcar más de una opción

- Cuando el precio es muy ajustado
- Cuando los tiempos de espera en origen y/o destino son muy largos
- Cuando la mercancía es muy pesada/voluminosa
- Cuando veo difícil cumplir con la cita de descarga
- Cuando el destino no es de mi agrado
- Cuando la mercancía es muy frágil/valiosa
- En ningún caso

D4. ¿Que modalidad de facturación utilizas normalmente con tu(s) cliente(s)? *

- Precio por km (cargados y vacíos por igual)
- Precio por km (cargados a un precio y vacíos a otro)
- Porcentaje sobre lo cobrado por mi cliente
- Según tarifa fija por destinos
- Precio por tonelada
- Otras

D5. ¿Qué medio utilizas preferentemente para comunicarte con tu(s) cliente(s)? Ordénalos de más a menos utilizado. *

Marca solo un círculo en cada columna y en cada fila.

	1°	2°	3°	4°	5°
Teléfono	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fax	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E-mail	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wath's-up, sms,...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
En persona	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

D6. En una operación habitual, indica el tipo de comunicación que mantienes con cada agente. *

Puedes marcar más de una casilla por fila y columna. * Intermediario = agencia de transportes, transitarios, almacenistas.

	destinatario	expedidor	intermediario*	Empresa transporte	conductor
Aceptar orden de carga	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Confirmando llegada al lugar de carga	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Comunico horario previsto de llegada a destino	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Comunico mi posición durante el viaje	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Confirmando llegada al lugar de descarga	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Confirmando que he descargado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

D7. Cuando te comunicas con tu(s) cliente(s), por regla general ¿cuáles son las dificultades de comunicación más frecuentes? *

	nunca	a veces	a menudo	muy a menudo	siempre
Tardan en responder	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dificultades de idioma	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dan información escasa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dan informaciones erróneas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
No atienden a razones	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
No hay dificultades	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Hemos llegado al final. Solo dos cuestiones más. Necesitamos que nos ayudes a comprender el comportamiento espacial de las empresas del sector a través de la colaboración que estas mantienen entre sí.

Recuerda que la encuesta es totalmente anónima y que las respuestas las verá únicamente el personal investigador autorizado para desarrollar el estudio.

E1. Si de ti dependiera, ¿para cuáles de estas empresas del sector del transporte trabajarías PREFERENTEMENTE si todas tuvieran un perfil similar? *

Contesta teniendo en cuenta que 1 significa "preferencia mínima" y 5 "preferencia máxima"

	1	2	3	4	5
Empresas extranjeras	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Empresas vascas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Empresas del entorno	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Empresas españolas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Empresas de Gipuzkoa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Todas por igual	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

E2. Indica con qué AGENCIAS, TRANSITARIOS, ALMACENISTAS o EMPRESAS DE TRANSPORTE del entorno Euskadi-Navarra-Aquitania trabajas más habitualmente.

Escribe en mayúsculas el nombre de al menos 5 empresas. Si solo trabajas para una indica el nombre y marca "no" en el resto

1. *

2. *

3. *

4. *

5. *

E3. Esto se ha acabado. ¿Qué te ha parecido la encuesta? Nos interesa conocer tu opinión para mejorarla.

Te agradecemos enormemente tu colaboración con esta investigación. Recibe un cordial saludo de parte del equipo investigador y de la Fundación Guitrans Fundazioa.