



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID



TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN COMERCIO

Año Académico 2024-25

TÍTULO: Innovaciones Tecnológicas en el Sector Automotriz. El Impacto de la Industria 4.0 en Eficiencia y Sostenibilidad.

AUTOR/A: Óscar Rodríguez Gaez

TUTOR/A: Pedro Emilio Colina Morales

Convocatoria: 14/05/2025

Resumen

La transformación digital se ha implantado rápidamente y con fuerza en todos los sectores económicos, y el automovilístico no iba a ser menos. Este trabajo consta de una investigación en profundidad de la Industria 4.0 aplicada al ámbito del automovilismo, en él no solo se incluyen procedimientos teóricos, sino también el análisis del impacto real en los procesos de producción, diseño y sostenibilidad llevados a cabo en las fábricas inteligentes, a través de una revisión sistemática de la literatura y la búsqueda de artículos recientes.

La importancia del tema consta en cómo se ha transformado y evolucionado el transporte en vehículos, gracias a la integración de nuevas tecnologías como la Inteligencia Artificial, el Internet de las Cosas, etc. Los fabricantes han adoptado estas tecnologías como una gran oportunidad al igual que como un reto para afrontar la nueva era industrial, con un enfoque especial a la evolución de los modelos de negocio, las relaciones con consumidores y nuevas competencias.

Las aportaciones del estudio cuentan con aspectos para entender las dinámicas y operaciones actuales y las futuristas del sector automotriz, es decir, con el objetivo de buscar el sentido a la dirección propuesta con estas innovaciones tecnológicas.

Palabras clave: Sector automotriz, Industria 4.0, Nuevas tecnologías, Innovación tecnológica, Sostenibilidad.

Abstract

Digital transformation has rapidly and forcefully taken hold across all economic sectors, and the automotive industry is no exception. This work consists of an in-depth investigation into industry 4.0 as applied to the automotive field. It includes not only theoretical procedures but also an analysis of the real impact on production processes, design and sustainability carried out in smart factories, through a systematic literature review and the search for recent articles.

The importance of the topic lies in how transportation by vehicle has been transformed and evolved thanks to the integration of new technologies such as Artificial Intelligence (AI), the Internet of Things (IoT) and others. Manufacturers have embraced these technologies both as a major opportunity and as a challenge to face the new industrial era, with particular focus on the evolution of business models, consumer relationships, and new competencies.

The study's contributions include insights to understand both the current and futuristic dynamics and operations of the automotive sector, with the aim of seeking meaning in the direction proposed by these technological innovations.

Key words: Automotive sector, Industry 4.0, New technologies, Technological innovation, Sustainability.

ÍNDICE

1. Introducción	5
1.1. Justificación del estudio	5
1.2. Objetivos del estudio	5
2. Metodología	6
3. Marco teórico	7
3.1 Concepto y evolución de la Industria 4.0.....	7
3.2 Principales tecnologías de la industria 4.0	9
3.3. Industria 4.0 en el sector automotriz.....	11
3.4 Innovación tecnológica	17
4. Impacto de la innovación tecnológica en la Industria 4.0 (Innovation Management)	20
4.1. Desarrollo de vehículos inteligentes y conectados	20
4.2. Avances en la fabricación de automóviles eléctricos y autónomos.....	24
4.3. Innovaciones en materiales y diseño para el rendimiento y sostenibilidad	28
4.4. Innovaciones tecnológicas en competiciones automovilísticas.....	32
5. Conclusiones	34
6. Futuras líneas de investigación	35
7. Limitaciones del estudio	36
8. Bibliografía	37
9. Anexos	41

1. Introducción

1.1. Justificación del estudio

La justificación de mi investigación y estudio surge del creciente protagonismo y auge que ha caracterizado en la última década a la innovación tecnológica, siendo el sector automovilístico uno de los más destacados y representativos por toda su complejidad y el impacto que realiza sobre la sociedad y la economía. Desde hace pocos años, la Industria 4.0 ha dejado de verse como un simple concepto futurista, sino que ya se ha convertido en el presente en nuestro día a día, afectando a la experiencia de los consumidores, a la forma de trabajar en las fábricas, en los procesos productivos, en definitiva, algo tan presente en nuestras vidas siempre es necesario investigarlo para entender su función y cómo nosotros podemos adaptarnos a ellas (las nuevas tecnologías). Es especialmente interesante ver cómo tecnologías como el Internet de las Cosas, la Inteligencia Artificial, la fabricación aditiva o el Big Data, han sido incorporadas o añadidas con rapidez tanto por empresas tradicionales como por empresas emergentes, creando no solo ventajas competitivas, sino también nuevos desafíos.

Además, este tema me permite enlazar áreas importantes que están relacionadas, como lo son la innovación, la sostenibilidad con el medio ambiente y la gestión empresarial, que se encuentra en constante evolución por la implementación de muchos cambios. Quiero comprender cómo se ha realizado esta transformación y que oportunidades implican todas estas evoluciones para el futuro del sector automotriz.

1.2. Objetivos del estudio

El primero de los objetivos que se analizan en este trabajo de investigación es la rápida evolución que se ha llevado a cabo en el sector automovilístico durante la última década gracias a la implantación de nuevas tecnologías en la Industria 4.0, y que han provocado cambios durante los procesos productivos, en los diseños o estructuras de vehículos, en la comercialización y modelos de negocio y en la sostenibilidad medioambiental con la reducción de gases.

Después, identificar estas nuevas tecnologías implementadas que han logrado transformar las cadenas de valor y que afectan a los procesos de fabricación para saber las funciones que realizan cada una de ellas, es decir, se trata de entender cómo la industria ha evolucionado en los últimos 10 años gracias a la digitalización, la automatización y la inteligencia de los datos.

Otro de los principales propósitos es entender para qué se han aplicado todas las innovaciones y qué razones estratégicas motivan a las empresas a adoptar estas tecnologías.

Por otro lado, busco detectar cuáles son los principales desafíos técnicos o barreras tanto económicas como humanas, que se han encontrado las empresas del sector a la hora de digitalizarse, las innovaciones no significan que deban tener solamente puntos positivos, en la mayoría de las ocasiones también se encuentran problemas.

Y, por último, plantear una reflexión a través de las conclusiones extraídas gracias a la información recopilada sobre cómo esta revolución seguirá transformando la industria del automovilismo, con el objetivo de buscar una tendencia futurista y poder anticipar los posibles efectos a las nuevas adaptaciones con el entorno global y la competitividad que llevaría todo aquello en el sector.

2. Metodología

Mi metodología para realizar este trabajo se ha basado en una revisión sistemática de la literatura, que consiste en una investigación donde se recopilan y evalúan de manera rigurosa todos los estudios relevantes al objetivo de investigación específico, para proporcionar una buena información con una visión completa y objetiva de los conocimientos sobre el tema.

El software de búsqueda que utilicé para encontrar la información se trata de Web Of Science (WOS), aplicando distintos filtros adaptados a mis necesidades de búsqueda, como, por ejemplo; los años de publicación, hace una década aproximadamente que comenzó la revolución industrial con las nuevas tecnologías; exclusivamente artículos que hayan sido revisados y contrastados; las áreas de investigación relacionadas con la ingeniería y economía empresarial; y exclusivamente del idioma inglés.

A partir de los filtros busqué por palabras clave que me interesasen y así encontrar directamente artículos que me relacionen la información con lo que yo estoy buscando.



Se trata de una imagen donde muestro mi motor de búsqueda y los filtros que he implementado para el proceso de investigación. He añadido varias palabras para que encuentre artículos que

hablen sobre los 3 temas. En este caso me ha encontrado 29 artículos posibles que pueden encajar con mis propósitos, y, por último, puedes ordenar estos artículos según el número de citas o referencias que haya tenido y de esa manera evaluar mejor los resultados para obtener una mejor calidad de la información encontrada.

3. Marco teórico

3.1 Concepto y evolución de la Industria 4.0

La Industria 4.0 es un conjunto de tecnologías de sistemas de producción integrados con procesos de producción inteligentes que establecen las bases de una nueva era tecnológica que revolucionará radicalmente las cadenas de valor de la industria, las cadenas de valor de la producción y los modelos de negocio (Zhong et al., 2017).

El término Industria 4.0 surge a partir de una iniciativa lanzada por el gobierno alemán con el objetivo de salvaguardar la competitividad a largo plazo de la industria manufacturera. Con la integración de sistemas ciberfísicos (CPS) en la fabricación industrial, la Industria 4.0 se marca el objetivo de establecer la creación de valor industrial inteligente, autorregulada e interconectada. (Müller et al., 2018)

Los CPS comprenden máquinas inteligentes, sistemas de almacenamiento e instalaciones de producción, que pueden intercambiar información, iniciar acciones y controlarse mutuamente. (Müller et al., 2018)

La fabricación inteligente utiliza las tecnologías avanzadas tanto de información como de fabricación para lograr procesos de fabricación flexibles, inteligentes y reconfigurables con el fin de abordar un mercado dinámico y global. Hace posible que todos los procesos físicos y flujos de información estén disponibles en el momento adecuado y donde se necesiten en las cadenas de suministro de fabricación holísticas, múltiples industrias, pequeñas y medianas empresas (PYME) y grandes empresas. (Zhong et al., 2017)

Además, estamos viviendo una época de cambios continuos impulsada por la irrupción de las tecnologías digitales, que están transformando el funcionamiento del mercado y de las empresas en general. Esto genera un impacto disruptivo respecto a los procedimientos tradicionales en cuanto a la forma de producir e intercambiar productos, así como en la gestión de negocios y la obtención de beneficios para productores y consumidores. (Llopis-Albert et al., 2021) La digitalización traerá mejoras significativas a la cadena de valor al impulsar eficiencias, reducir costos y generar mayor colaboración e innovación. Permitirá evolucionar desde enfoques de empresa a empresa a través de sus concesionarios a un modelo de empresa a consumidor, con

nuevas formas de relacionarse con los clientes y asociaciones con proveedores que interactúan a través de datos. (Llopis-Albert et al., 2021)

Las estrategias de transformación digital son fundamentales porque reflejan cómo los cambios provocados en las tecnologías digitales afectan a una organización entera. Por lo tanto, las organizaciones están obligadas y se ven con la necesidad de cambiar sus modelos de negocio tradicionales, que se han mantenido sólidos durante décadas, los cuáles actualmente se quedan anticuados y también deben transformar sus organizaciones para adaptarse a estas tendencias, como las plataformas de coche compartido o los nuevos servicios telemáticos. (Llopis-Albert et al., 2021)

Durante la última década, el uso y el desarrollo de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en el entorno de la industria se ha vuelto imprescindible. La incorporación del Internet de las Cosas (IoT) en la industria impulsó nuevos retos en el ámbito logístico, que podrían requerir cambios tecnológicos como: una mayor transparencia (visibilidad de la cadena de suministro); control de integridad (productos correctos, en el momento, lugar, cantidad y precio adecuados) en las cadenas de suministro. (Barreto et al., 2017)

Por una parte, la calidad de los cambios se centra en que todo el proceso de producción se gestiona y controla de forma integrada, combinada y flexible. Para mantenerse competitivas en un entorno globalizado, las empresas manufactureras necesitan evolucionar continuamente sus sistemas de producción y adaptarse a las cambiantes demandas del mercado. Estos, a su vez, generan un impacto significativo en la industria y los mercados, al mismo tiempo que afectan a todo el ciclo de vida del producto, aportando un nuevo medio de producción y de realización de negocios, lo que permite optimizar los procesos y aumentar la competitividad de las empresas. (Nagy et al., 2018)

Las computadoras, la automatización y los robots ya existían tiempo atrás, pero las oportunidades que ofrece Internet revolucionaron su uso y las oportunidades que brindan, ya que supuso una gran mejora en la utilidad de estos aparatos electrónicos. Las soluciones cada vez más económicas nos permiten monitorear las actividades, el funcionamiento y los procesos de máquinas, los materiales, trabajadores e incluso los propios productos, y recopilar, analizar y utilizar datos en la toma de decisiones en tiempo real. (Nagy et al., 2018)

La forma en que estos se recopilan, analizan y utilizan para tomar decisiones acertadas y desarrollarse se han convertido tanto en un factor competitivo como imprescindible. Por lo tanto, la fuente de la ventaja competitiva no solo residirá en la producción coordinada o

completamente nueva, sino también en la integración de servicios digitales en los productos, es decir, cómo las empresas filtran la información relevante de los datos generados para respaldar la toma de decisiones. (Nagy et al., 2018)

Se puede llegar a la conclusión de que el término Industria 4.0 hace referencia a diferentes cambios en los sistemas de fabricación, impulsados principalmente por las Tecnologías de la Información (TI). Estos avances tienen implicaciones no solo tecnológicas, sino también organizativas versátiles. Se espera que los usuarios de tecnología de la Industria 4.0 a nivel empresarial aumenten la utilización de su capacidad y comercialicen sus nuevos productos más rápidamente, en línea con las necesidades cambiantes, ya que el potencial de esta tecnología es muy grande. (Nagy et al., 2018)

3.2 Principales tecnologías de la industria 4.0

Dada la profunda integración de la Industria 4.0, es importante contar con un marco genérico para la fabricación inteligente, ya que la ciencia y la tecnología de fabricación, las TIC y la tecnología de sensores estarán altamente integradas en el futuro. Este marco genérico estará presente en muchas áreas que serán de fácil utilidad en distintas empresas para que la implementación de la fabricación inteligente pueda sentar las bases y estandarizarse. Tecnologías típicas como sensores avanzados y estándares de comunicación inalámbrica... modelos y algoritmos de procesamiento de big data, y aplicaciones serán integradas en este marco. De este modo, se desarrollará una arquitectura jerárquica inteligente como base para la Industria 4.0. (Zhong et al., 2017)

Por lo tanto, la implantación de la industria 4.0 en las empresas ha logrado transformar los modelos de negocio de las empresas manufactureras, del mismo modo que lo seguirá haciendo gracias a las innovaciones. Estas tecnologías pueden respaldar la flexibilidad, la eficiencia y la productividad de la producción mediante diversas tecnologías emergentes de comunicación, información e inteligencia. Las tecnologías de la Industria 4.0 incluyen, entre otras, la fabricación aditiva, la inteligencia artificial, el big data y el análisis, la cadena de bloques, la nube, el internet industrial de las cosas y la simulación. Estas tecnologías de la Industria 4.0 es posible que generen un enorme crecimiento en innovación y competitividad; también podrán mejorar la sostenibilidad del sistema industrial actual. (Bai et al., 2020)

Las tecnologías de la Industria 4.0 pueden agruparse en tecnologías físicas y digitales. Las tecnologías físicas se refieren principalmente a tecnologías de fabricación como la fabricación aditiva o sensores y drones. (Bai et al., 2020)

Fabricación aditiva (Impresión 3D): Es una tecnología de fabricación que crea objetos sólidos tridimensionales (3D) utilizando una serie de marcos de desarrollo aditivos o en capas. (Bai et al., 2020)

Las tecnologías digitales se refieren principalmente a las tecnologías modernas de la información y la comunicación, como la computación en la nube, la cadena de bloques (blockchain), el análisis de big data, la inteligencia artificial y el internet industrial de las cosas. (Bai et al., 2020)

Big data y análisis: Se refiere a la estrategia de analizar grandes volúmenes de datos que se utilizan cuando las técnicas tradicionales de minería y manejo de datos no pueden descubrir la información y el significado de los datos subyacentes. (Bai et al., 2020)

Cadena de bloques (Blockchain): Es una base de datos distribuida que mantiene una lista de registros completamente distribuida, sin manipulaciones y en continuo crecimiento utilizando nueva tecnología de encriptación y autenticación y un mecanismo de consenso de toda la red. (Bai et al., 2020)

Inteligencia artificial: Es un área de la ciencia informática que enfatiza la creación de máquinas inteligentes que trabajan y reaccionan como los humanos. (Bai et al., 2020)

Nube: Se refiere a cualquier servicio de TI que se aprovisiona y al que se accede desde un proveedor de computación en la nube. (Bai et al., 2020)

Internet industrial de las cosas: Son varios conjuntos de piezas de hardware que trabajan juntas a través de la conectividad de Internet de las cosas para ayudar a mejorar los procesos industriales y de fabricación. (Bai et al., 2020)

La IA cumple con un papel esencial en un IMS al aportar funciones típicas como el aprendizaje, el razonamiento y la acción. Con el uso de la tecnología de IA, se puede reducir la intervención humana en un IMS. Con la IA los trabajos se realizarán de una forma más eficiente y efectiva, ahorrando tiempo en cada tarea. Por ejemplo, los materiales y las composiciones de producción se pueden organizar automáticamente, y los procesos de producción y las operaciones de fabricación se pueden supervisar y controlar en tiempo real. (Zhong et al., 2017)

La fabricación habilitada para IoT (Internet of Things) significa un principio avanzado en el que los recursos de producción tradicionales se convierten en objetos de fabricación inteligentes (SMO) que pueden detectar, interconectarse e interactuar entre sí para llevar a cabo de forma automática y adaptativa las lógicas de fabricación. Dentro de los entornos de

fabricación habilitados para IoT, se realizan conexiones de persona a persona, de persona a máquina y de máquina a máquina para la percepción inteligente. Por lo tanto, el uso a demanda y el uso compartido eficiente de recursos pueden habilitarse mediante la aplicación de tecnologías de IoT en la fabricación. El IoT es considerado un concepto de fabricación moderno bajo la Industria 4.0. (Zhong et al., 2017)

La fabricación habilitada para IoT presenta la recopilación y el intercambio de datos en tiempo real entre varios recursos de fabricación, como máquinas, trabajadores, materiales y trabajos. (Zhong et al., 2017)

En general, el IoT puede ofrecer conectividad avanzada de objetos físicos, sistemas y servicios, lo que permite la comunicación de objeto a objeto y el intercambio de datos. Todo esto permite interactuar de una forma más automatizada. En varias industrias, el control y la automatización de la iluminación, la calefacción, el mecanizado, las aspiradoras robóticas y la monitorización remota se pueden lograr mediante el IoT. (Zhong et al., 2017)

La fabricación en la nube se refiere a un modelo de fabricación avanzado basado en la computación en la nube, el Internet de las Cosas (IoT), la virtualización y las tecnologías orientadas a servicios, tratan de forma digital datos de todo tipo, que transforma los recursos de fabricación en servicios que pueden compartirse y distribuirse de forma integral. (Zhong et al., 2017)

En la fabricación en la nube, diversos recursos y capacidades de producción pueden detectarse y conectarse inteligentemente a la nube. Las tecnologías del IoT, como RFID y códigos de barras, pueden utilizarse para gestionar y controlar automáticamente estos recursos, de modo que puedan digitalizarse para su uso compartido. Las tecnologías orientadas a servicios y la computación en la nube son los pilares de este concepto. El objetivo de estas innovaciones es transformar los procesos en un mundo más digitalizado. Como resultado, los recursos y capacidades de fabricación pueden virtualizarse, encapsularse y distribuirse en diversos servicios a los que se puede acceder, invocar e implementar. (Zhong et al., 2017)

3.3. Industria 4.0 en el sector automotriz

El efecto disruptivo de la digitalización también ha llegado a la industria automotriz y constituye el fenómeno más importante en sus 140 años de historia, marcando un antes y un después en los procesos mecánicos y de fabricación. La transformación digital, la globalización y una competencia más intensa están marcando el camino. Los factores que afectan a la industria automotriz, con creciente influencia y complejidad, son diversos. Estos factores

incluyen, en particular, la globalización, que brinda a los fabricantes la oportunidad de expandirse a nuevos mercados de una forma más sencilla y accesible, la diversificación de los consumidores y la modificación y diversificación acelerada de los productos. La diversificación de los consumidores contribuirá a nuevos patrones de comportamiento y a la necesidad de satisfacer sus gustos de forma individual, mientras que la diversificación de productos implicará la reducción del ciclo de vida de los modelos para reaccionar a la rápida y cambiante demanda de los consumidores con productos innovadores, es decir, los procesos de negocio están en constante cambio adaptándose a las necesidades del mercado en cualquier momento. El ciclo de vida promedio de un vehículo solía ser de ocho años, mientras que hoy en día los fabricantes han cambiado y modificado sus modelos en un espacio de 3 años. (Llopis-Albert et al., 2021)

En la última década, el crecimiento del mercado automotriz, gracias a la tecnología, ha sido notable en los sectores económico, automotriz y tecnológico. Junto a este creciente reconocimiento, surge el llamado Internet de los Vehículos Inteligentes (IoIV) como una evolución del Internet de las Cosas (IoT) aplicado al sector automotriz. El Internet de los Vehículos Inteligentes (IoIV) pretende ofrecer una serie de nuevos servicios, tales como: sistemas de gestión de flotas, mejora de la seguridad de los vehículos, consumo eficiente de energía/combustible, planificación del tráfico, reducción de accidentes y, en otro frente tecnológico, una herramienta importante para la operación de vehículos autónomos. En estrecha relación con el IoIV, surge el concepto de Internet Industrial de las Cosas (IIoT), que representa la revolución actual en la automatización industrial. El IIoT, a su vez, se relaciona con el concepto de Industria 4.0, que se utiliza para representar la Revolución Industrial actual. (Silva, 2018)

Los vehículos fabricados hoy en día llevan incorporados varios sensores que permiten monitorizar numerosas características, como la velocidad, la temperatura del motor, el funcionamiento de los frenos y otros datos, actualmente de una forma más eficiente y fiable para aportar mayor seguridad en el vehículo. La mayoría de estos vehículos pueden conectarse a diversos tipos de dispositivos (sensores, teléfonos, cámaras), protocolos de comunicación inalámbrica y medios de difusión. En este contexto, se observa que los datos brutos de estos dispositivos y sistemas del vehículo pueden ser extraídos por el propio vehículo de forma automatizada. Todos los datos pueden ser explotados para interacciones en un nuevo contexto de procesamiento y comunicación, revolucionando la forma en que se utilizan los vehículos. De hecho, dichas interacciones ocurren en la perspectiva del Internet de las Cosas (IoT), que permite el intercambio de flujo de información entre objetos y plataformas, promoviendo

modelos de negocio innovadores y nuevas experiencias de usuario a través de una fuerte conectividad. (Silva, 2018)

Si bien el concepto de fábrica inteligente ha evolucionado con el tiempo, hoy está altamente digitalizado e interconectado, respaldado por las tecnologías emergentes de la información y la comunicación (TIC), e involucra la operación de los llamados sistemas ciberfísicos (CPS). Con la llegada del mantenimiento predictivo (PdM) y el mantenimiento basado en la condición (CBM) en el contexto de Industria 4.0, todo el proceso cambió, creando nuevos desafíos y oportunidades. El CBM consta de tres pasos principales: adquisición de datos, procesamiento de datos y toma de decisiones de mantenimiento, y el PdM tiene como objetivo monitorizar y analizar la evolución del estado de degradación de una máquina, siendo posible identificar, de forma anticipada, la necesidad de intervenciones de mantenimiento antes de que se produzcan fallos de funcionamiento. (Fernandes, 2021)

Los paradigmas de fabricación modernos, como la Manufactura de Valor Añadido y la Manufactura Basada en el Conocimiento, se caracterizan principalmente por el hecho de que la producción se basa cada vez más en sistemas integrados de tecnologías de la información, lo que hace que los sistemas de fabricación sean más autónomos, flexibles y configurables, con el objetivo de reducir los tiempos de fabricación y entrega al cliente. Las mega tendencias impulsan nuevas tecnologías y procesos de fabricación a una velocidad sin precedentes. La manufactura aditiva y el procesamiento de materiales ligeros son solo dos ejemplos representativos de tecnologías que enfrentan a las industrias manufactureras a desafíos nuevos y complejos. Ahora más que nunca, estas industrias deben invertir tempranamente en conocimientos técnicos e infraestructura para implementar tecnologías de producción y adaptarlas oportunamente tanto al rápido desarrollo tecnológico como a los requisitos de los productos en constante evolución. (Flatscher & Riel, 2016)

Aquí, el uso de técnicas de inteligencia artificial (IA) y algoritmos avanzados son cruciales para recopilar e interpretar los datos adquiridos del mundo físico, es decir, de las máquinas. El conocimiento adquirido, a menudo resultante del análisis de grandes volúmenes de datos, es instrumental para respaldar el proceso de toma de decisiones. De hecho, el objetivo es que las máquinas alcancen una capacidad de autodecisión para identificar directamente qué problemas ocurren y cuándo es necesario reemplazar los componentes, esta evolución se ha acelerado en los últimos años después del COVID, digitalizando muchos procesos, por lo que se han vuelto necesarias dichas innovaciones. La Industria 4.0 puede, por lo tanto, mejorar la toma de decisiones de mantenimiento mediante el empleo de sensores industriales y tecnología de big

data, lo que puede conducir a un sistema de información más receptivo. Su aplicación a la industria automotriz es de suma importancia, ya que esta industria tiene que cumplir con indicadores clave de rendimiento (KPI) para controlar el rendimiento general de la fabricación. De hecho, la industria automotriz invierte cantidades significativas en nuevas tecnologías y automatización para lograr plazos de entrega cortos, estándares de alta calidad y altos niveles de competitividad. (Fernandes, 2021)

Las empresas manufactureras deberían priorizar el fortalecimiento de las capacidades de robótica y automatización industrial, a la vez que desarrollan sistemas de apoyo a la toma de decisiones basados en datos mediante la aplicación de la Inteligencia Artificial (IA) y el Aprendizaje Automático (AA) para el control proactivo de procesos y la medición y mitigación del impacto ambiental. (Milosavljevic, 2024)

Puede ser interesante desarrollar nuevas dinámicas en la industria automotriz mediante la aplicación de tecnologías de IA (es decir, aprendizaje automático) para que las máquinas aprendan de los datos recopilados y predigan qué sucederá en momentos futuros, en lugar de que las acciones estén totalmente programadas y controladas por humanos. Otra alternativa podría ser la inclusión de un sistema híbrido, donde las máquinas basadas en IA realizan tareas analítico-cognitivas basadas en la recopilación de un gran volumen de datos. Mientras que, en la primera etapa, los ingenieros industriales pueden encargarse del proceso de toma de decisiones, las máquinas pueden desarrollar la capacidad de aprender y actuar en las fases posteriores. (Fernandes, 2021)

Hoy en día, las tecnologías digitales en los vehículos representan al menos el 50% del valor total de un vehículo. La integración de software y hardware ha incrementado no solo la funcionalidad de un coche, sino también su complejidad. Se han identificado aspectos clave que contribuyen a acelerar el proceso de digitalización del sector de la automoción, como la conectividad del conductor, los servicios basados en la ubicación y la tipología del conductor según sus gustos y preferencias, una característica que no existía hace 20 años. Otro aspecto clave es la conducción autónoma, donde los conductores solo necesitarán pulsar un botón para ir a su destino, aunque todavía sigue desarrollándose en aspectos de seguridad, porque en principio no llegan a aportar la confianza suficiente al conductor, por desconocimiento. En este sentido, se pueden destacar la conducción asistida y la conducción autónoma. La conducción asistida abarca las funciones de asistencia al conductor, que serán cada vez más comunes hasta que el conductor se convierta en un elemento pasivo en el proceso de transporte, mientras que

la conducción autónoma implica que los vehículos sean capaces de moverse y navegar por sí solos en condiciones de tráfico adecuadas en todo tipo de carreteras. (Llopis-Albert et al., 2021)

También deben considerarse otros factores en la transformación digital de la industria automotriz. El efecto en el minorista, que abarca a fabricantes, personal de ventas y consumidores, está redefiniendo dinámicamente la forma en que interactúan y se comunican entre sí, es decir, se ha encontrado una mejora en la comunicación para un aumento de la rentabilidad y el rendimiento. Además, los clientes esperan una interacción fluida, tanto física como digital, al comprar productos o servicios, por lo que las empresas deberán adaptarse a las necesidades y exigencias de los consumidores. El mantenimiento y los servicios conectados, que proporcionarán mantenimiento predictivo, son sistemas de diagnóstico sofisticados. Por ejemplo, los componentes inteligentes y la conectividad ubicua permitirán que ciertos componentes envíen una señal cuando necesiten mantenimiento o reemplazo. La transformación digital en el mercado de posventa facilitará las actualizaciones de hardware y software, pero los fabricantes y proveedores deben hacer que sus sistemas sean compatibles. El mercado de datos de automóviles también será un factor clave, donde la promesa comercial de ofertas más precisas para los clientes, nuevos modelos de negocio y una mayor eficiencia a partir de datos y análisis convertirán a estos nuevos negocios en una verdadera mina de oro para las empresas del sector automotriz. (Llopis-Albert et al., 2021)

Las empresas contemporáneas tratan con desafíos como por ejemplo las transformaciones en el entorno laboral, escasez de personal calificado, infraestructura técnica y tecnológica avanzada y experiencia. El rompecabezas de priorizar y agilizar las inversiones presenta un desafío de múltiples parámetros, considerando los problemas mencionados anteriormente en el contexto de los requisitos distintivos relacionados con el proceso dentro de la cadena de valor, al igual que se ha producido una evolución digital, la sociedad también tiene que dar el paso hacia delante y adquirir nuevos conocimientos para formarse bien. Esto plantea la pregunta de por qué, a pesar del entusiasmo inicial, la proliferación de facilitadores de la Industria 4.0 se está estancando actualmente. (Milosavljevic, 2024)

La industria automotriz es uno de los sectores manufactureros más grandes y competitivos, que ejerce una influencia considerable en el avance de la tecnología y hace contribuciones sustanciales a la economía y la sociedad globales. La industria automotriz está a la vanguardia de la transformación digital industrial y está en posición de implementar, probar, validar y verificar los méritos de esta transformación durante todo el ciclo de vida del producto. Es un sector en el que se requiere mucha investigación y conocimiento para la aplicación de las nuevas

tecnologías. Su capacidad para mostrar los beneficios y riesgos de esta inminente revolución industrial, frente a la escala y la complejidad del nexo automotriz, proporciona una valiosa oportunidad de aprendizaje para observadores, profesionales e investigadores por igual. (Milosavljevic, 2024)

Por lo tanto, es crucial diseñar específicamente la estrategia de transformación digital dentro del modelo de negocio, que incluyen las cadenas de suministro, considerando las capacidades financieras, tecnológicas y operativas, así como los factores ambientales. Los resultados del estudio (**Figura 1**) muestran las tendencias de investigación entre los términos de búsqueda observados, abarcando tecnologías, tendencias y correlaciones, no sería prudente ignorar la interdependencia mutua que ha generado un creciente interés entre los investigadores en la Industria 4.0 y sus implicaciones en la gestión de la cadena de suministro. A su vez, es necesario diseñar una gestión y priorización eficaz de los recursos para la ejecución de las estrategias digitales. Las puntuaciones medias generales (**Figura 2**) reflejan el interés por la inteligencia artificial (IA) como la más alta (41,6%), seguida del Internet de las cosas (IoT) (19,9%), la computación en la nube (CC) (15%), el análisis de Big Data (BDA) (5,9%), la ciberseguridad (5,3%), los robots autónomos (4,3%), la realidad aumentada (RA) (4,2%) y la fabricación aditiva (FA) (3,7%). Sin embargo, al analizar la cadena de suministro automotriz, se hace evidente que la mayoría de las empresas dentro de este nexo aún carecen de las capacidades necesarias para acelerar la transformación digital. El crecimiento desigual de la Industria 4.0 entre las pequeñas y medianas empresas (PYME) depende de la capacidad financiera y humana en cuanto a la estrategia digital. (Milosavljevic, 2024)

Otro punto para destacar importante dentro de la industria 4.0 es la fabricación aditiva. La fabricación aditiva (AM) consiste en la creación de objetos capa por capa desde cero a través de modelos digitales y ha aumentado el atractivo entre fabricantes, científicos, investigadores, industrias y clientes, gracias a su flexibilidad y simplicidad se utiliza en muchos campos. Se puede utilizar para crear productos totalmente personalizados, para la optimización topológica y para formar un diseño complejo y para componentes metálicos. Los conceptos de prototipo rápido e impresión 3D comenzaron a finales del siglo XX y han comenzado a esforzarse por el proceso convencional a partir del rendimiento extraordinario del material, acabado superficial excepcional, podría brindar buenas oportunidades en la fabricación avanzada. (Gobena & Woldeyohannes, 2024)

Como resultado, la impresión 3D se ha convertido en un proceso de fabricación apropiado. Dado que tiene una gran capacidad para crear objetos y formas sofisticadas, según

investigadores recientes, este método de fabricación ahorra tiempo, es rentable y eficiente en el proceso, libre de emisiones y respetuoso con el medio ambiente. (Gobena & Woldeyohannes, 2024)

En el siglo XXI, la fabricación rápida y la satisfacción del cliente se ha convertido en un criterio y supone uno de los factores más imprescindibles en el mercado, lo que proporciona una importante ventaja competitiva. En la industria automotriz, el diseño y el desarrollo, la entrega y la flexibilidad en la producción son las principales preocupaciones. Por lo tanto, la fabricación avanzada se utiliza para acelerar el proceso mediante la optimización y personalización del proceso de producción. (Gobena & Woldeyohannes, 2024)

Los resultados muestran cómo la transformación digital ha revolucionado rápidamente el panorama global de la industria automotriz. En consecuencia, se presentarán las medidas a adoptar para favorecer el proceso de digitalización y, en última instancia, la eficacia de los procesos de producción, ventas y conectividad con el usuario/cliente. (Llopis-Albert et al., 2021)

3.4 Innovación tecnológica

Algunos académicos han señalado que ninguna innovación tecnológica existe de forma aislada y que toda innovación depende de los comportamientos de otras innovaciones tecnológicas; cada innovación se beneficia de las interacciones con otras innovaciones para lograr la coevolución, debe existir una relación entre ellas para lograr una evolución con un trabajo más eficaz. La integración de robots industriales y la tecnología de fabricación tradicional en sí misma es un tipo de innovación tecnológica, que seguramente impactará en la GTI (Innovación Tecnológica Global) en la industria manufacturera. (Lee et al., 2022)

Con la aplicación de robots industriales, se puede generar, compartir e intercambiar conocimiento e información de producción de forma económica y en tiempo real. Como se muestra en **Figura 3**, la aplicación de robots industriales (IRA) ha aumentado año tras año desde 1993, alcanzando 2.282.348 unidades en 2019. Además, el número de patentes verdes en los sectores manufactureros durante este período también mostró una tendencia ascendente constante, con una tasa de crecimiento anual promedio que alcanzó el 18,02%. En este contexto, confiar en los robots industriales y la innovación en tecnología verde para promover la modernización baja en carbono de los sectores manufactureros se ha convertido en la clave para lograr un crecimiento económico verde. Con la ayuda de la tecnología robótica industrial, las empresas manufactureras pueden asignar recursos y factores de producción de forma más

eficiente, obtener más información y conocimiento de producción, aumentar las reservas de información y conocimiento de la innovación de procesos y productos ecológicos, y así promover la innovación tecnológica global (GTI), también se ha tenido que ver modificada la forma en la que los empleados trabajan en fábricas, porque hay distintos procesos en los que solo pueden trabajar los robots industriales, por lo que existe una alta dependencia hoy en día a estas máquinas en algunos sectores. (Lee et al., 2022)

Estudios previos han demostrado que la inversión en I+D (Investigación y Desarrollo) es una condición necesaria para las actividades de innovación de las empresas, y las actividades de I+D incluyen principalmente gastos y personal de I+D. La innovación tecnológica global está estrechamente relacionada con la inversión en I+D verde. En primer lugar, la inversión en I+D verde anima a las empresas a desarrollar recursos y capacidades únicos, aumentando así la innovación tecnológica global y mejorando el rendimiento financiero y medioambiental. En segundo lugar, la inversión en I+D verde es beneficiosa para las empresas, ya que les permite absorber la difusión del conocimiento externo y mejorar su capacidad para participar en la innovación tecnológica global. Por lo tanto, la inversión en gastos y personal de I+D verde puede promover la GTI. Con la mejora de las ganancias de la empresa, a su vez, una empresa aumenta sus gastos de I+D y las inversiones en talentos de I+D, promoviendo la innovación tecnológica en las empresas manufactureras. Todo esto termina siendo un círculo repetitivo con el objetivo de no frenar el proceso, es decir, cuanto más inversión y gasto en I+D, mayor innovación y avances se lograrán, y a su vez, mayores recursos se conseguirán para seguir invirtiendo. (Lee et al., 2022)

Todo este proceso por el cual se desarrolla la tecnología rápidamente para cumplir con funciones de producción necesita ser constantemente revisado y gestionado de una manera eficiente.

La tecnología IoT se muestra como una de las innovaciones con mayor potencial que se prevé que cambien el orden de la vida humana y la industria manufacturera. En la actualidad, varios dispositivos, incluyendo el Internet de las Cosas (IoT), pueden conectarse y comunicarse entre sí e intercambiar datos a través de una conexión a Internet. La Revolución Industrial 4.0, representada por el uso de la tecnología IoT en sistemas ciberfísicos, es un factor importante que cambiará significativamente el desempeño económico a nivel global. IoT es una herramienta útil para monitorear la producción y la programación en las empresas; por lo tanto, puede lograr una mayor eficiencia, ahorrar costos y hacer que las empresas sean más competitivas en los mercados actuales. (Hakim, 2023)

Existen seis factores cruciales en la implementación de IoT en la industria manufacturera: beneficios comerciales, alineación estratégica, enfoque en el proceso comercial, cambios en el modelo operativo, mejora de la capacidad de los trabajadores y seguridad de extremo a extremo.

a) Primero, beneficios comerciales. Inicialmente, las discusiones sobre IoT se centraron en la tecnología y lo que puede ofrecer, excluyendo su valor comercial. Sin embargo, el debate se ha desplazado hacia los diversos beneficios comerciales que se pueden proporcionar, gracias a poder automatizar acciones y facilitar las decisiones. Por ejemplo, la innovación condujo a la fabricación de datos inteligentes para respaldar la toma de decisiones y desencadenar acciones automáticamente, que se pueden monetizar.

b) Segundo, alineación estratégica. Para que IoT impacte positivamente en las organizaciones, la meta y el objetivo deben estar alineados con la estrategia comercial y tecnológica general.

c) Tercero, enfoque en el proceso comercial. Esto es el núcleo de cualquier organización y se utiliza para determinar cómo se estructura el modelo operativo. Un enfoque emergente en la fabricación es la integración de soluciones de IoT en los procesos comerciales para optimizarlos y encontrar soluciones.

d) Cuarto, cambios en el modelo operativo. Uno de los principales desafíos que enfrentan las empresas cuando intentan implementar IoT para generar ingresos es la disrupción de los modelos comerciales actuales. Se requiere la convergencia de la tecnología de la información y la operativa, lo que significa que la gestión de sistemas empresariales y la tecnología de automatización de fábricas se unirán para optimizar la colaboración entre la oficina y las plantas de producción.

e) En quinto lugar, la mejora de las capacidades de los empleados. Con el cambio continuo en el panorama tecnológico y los modelos operativos, los empleados necesitan aprender nuevas habilidades. Además, las personas necesitan comprender los conceptos de IoT y Business 4.0 desde una perspectiva empresarial y tecnológica, estableciendo un lenguaje común para mejorar la comunicación entre empleados y así lograr una mayor fluidez laboral.

f) En sexto lugar, la seguridad de extremo a extremo. El sistema ciberfísico en el que se basa IoT plantea un riesgo de seguridad porque los intrusos pueden comprometer el uso de Internet.

Por lo tanto, los sistemas ciberfísicos deben incluir capacidades de autenticación y cifrado de datos integradas en el hardware, análisis del tráfico de red en tiempo real y una puerta de enlace

de IoT que actúe como escudo protector para los equipos de la fábrica, similar al funcionamiento de los firewalls. (Hakim, 2023)

Para que la adopción de las tecnologías relacionadas a la Industria 4.0 sean efectivas, las empresas requieren una planificación adecuada antes de realizar la implementación (es clave) para mejorar las actividades de sus procesos de negocios. Las empresas necesitan determinar factores críticos de éxito para evaluar el rendimiento para avanzar y lograr sus objetivos; por lo tanto, la implementación de IoT se puede llevar a cabo de manera más efectiva y eficiente, generando un mejor resultado. (Hakim, 2023)

4. Impacto de la innovación tecnológica en la Industria 4.0 (Innovation Management)

4.1. Desarrollo de vehículos inteligentes y conectados

En 2011, Alemania definió un nuevo modelo de automatización de sistemas tecnológicos basado en Internet como el concepto de Industria 4.0. Este enfoque representa un modelo avanzado de conexión de máquinas y ordenadores (sistemas ciberfísicos - CPS) y su interconexión (computación en la nube e Internet de las Cosas [IdC]), con el uso generalizado de inteligencia artificial (IA) avanzada. Este concepto no solo implica una evolución tecnológica, sino que también es un modelo de fabricación inteligente (SM), y hoy hablamos de vehículos inteligentes, autopistas inteligentes, redes inteligentes, ciudades inteligentes, servicios inteligentes, etc.; en resumen, "todo y cualquier cosa" inteligente (todo inteligente). (Rikalović, 2022)

La fábrica inteligente es la implementación directa del llamado concepto de Industria 4.0 , que es un principio operativo centrado o impulsado por datos de los sistemas industriales. La fábrica inteligente se basa en CPS o IoT que aboga por la "conectividad" a partir de sensores de bajo nivel, códigos de barras y RFID integrados en todas partes de la fábrica, incluidas las materias primas, las piezas de trabajo y los componentes, hasta las máquinas, los sistemas de manejo de materiales y los robots. (Tomiyama et al., 2019)

Los vehículos inteligentes están cada vez más conectados a la infraestructura vial (p. ej., sistemas de gestión del tráfico), a otros vehículos cercanos y, de forma más general, a Internet, lo que los integra en el Internet de las Cosas (IoT). El objetivo de las tecnologías de internet es brindar seguridad a los vehículos tanto de manera directa como indirecta. (Dorri et al., 2017)

Las arquitecturas actuales de vehículos inteligentes se basan en modelos de comunicación centralizados donde todos los vehículos se identifican, autentican, autorizan y conectan a través de servidores centrales en la nube. Deben pasar por una serie de controles y pruebas para

verificar que la implantación de las tecnologías ha sido correcta y así poder salir al mercado. (Dorri et al., 2017)

Interconectar el vehículo inteligente con el hogar inteligente y los dispositivos móviles del propietario podría generar diversos servicios sofisticados, pero todavía es una función que no se ha implementado. Por ejemplo, el proceso de carga puede personalizarse más si se proporciona información sobre los hábitos de viaje del usuario (p. ej., a través de su calendario). Esta información puede utilizarse para garantizar que el vehículo esté completamente cargado cuando el usuario lo necesite, a la vez que se elige el ciclo de carga más eficiente y económico, por ejemplo, evitando las horas punta, de esta forma se optimizaría más el tiempo de uso del vehículo. (Dorri et al., 2017)

La arquitectura de seguridad propuesta permite que el vehículo intercambie datos con otros participantes del IoT (p. ej., el hogar y los dispositivos inteligentes de los usuarios). Estos participantes pueden considerarse como nodos superpuestos. El propietario del hogar (y del vehículo) define qué información puede compartirse entre estas entidades para proteger su privacidad, a la vez que habilita servicios novedosos, enriqueciendo así el vehículo inteligente y su funcionalidad. (Dorri et al., 2017)

La mayoría de las arquitecturas de comunicación segura actuales no consideran la privacidad del usuario; por ejemplo, recurren al intercambio de todos los datos del vehículo sin el permiso del propietario o revelan datos confusos o resumidos al solicitante. Sin embargo, en varias aplicaciones para vehículos inteligentes, el solicitante necesita datos precisos del vehículo para ofrecer servicios personalizados. (Dorri et al., 2017)

Los vehículos inteligentes cuentan con un número cada vez mayor de funciones de conducción autónoma. Un fallo de funcionamiento debido a una vulneración de seguridad (por ejemplo, mediante la instalación de software malicioso) podría provocar accidentes graves, poniendo en peligro la seguridad de los pasajeros y de otros usuarios de la vía en las inmediaciones. (Dorri et al., 2017)

Se ha demostrado que una cadena de bloques BC posee varias características destacadas, como seguridad, inmutabilidad y privacidad, y, por lo tanto, podría ser una tecnología útil para abordar los desafíos mencionados anteriormente. (Dorri et al., 2017) Blockchain es un paradigma para el mantenimiento de información en un sistema distribuido, caracterizado por varias propiedades clave como la descentralización, la inmutabilidad y la transparencia. Esta tecnología está diseñada para el almacenamiento y la transferencia seguros y transparentes de

activos digitales. El sistema consta de múltiples capas, como hardware, almacenamiento de datos y comunicación. (Pujol et al., 2024) La tecnología de Blockchain no solo está aplicada en la automoción sino en muchas más áreas, como el comercio, la privacidad, las finanzas, en la administración pública, la sanidad, la educación...

El auge de los vehículos inteligentes y la creciente complejidad de los sistemas de tráfico modernos han exigido el desarrollo de soluciones fiables y seguras para supervisar y verificar la información crítica sobre incidentes. Los sistemas avanzados de control de tráfico mejoran la calidad y la eficiencia de los servicios viales al proporcionar información precisa y actualizada procedente de diversas fuentes, como sensores, cámaras inteligentes, mensajes de alerta, semáforos y sistemas meteorológicos viales. Sin esta inteligencia de tráfico, sería imposible implementar las modificaciones necesarias en la red, incorporar nuevos modos de transporte y promover una infraestructura que satisfaga las necesidades de transporte actuales y futuras. (Pujol et al., 2024)

Con el rápido desarrollo de las aplicaciones y servicios vehiculares, se prevé que el creciente número de vehículos inteligentes genere e intercambie una enorme cantidad de datos, y el tráfico de red que deberá gestionarse será significativamente inmenso. Al mismo tiempo, las características de alta movilidad, baja latencia, complejidad del contexto y heterogeneidad del internet de los vehículos (IoV) también enfrentarán dificultades sustanciales al utilizar directamente el almacenamiento y la gestión tradicionales en la nube. Además, es difícil garantizar una sólida interoperabilidad y compatibilidad entre entidades del internet de los vehículos (IoV) pertenecientes a diferentes proveedores de servicios. Por lo tanto, la plataforma de intercambio y almacenamiento de datos para IoV debe ser descentralizada, distribuida, interoperable, flexible y escalable para afrontar el crecimiento futuro de IoV y aprovechar al máximo el potencial de los sistemas de transporte inteligente (ITS). Además, al estar distribuida y descentralizada, la plataforma es inherentemente más vulnerable a los ciberataques, por lo que es esencial garantizar la seguridad, la privacidad y la confianza de los datos de IoV. En consecuencia, la tecnología blockchain, junto con las técnicas criptográficas modernas y la computación en el borde, ya han presentado grandes oportunidades en diversas aplicaciones de IoV (Mollah et al., 2021).

Con los avances en las comunicaciones, la detección y los sistemas electrónicos, los sistemas integrados convencionales, así como los controladores, están siendo reemplazados por un tipo avanzado de sistema conocido como CPS. Este CPS suele estar conectado a las tecnologías de internet para conectar el mundo físico y el ciberespacio. Recientemente, los sistemas de

transporte público (CPS) se han popularizado y se han implementado ampliamente en todos los ámbitos de nuestra vida diaria y en las industrias. Los sistemas de transporte público (ITS), considerados el transporte del futuro, son un ejemplo de estos sistemas. El objetivo final de los ITS es desarrollar un transporte más cómodo, seguro, dinámico y eficiente, así como infraestructuras urbanas. (Mollah et al., 2021)

Al mismo tiempo, las industrias automotrices están desarrollando las tecnologías detrás de los vehículos inteligentes, lo que transforma la experiencia y la forma de viajar. Los vehículos inteligentes (**Figura 4**), suelen estar equipados con unidades de computación y almacenamiento a bordo (EDR), unidades de control como ECU y OBU, sistemas de software y firmware, diversos sensores y múltiples dispositivos inalámbricos. En este contexto, para tomar las medidas necesarias, las unidades de control se basan en los datos generados por los sensores y las cámaras, y la comunicación entre estos componentes se basa en diferentes tipos de tecnologías cableadas (bus CAN y bus LIN) e inalámbricas (Bluetooth). Estas tecnologías avanzadas podrían incorporarse pronto a los vehículos tradicionales. Además, con estas tecnologías avanzadas, los vehículos se están volviendo incluso autónomos y semiautónomos, lo que tiene el potencial de revolucionar los sistemas de transporte de pasajeros (ITS). (Mollah et al., 2021)

Así como el IoT se ha utilizado para modernizar muchas tecnologías existentes o convencionales, ha habido muchos avances que han servido para mejorar la utilidad ofrecida por el IoT. Una de estas innovaciones monumentales es la tecnología de gemelos digitales. La relación entre el DT y el IoT representa una arquitectura mutuamente ventajosa. Donde el internet de las cosas genera grandes cantidades de datos en tiempo real, la tecnología de gemelos digitales permite que estos datos, y los datos exclusivamente del sistema del mundo real, se analicen simultáneamente. Esto es inmensamente beneficioso para optimizar la fabricación, impulsar los procesos orientados a servicios e identificar las mejoras de diseño necesarias. (Bhatti et al., 2021)

Como se puede deducir de su etimología, un gemelo digital (DT) se define como "una simulación probabilística multifísica integrada y multiescala de un producto complejo, que funciona para reflejar la vida de su gemelo correspondiente". El objetivo principal de esta tecnología es servir como un reflejo panóptico de un cuerpo físico en el mundo digital. (Bhatti et al., 2021)

En los últimos años, la tecnología de gemelo digital se está convirtiendo en un área de investigación fundamental a nivel mundial. Como resultado, la nueva investigación individual que cubre la implementación de gemelos digitales en varios aspectos de los vehículos inteligentes ha trascendido en la investigación y los estudios industriales, lo que permite que la tecnología de gemelos digitales evolucione a lo largo de los años. (Bhatti et al., 2021)

Un ejemplo destacado de este sistema interdisciplinario son los vehículos eléctricos. Estos vehículos presentan importantes incentivos desde una perspectiva ambiental. Facilitan la transición a fuentes de energía renovables, reducen las emisiones de gases de efecto invernadero y aumentan la eficiencia de la recolección de energía, incluso cuando se alimentan con centrales eléctricas de carbón. Muchos aspectos de los vehículos eléctricos se han automatizado en la investigación, dando lugar al fenómeno automovilístico conocido como vehículos eléctricos inteligentes. (Bhatti et al., 2021)

4.2. Avances en la fabricación de automóviles eléctricos y autónomos

En este apartado hablaremos sobre la transformación y evolución que ha surgido tras la implementación de muchos componentes eléctricos en los coches. Nos centraremos también en los coches de carreras, ya que éstos han experimentado a lo largo de la última década una serie de cambios que han revolucionado por completo la estructura y la manera de fabricación, y que también cuentan con los mejores recursos para implantar las últimas tecnologías. Gracias a las competiciones, estas implementaciones suponen un avance en la industria automotriz de coches de calle para el resto de la sociedad.

La era de la energía eléctrica está cambiando el sistema de almacenamiento de energía de los vehículos, de combustibles fósiles a sistemas de almacenamiento de energía electroquímica, lo que implica un cambio en el sistema de propulsión de motor a motor eléctrico. El cambio en el sistema de almacenamiento de energía y propulsión está impulsando una revolución en la industria automotriz para desarrollar vehículos de nueva energía con un sistema de propulsión más electrificado. (Feng et al., 2018)

La batería es el componente central del sistema de almacenamiento de energía electroquímica para vehículos eléctricos. La batería de iones de litio, con alta densidad energética y ciclo de vida extendido, es la opción de batería más popular para vehículos eléctricos. (Feng et al., 2018)

Esta tendencia de la movilidad sostenible también afecta al mundo de las carreras, desde la hibridación de la Fórmula 1 (F1) y los hipercoches de Le Mans hasta la Fórmula E, una clase de carreras totalmente eléctrica. En este escenario, la comunidad investigadora estudia cómo

llevar los vehículos eléctricos de carreras al límite, combinando la dinámica del vehículo y la gestión de la energía, con el único fin y objetivo por el que todos luchan, ser lo más rápidos y eficientes respecto a tus rivales. (Riva et al., 2025)

El papel fundamental de las baterías también está motivado por el continuo desarrollo de nuevas tecnologías para la automoción, lo que representa una importante oportunidad para la mejora del rendimiento en el futuro. (Riva et al., 2025)

Las baterías de iones de litio siguen atrayendo gran atención como una prometedora tecnología de almacenamiento de energía debido a su alta densidad energética, baja autodescarga, efecto memoria prácticamente nulo, alto voltaje de circuito abierto y larga vida útil. En particular, en los últimos años, las baterías de iones de litio de alta densidad energética se han considerado la fuente de energía ideal para vehículos eléctricos e híbridos en la industria automotriz. (Kim et al., 2019)

En este contexto, han surgido numerosos desafíos tecnológicos, y las baterías representan uno de los obstáculos más importantes para la adopción a gran escala de los vehículos eléctricos (VE). De hecho, las tecnologías actuales disponibles en el mercado presentan múltiples debilidades, como altos costos, menores densidades energéticas y de potencia que el combustible, y problemas de seguridad. (Riva et al., 2025)

En comparación con la tecnología de baterías convencionales, las baterías de iones de litio se cargan más rápido porque tienen una mayor densidad de energía y proporcionan una mayor densidad de potencia para una mayor vida útil de la batería en un paquete más compacto. En comparación con las baterías basadas en níquel, su autodescarga es menos de la mitad y no requieren un cebado prolongado (el cebado es un ciclo de acondicionamiento utilizado como un servicio para mejorar el rendimiento de la batería durante el uso o después de largos períodos de almacenamiento). Las baterías de iones de litio también son cada vez más asequibles, lo que las convierte en una opción atractiva para vehículos eléctricos y otras aplicaciones. (Riva et al., 2025)

La integración de los modelos de batería y vehículo se logra mediante restricciones de acoplamiento y modelado del sistema de propulsión y frenos, cuyos modelos están altamente influenciados por el nivel de detalle requerido. En los coches eléctricos de competición, identificamos tres componentes principales que conectan la batería al vehículo: 1) inversor; 2) motor eléctrico; y 3) caja de cambios. Como observación preliminar, la dinámica involucrada

en estos subsistemas suele ser órdenes de magnitud más rápida que la del vehículo. (Riva et al., 2025)

Dado que la unidad de potencia de F1 es eléctrica híbrida, la metodología aplicada para optimizar su gestión de energía puede relacionarse con la investigación de vehículos eléctricos híbridos: para vehículos de carretera, como automóviles de pasajeros, el objetivo principal es minimizar el consumo de combustible, mientras que para los automóviles de carreras el indicador clave de rendimiento es el tiempo de vuelta. (Balerna, 2021)

Dependiendo del tipo de coche eléctrico, existen baterías que se recargan de forma automática, por ejemplo, en el momento de frenado, sin embargo, existen otras baterías que necesitan una carga manual, las cuales no son exactamente iguales entre ellas.

Existen varios métodos de carga tradicionales, como la corriente constante (CC), el voltaje constante (CV), la corriente constante-voltaje constante (CCCV) y la carga de corriente constante multietapa (MCC). La carga CC es un método de carga que utiliza una corriente constante para cargar la batería. El enfoque de carga CV es respetuoso con el medio ambiente para la carga rápida; el enfoque depende de las tecnologías de la batería, pero dicha carga perjudica las capacidades de la batería. El método de carga CCCV es una estrategia híbrida que incorpora tanto CC como CV. La técnica de carga MCC consta de varias fases con CC, y la corriente disminuye progresivamente a medida que el voltaje del terminal se acerca a un umbral de voltaje preestablecido. La batería se carga hasta el punto en el que se cumplen las condiciones del terminal. (Krishna, 2022)

Los peligros asociados con las técnicas convencionales de carga de baterías incluyen sobrecalentamiento, sobrevoltaje, descarga profunda, sobre corriente, presión y estrés mecánico. Un sistema de supervisión que garantice que las baterías funcionen correctamente en la aplicación prevista es necesario para prevenir fallas de la batería y reducir circunstancias potencialmente peligrosas. Este dispositivo de monitorización se denomina sistema de gestión de baterías. Actualmente, los sistemas BMS ofrecen numerosas funciones que contribuyen a un funcionamiento más eficiente y seguro de la batería. Entre ellas, se encuentran la monitorización, la protección de la batería, la evaluación del estado de salud (SOH), el estado de carga (SOC), el balanceo móvil, el control de carga y la gestión térmica. (Krishna, 2022)

El humo, el fuego e incluso las explosiones inducidas son las características más comunes en accidentes con baterías de iones de litio. El humo, el fuego y las explosiones constituyen graves problemas de seguridad que preocupan al público. Existen varias condiciones de abuso que

puede provocar accidentes relacionados con el fallo de las baterías, las condiciones de abuso se pueden clasificar en abuso mecánico, abuso eléctrico y abuso térmico (**Figura 5**). El abuso mecánico puede provocar un cortocircuito, una característica común en el abuso eléctrico, mientras que el cortocircuito libera calor e inicia una condición de abuso térmico. En una condición de abuso térmico, la batería se calienta a temperaturas extremas y luego experimenta una TR (**Figura 6**). El miedo a los accidentes dificulta la plena aceptación de los vehículos eléctricos en el mercado; por lo tanto, muchos países exigen que las baterías de iones de litio superen las normas de prueba obligatorias, como UN 38.3, UN R100, SAE-J2464, IEC-62133 y GB/T 31485, antes de su uso en vehículos eléctricos. La probabilidad de accidente causada por baterías de iones de litio puede reducirse sustancialmente tras superar estas normas de prueba. (Feng et al., 2018)

Para poder implementar mayor seguridad y superar cualquier prueba antes de su salida al mercado, en los modelos electro térmicos basados en datos, se examinan tecnologías basadas en datos como la IA, la computación en la nube y las tecnologías blockchain. A partir de esto, se concluyó que los estudios previos se han centrado en la revisión de la implementación de tecnologías individuales en los sistemas de gestión de baterías. (Krishna, 2022)

La seguridad, eficacia y fiabilidad de un dispositivo alimentado por batería están garantizadas por un dispositivo que controla la batería o los sistemas de gestión de la misma. A lo largo de los años se han realizado numerosos estudios sobre sistemas de gestión de baterías que han mejorado considerablemente su seguridad, eficacia y fiabilidad. Sin embargo, aún existen problemas por resolver. (Krishna, 2022)

Estos problemas no solo tratan sobre la seguridad y fiabilidad de aquellas baterías, sino que actualmente es mucho más difícil encontrar un lugar para cargar el coche que una gasolinera tradicional, este problema limita a la hora de realizar viajes sobre todo largos, es decir, su autonomía es otro problema principal que surge tras estas nuevas innovaciones y supone una barrera de entrada hacia nuevos clientes. Lo que provoca una serie de desconfianza para su uso en comparación con los vehículos tradicionales de combustibles fósiles. (Feng et al., 2018)

El tema de la seguridad ciberfísica de los sistemas de almacenamiento de energía de baterías es complicado porque no solo involucra principios de seguridad de la información, sino que también requiere cerrar las brechas de conocimiento entre los efectos de los ciberataques en los sistemas de control industrial. Debido a la conectividad de red constante de los dispositivos IoT, existe un riesgo creciente de ciberataques. Hay muchas amenazas que pueden ser posibles,

como actualizaciones de software no autorizadas, acceso no autorizado, ataques Man-in-the-Middle, protocolos de red inseguros, acceso no autorizado a la nube, etc. (Krishna, 2022)

Las plataformas de IoT en la nube protegidas se pondrán a disposición de los BMS para alentar una mejor ciberseguridad e impulsar la adopción de sistemas de baterías de iones de litio en entornos ciberfísicos. (Krishna, 2022)

En conclusión, los sistemas de gestión de baterías han cobrado gran importancia debido a la amplia adopción de la generación de energía renovable para la sostenibilidad. La monitorización del estado de las baterías es crucial para el almacenamiento fiable de energía. Además, la evolución de las tecnologías digitales ha demostrado su eficacia para monitorizar el entorno físico desde cualquier ubicación. (Krishna, 2022)

4.3. Innovaciones en materiales y diseño para el rendimiento y sostenibilidad

Las evoluciones no solamente suponen un cambio a nivel tecnológico e inteligente, sino que también afectan a la estructura de los coches, logrando en este caso un aumento de rendimiento debido a la alta calidad de recursos para poder extraer el máximo en los análisis de datos. Me centraré más en competiciones automovilísticas como la Fórmula 1, donde este tipo de conceptos son cruciales para el desarrollo de la competición.

Además, el futuro de estas competiciones, que ya lo podemos considerar presente, se trata de una idea mucho más híbrida y sostenible, donde la parte eléctrica tomará mayor importancia en cuanto a la potencia de los vehículos y con el uso de un combustible sintético para reducir las emisiones de CO₂ lo máximo posible.

Primero trataré de hablar sobre los diseños de rendimiento en los monoplazas. El modelado de coches de carreras con altos niveles de carga aerodinámica, como los monoplazas de Fórmula 1 y los prototipos de Le Mans, puede ofrecer una perspectiva única de la interacción entre la dinámica del vehículo y la aerodinámica. (Gadola, 2022)

Un monoplaza de Fórmula 1 es un coche de carreras profesional que ofrece total adaptabilidad tanto a la configuración mecánica (básicamente, diversos ajustes de suspensión y dirección, relaciones de la caja de cambios y diferencial autoblocante) como a la aerodinámica. Los alerones delanteros y traseros se pueden adaptar a la geometría del circuito, las condiciones meteorológicas, el estilo, la fisiología y los hábitos del piloto. El tipo de alerón trasero (monoplano o biplano) y sus ajustes definen principalmente el nivel general de carga aerodinámica y resistencia aerodinámica, mientras que los ajustes de los flaps delanteros definen principalmente el equilibrio aerodinámico. (Gadola, 2022)

Debido a la carga aerodinámica generada por el suelo del vehículo (es decir, el difusor), la altura de la suspensión es un parámetro clave para mejorar el rendimiento, y el acoplamiento de la aerodinámica y la suspensión es uno de los puntos clave de la configuración del auto de carreras. Este trabajo se centra en la suspensión y el acoplamiento aerodinámico desde el punto de vista de la dinámica vertical. Además del rendimiento de agarre en carretera, para los autos de carreras, el rendimiento aerodinámico y la estabilidad son factores principales. La carga aerodinámica reduce el tiempo de vuelta (el principal objetivo de rendimiento). (Marchesin et al., 2018)

El piloto de carreras intenta llevar la aceleración combinada al límite impuesto por las fuerzas de los neumáticos siempre que sea posible, sujeto a la dinámica del vehículo. Llamamos a este límite la envolvente de rendimiento del coche de carreras, se puede ver que no es constante, sino que varía con la velocidad. De hecho, los monoplazas de F1 están equipados con un paquete aerodinámico compuesto por alerones delanteros y traseros y una carrocería plana, lo que genera una carga aerodinámica descendente y, por lo tanto, una fuerza normal sobre los neumáticos que aumenta con la velocidad. Por consiguiente, el límite de fricción de los neumáticos y, por consiguiente, la aceleración factible aumenta, un efecto que aprovechan muchos monoplazas de carreras modernos. (Duhr et al., 2022)

En los últimos años, muchas series de carreras han avanzado hacia arquitecturas de tren motriz cada vez más complejas. Los coches de F1 híbridos-eléctricos introducidos en 2014 son sin duda el ejemplo más destacado. (Duhr et al., 2022)

Durante los últimos años, todos estos avances y evoluciones en el rendimiento que se han ido implantando gracias a la Industria 4.0, suponen un pequeño problema durante las carreras por la dificultad de los monoplazas de seguir de cerca al coche de delante durante períodos largos de tiempo, esto se debe a las turbulencias que generan los coches en las partículas del aire y alteran el flujo del mismo, por lo que la carga aerodinámica de los monoplazas no rinde en su potencial máximo, a lo largo de la era híbrida (2014- Actualidad) este aspecto se ha ido intensificando a medida que los coches dependían más de todos los componentes aerodinámicos que se han desarrollado. Por ello, se consideró un análisis de la pérdida de puntos de carga aerodinámica con un rival delante respecto a la situación de una corriente libre. (Guerrero, 2020)

En términos de eficiencia aerodinámica, es importante destacar que los bajos son, sin duda, la parte más eficiente del coche. Esto se debe al uso del efecto suelo (a pesar de estar limitado por

el suelo plano y el tamaño del difusor). El suelo o fondo plano es una pieza aerodinámica situada como bien dice la palabra en el suelo del propio coche, su función es mejorar y redirigir el flujo del aire por debajo del coche para que se desplace con mayor eficacia, esta pieza genera el denominado “efecto suelo” que ayuda a crear una zona de baja presión en la parte inferior del monoplaza y como resultado los bajos buscan pegarse al suelo, lo que genera una mayor eficiencia aerodinámica y a su vez, mayor rendimiento. (Guerrero, 2020)

Por otro lado, el alerón trasero es conocido por su baja relación de aspecto, que contribuye a generar una gran carga aerodinámica, pero se ve afectado por la generación de resistencia inducida. La eficiencia del alerón delantero se sitúa entre los bajos y el alerón trasero: las ventajas del ángulo de ataque y el efecto suelo, se ven compensadas por el elevado ángulo de ataque de los flaps y los vórtices generados en las puntas. (Guerrero, 2020)

Los bajos, compuestos por el suelo plano, la plataforma y el difusor, generan el 60 % de la carga aerodinámica total. Siguiendo esta tendencia, el alerón trasero y el delantero representan, respectivamente, alrededor del 35 % y el 23 % de la carga aerodinámica total del coche. La carrocería, con forma de ala, compensa estas ganancias generando sustentación, al igual que otros elementos, como la suspensión delantera y los neumáticos delanteros y traseros. (Guerrero, 2020)

Al ganar carga aerodinámica, el vehículo puede obtener mayor fuerza de tracción en la rueda trasera, lo que aumenta la aceleración. Sin embargo, esto significa un mayor requerimiento de par para compensar la fuerza de arrastre generada a mayor velocidad, lo que se traduce en un bajo consumo de combustible. Los vehículos de carreras de Fórmula 1 tienen condiciones estrictas necesarias para tener en cuenta el rendimiento y el consumo de combustible. Por lo tanto, la optimización compleja, como la integración de la resistencia aerodinámica y la carga aerodinámica con la optimización del tren motriz, se convierte en un factor necesario a considerar. (Tey & Shak, 2019)

Los resultados obtenidos muestran que la reducción de los coeficientes aerodinámicos es claramente visible desde una distancia inicial equivalente a la longitud de dos coches (aproximadamente 10,6 m), hasta el caso más cercano estudiado, de menos de 1,5 m. La reducción de la carga aerodinámica varía de un -23,5 % a un muy significativo -62 % en el peor escenario. De forma similar, la resistencia aerodinámica se reduce de un -14,2 % a un -40 % y, por lo tanto, también lo hace la eficiencia general del segundo coche. (Guerrero, 2020)

Además de la notable pérdida de carga aerodinámica, el segundo coche experimenta un drástico aumento del balance frontal (FB) del +26 % al 40 %. Este aumento repentino de las cargas aerodinámicas delanteras podría provocar sobreviraje (el sobreviraje se produce cuando un coche gira más de lo previsto, perdiendo así la parte trasera) y problemas de seguridad al frenar y tomar curvas a alta velocidad (Guerrero, 2020).

En general, se observa que, a medida que el segundo coche se acerca al primero, las cargas aerodinámicas se reducen, lo que empeora el rendimiento del coche, pero también la resistencia al avance (AR). Esto es clave energéticamente, ya que la potencia necesaria para superar la resistencia al avance es menor a medida que se reduce la distancia entre los coches, lo que permite un menor consumo de combustible para el coche que va detrás, lo que se conoce como el famoso “rebufo” dentro del mundo de los coches de carreras. Estas mismas conclusiones se pueden extrapolar fácilmente a los coches de carretera actuales, aunque las condiciones y los datos pueden diferir notablemente, pero no las conclusiones generales. (Guerrero, 2020)

Todo esto se observa de forma más drástica en competiciones de automóviles, y es que las turbulencias generadas por el coche de delante ocasionan alteraciones en los componentes aerodinámicos de los coches perseguidores de cerca, debido a que, al reducirse la distancia, la velocidad del flujo se reduce y las alas pierden su capacidad para controlar el flujo de aire, en el caso del ala delantera, la efectividad de la generación de vórtices y la redirección del flujo es insignificante, en cuanto al ala trasera, su comportamiento es notablemente diferente: la pérdida de carga aerodinámica es muy notable desde el primer momento y sigue aumentando a medida que se acerca la distancia de rebufo. De igual manera, los niveles de resistencia aerodinámica también se reducen considerablemente desde el principio, manteniendo una relación comparable que mantiene la eficiencia prácticamente constante. (Guerrero, 2020)

Además, el difusor es el dispositivo que más sufre en condiciones de estela, ya que la pérdida de carga aerodinámica en las proximidades es de alrededor del 70 % y la resistencia aerodinámica se reduce en torno al 57 % a la misma distancia. Sin embargo, la conclusión interesante es que la reducción de la carga aerodinámica comienza desde el principio y sigue aumentando a medida que se reduce la distancia, oscilando entre un 23 % y un significativo 62 % en el caso más próximo. Finalmente, la **Figura 7** muestra una representación tridimensional de las líneas de corriente de la vorticidad. Es posible observar, en general, cómo se comporta el flujo alrededor de diferentes áreas del vehículo (vórtice Y250, punta de las aletas, sección central) y cuán caótica y turbulenta es la estela resultante. (Guerrero, 2020)

Y no únicamente es que la velocidad del flujo del aire disminuya, sino que esas corrientes de aire están alteradas, no de forma natural, y no permiten redirigirlas del todo hacia las direcciones que se buscan con las piezas aerodinámicas. Desde que este problema empezó a suponer una mayor preocupación (hoy en día lo sigue siendo), se implementaron cambios para encontrar soluciones, se han logrado mejoras, pero todavía queda trabajo por hacer.

Del lado de la estela, estos efectos se pueden apreciar fácilmente en la **Figura 8**, donde el segundo automóvil se ve afectado por un flujo que es menor en términos de energía cinética, ya que la estela generada por el automóvil líder se libera a lo lejos perturbando a su seguidor. También es claro que, a medida que el segundo automóvil se acerca, entra inherentemente en una estructura de estela única caracterizada por un flujo de velocidad muy baja, que varía de 0 a 10 m/s, por lo tanto, resulta gravemente afectado. Se ve que a medida que el segundo automóvil reduce la distancia, su estela origina una región de separación que se agranda y se hace evidente a medida que se acorta la distancia. A una gran distancia ($2L$), la estela del segundo automóvil adopta una forma de aguja, que de alguna manera imita la estela natural de la corriente libre, pero esta forma pronto desaparece a distancias más cercanas. (Guerrero, 2020)

También un factor muy importante en cualquier vehículo, dentro de las innovaciones para una mejora de rendimiento, es el caso de las ruedas o neumáticos. Son uno de los componentes que más influyen y afectan en el comportamiento aerodinámico del vehículo.

La principal diferencia que existe de un coche de calle a un monoplaza en sus neumáticos, a parte del tamaño, es la zona de contacto con el asfalto, es decir, los coches tradicionales cuentan con una banda de rodadura para evacuar el agua y buscar el agarre en diferentes superficies, sin embargo los Fórmula 1 cuentan con neumáticos específicos según las condiciones temporales (seco o mojado), en el caso de los neumáticos de seco son completamente lisos para buscar el máximo agarre con la máxima cantidad de neumático en contacto con el asfalto, lo que se traduce en mayor eficiencia y velocidad. Estos neumáticos con el paso del tiempo se han ido diseñando y ajustando a los cambios que han surgido con las evoluciones industriales, todos los componentes deben avanzar en el mismo camino para ser compatibles unos con otros.

4.4. Innovaciones tecnológicas en competiciones automovilísticas

En estos últimos años, muchas competiciones de carreras han avanzado hacia arquitecturas con un tren motriz cada vez más complejo. Los coches de Formula 1 híbridos-eléctricos implementados a partir de 2014, son el claro ejemplo de este suceso. La unidad de potencia que constituye estos monoplazas constan de un motor de combustión interna unido a dos unidades

de motores eléctricos (Duhr et al., 2022), denominadas unidades de motor-generator (MGU), y un sistema de almacenamiento de energía eléctrica en forma de batería (**Figura 9**). (Balerna, 2021)

En esta unidad de potencia, la principal fuente de propulsión sigue siendo el motor de combustión interna, pero en forma de un V6 turboalimentado de menor tamaño con una cilindrada de 1.6Y o 1.6L. (Balerna, 2021)

La MGU-K (K de cinética) se utiliza para recuperar la energía que se usa durante las fases de frenado, y para aumentar la potencia del coche en las fases de aceleración. (Duhr et al., 2022) La unidad de motor-generator térmica (MGU-H) (H de calor) es un motor eléctrico que convierte parte del calor de los gases de escape calientes en energía eléctrica, de modo que parte de la energía contenida en los gases de escape calientes puede ser recuperada por la MGU-H y alimentada a la batería o directamente a la MGU-K. Además, la MGU-H puede utilizarse para acelerar el compresor y evitar el retardo del turbo. Finalmente, el resto del sistema de propulsión consta de una caja de cambios y un diferencial que conectan el motor y el MGU-K a las ruedas. (Balerna, 2021)

Ambas MGU están conectadas a la batería, que sirve como almacenamiento de energía. El reglamento técnico impone límites estrictos al consumo de combustible y energía de la batería durante una carrera, lo que crea la necesidad de un controlador de gestión energética que coordine todos los flujos de energía. Considerando estas restricciones y la complejidad del sistema de propulsión, las estrategias de gestión energética deben optimizarse cuidadosamente para minimizar el tiempo de vuelta. Estas mismas consideraciones son válidas para otros coches de carreras con límites de consumo energético. (Duhr et al., 2022)

Estos sistemas eléctricos de recuperación de energía son específicos de las competiciones híbridas de alto rendimiento. Los coches de calle tanto híbridos como eléctricos no tienen un motor térmico ni turbo, así que no podrían aprovechar el MGU-H, tampoco necesitan del MGU-K porque ya tienen sistemas de recuperación de energía en las frenadas incorporados, estos sistemas cumplen con una función semejante, pero adaptada a los coches de calle y no tan complejos.

Las complejas interacciones entre los componentes térmico y eléctrico, que se acoplan no solo a través del tren motriz, sino también a través del turbocompresor electrificado, junto con la limitada energía disponible, exigen una rigurosa optimización basada en modelos del funcionamiento del tren motriz. Dado que el comportamiento de varios componentes del motor

de combustión interna depende en gran medida de la velocidad del motor, cualquier optimización fuera de línea también debe tener en cuenta la estrategia de cambio de marchas. (Balerna, 2021)

Respecto a los vehículos híbridos-eléctricos (VHE) de calle, el principal objetivo de estos es la mejora sustancial del ahorro de combustible gracias a la combinación de dos o más fuentes de energía (motor de combustión interna y un sistema de propulsión eléctrica). La distribución de la potencia debe ajustarse minuciosamente para lograr el mejor ahorro de combustible posible (Ambuhl & Guzzella, 2009).

Además hay que mencionar en el sector automovilístico, la cantidad de sensores implantados en muchas áreas del monoplaça, para tener una monitorización remota sobre el coche en aspectos como el combustible; los neumáticos, con ellos se puede controlar la presión, su temperatura y de esta forma estabilizar y maximizar el rendimiento; el funcionamiento de los componentes del motor; así como las frenadas y aceleraciones, gracias a los datos se pueden detectar anomalías en el comportamiento del vehículo y prevenir situaciones más complejas, e incluso actuar a tiempo e intervenir para solucionarlo a través sistemas de seguridad adicionales al monoplaça.

5. Conclusiones

Primero, destacar la profunda transformación digital que ha sufrido todo el sector automotriz (y automovilístico), ha revolucionado por completo todo el sector en tan solo poco más de 1 década desde su implantación, y cómo esta innovación tecnológica ha impactado en la Industria 4.0, logrando cambios en el diseño de los vehículos, hasta en la propia fabricación y los medios necesarios para llevarla a cabo, e incluso en la postventa con posibles problemas y comportamientos no esperados, todo en parte gracias a la inteligencia artificial, el Internet de las cosas (IoT) y el Big data.

A consecuencia de estos sucesos, ha provocado un gran auge en la Industria 4.0 con la integración de tecnologías inteligentes dentro de las fábricas, por lo que ha dado lugar a la nueva denominación de “fábricas inteligentes” las cuales son mucho más eficientes, automatizadas y están conectadas. Todas las nuevas herramientas inteligentes introducidas permiten gestionar de forma más eficaz la producción, a su vez supone una reducción de los costes, una mejora en la detección de errores en los procesos mecanizados y un aumento de la competitividad.

También cabe destacar que no solamente la digitalización ha afectado a la manera de trabajar y producir en las fábricas, sino que también a sus productos finales, en este caso los vehículos,

que cada vez son más autónomos y están interconectados y personalizados. El cliente o consumidor también forma parte de este proceso, las relaciones y la forma de comunicación con ellos ha ido evolucionando y las empresas se han adaptado a esos nuevos modelos de negocio.

Como resultado se aprecia la existencia de relación entre la digitalización y la sostenibilidad, donde gracias a las tecnologías digitales existe una reducción de las emisiones. Y, por último, no podemos olvidarnos de las complicaciones que han surgido tras las nuevas innovaciones, existen todavía problemas como la ciberseguridad (hackeres o ciberataques, etc.), la adaptación al nacimiento de nuevos puestos de trabajo gracias a las nuevas tecnologías y la necesidad de invertir en infraestructura digital para seguir evolucionando con las prestaciones que exige el mercado y no quedarse estancado.

6. Futuras líneas de investigación

Me resultaría interesante, que a raíz de las innovaciones en la industria 4.0, se investigase sobre la capacidad de transformación que han tenido compañías o fábricas de automóviles tradicionales, como BMW, Mercedes, frente a otras que han nacido exclusivamente gracias a las nuevas capacidades, pudiendo desarrollar una buena base desde cero, con vistas a un futuro ya perceptible, y si en la mayoría de casos se han utilizado las mismas herramientas y procesos para lograr cumplir con las exigencias del mercado, porque es difícil ver cómo una compañía tradicional es capaz de remodelar sus ideas de negocio y luchar frente a una competencia con unos planes mejor estructurados. Y hoy en día comparar cuáles de los resultados han sido más beneficiosos.

Otro aspecto que tendría en cuenta a investigar con más profundidad, sería cómo las tecnologías de la industria 4.0 a través del objetivo de mejorar la eficiencia y eficacia, han logrado contribuir a la sostenibilidad y a la reducción de la huella de carbono, ya sea de forma directa o indirectamente, de manera que se ha convertido actualmente y para el futuro en un requisito fundamental en las nuevas tendencias, y a raíz de esto, explorar los riesgos tecnológicos asociados que han nacido sin saber las causas y ni si quiera ser conscientes de estos posibles sucesos, al igual que todos los que irán surgiendo en el futuro a medida que la sociedad se vaya digitalizando cada vez más, incluso surgirán problemas que no tienen que ser tecnológicos, pero si derivados de la propia tecnología por la dependencia hacia ella.

El siguiente aporte para una investigación sería comentar cuál es el futuro y hacia donde se quiere llegar implementando cada vez más electricidad y tecnología en vehículos, hasta el punto

en el que todo funcione dependiendo de ello, a pesar de todos los problemas que surgen a medida que evolucionan, si realmente es la dirección correcta para el desarrollo eficiente de la sociedad, teniendo en cuenta que existen otras fuentes de energía más tradicionales y fiables, que siempre han funcionado, en este caso los combustibles fósiles, y averiguar por qué no se pretende hacer un balance equilibrado del uso de todas las fuentes de energías posibles, porque se intuye que estamos evolucionando hacia un mundo sin energías contaminantes donde nadie sabe si serán lo suficientemente éticas y eficientes para abastecer a todas las personas. Da la sensación de que en ocasiones se avanza sin un objetivo concreto, sin saber si existe la capacidad para implementar cambios y sin tener en cuenta las consecuencias y reacciones ante estos cambios.

Por último, quería recalcar el aporte que he ofrecido con mi investigación y lo que he logrado aprender a través de la búsqueda de información. Una vez te paras a pensar, me he dado cuenta de lo rápido que ha podido cambiar el mundo durante este siglo y en especial la última década, y nosotros como sociedad, adaptándonos a las distintas formas de vivir que se han creado gracias a las tecnologías, también se puede apreciar hacia donde están enfocados los avances y la dirección que ha tomado la humanidad digitalizando cualquier proceso.

Pienso que se están implementando tantos cambios en industrias y fábricas, que no hay tiempo para acostumbrarse sobre el presente que tenemos, sino que se sigue un camino establecido, pero sin rumbo, dejando de lado y sin importar las consecuencias de esos cambios, porque siempre hay tanto aspectos positivos como negativos. La gran característica de estas tecnologías es que están interconectadas entre ellas independientemente del sector, es decir, cumplen siempre la misma función, por lo que los problemas que afecten a la industria automovilística sucederán en una medida semejante en otros sectores, y de forma indirecta se transmitirá a todos los clientes y consumidores de la nueva era digitalizada.

7. Limitaciones del estudio

La principal limitación que he encontrado para este trabajo se centra en el alcance del estudio, que considero limitado y escaso, ya que se trata de innovaciones que han surgido en la última década en un sector muy concreto que afecta a un pequeño número de cosas. El proceso de búsqueda de información no ha resultado fácil, aún existiendo muy buenos artículos de gran calidad, otros muchos simplemente mencionan aspectos relacionados a la Industria 4.0 y algunos hacen suposiciones sobre el futuro de estas tecnologías.

En ocasiones me he encontrado con artículos contrastados a los que no tenía acceso por no disponer de alguna suscripción o realizar un pago para poder visualizarlos, teniendo acceso solamente a sus resúmenes, los cuáles se quedaban cortos o escasos de información para aplicarla en mi trabajo, no me quedaba otra opción que seguir invirtiendo tiempo para buscar una información semejante, y me remito a lo que he dicho al inicio, esto ocurre cuando el tema de investigación no es tan amplio en cuanto a la información documentada.

También hay que tener en cuenta que el sector automovilístico (tanto vehículos convencionales como vehículos de competición) se encuentra en una constante evolución, por lo tanto, alguna información o hallazgos encontrados que estén publicados hace unos cuantos años es posible que se hayan podido haber quedado desactualizados o no del todo completos debido a los avances que han surgido.

8. Bibliografía

Ambuhl, D., & Guzzella, L. (2009). Predictive Reference Signal Generator for Hybrid Electric Vehicles. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 58(9), 4730–4740. <https://doi.org/10.1109/TVT.2009.2027709>

Bai, C., Dallasega, P., Orzes, G., & Sarkis, J. (2020). Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. International Journal of Production Economics, 229, 107776. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107776>

Balerna, C., N. M.-P., R. N., D. P., C. A., R. V. y O. C. (2021). E. de control y cambio de marchas de bajo nivel con optimización temporal para el sistema de propulsión eléctrico híbrido de F. 1. (2021). Time-Optimal Low-Level Control and Gearshift Strategies for the Formula 1 Hybrid Electric Powertrain. <https://www.mdpi.com/945928>

Barreto, L., Amaral, A., & Pereira, T. (2017). Industry 4.0 implications in logistics: an overview. Procedia Manufacturing, 13, 1245–1252. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.045>

Bhatti, G., Mohan, H., & Raja Singh, R. (2021). Towards the future of smart electric vehicles: Digital twin technology. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 141, 110801. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110801>

- Dorri, A., Steger, M., Kanhere, S. S., & Jurdak, R. (2017). *BlockChain: A Distributed Solution to Automotive Security and Privacy*. *IEEE Communications Magazine*, 55(12), 119–125. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1700879>
- Duhr, P., Sandeep, A., Cerofolini, A., & Onder, C. H. (2022). *Convex Performance Envelope for Minimum Lap Time Energy Management of Race Cars*. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 71(8), 8280–8295. <https://doi.org/10.1109/TVT.2022.3172473>
- Feng, X., Ouyang, M., Liu, X., Lu, L., Xia, Y., & He, X. (2018). *Thermal runaway mechanism of lithium ion battery for electric vehicles: A review*. *Energy Storage Materials*, 10, 246–267. <https://doi.org/10.1016/j.ensm.2017.05.013>
- Fernandes, J. , R. J. , M. N. , T. L. , & A. M. (2021). *T. R. of I. 4. 0 and B. in the A. of C.-B. and P. M. A. C. S. in the A. Industry*. *A. S.* 11(8), 3438. (2021). *The Role of Industry 4.0 and BPMN in the Arise of Condition-Based and Predictive Maintenance: A Case Study in the Automotive Industry*. <https://www.mdpi.com/1068858>
- Flatscher, M., & Riel, A. (2016). *Stakeholder integration for the successful product–process co-design for next-generation manufacturing technologies*. *CIRP Annals*, 65(1), 181–184. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2016.04.055>
- Gadola, M. , C. D. , M. P. y S. G. (2022). *A. del efecto marpoising en coches de carreras de alta carga aerodinámica: C. y posibles ajustes de configuración para evitarlo*. *E.* 15 (18). (2022). *Analyzing Porpoising on High Downforce Race Cars: Causes and Possible Setup Adjustments to Avoid It*. <https://www.mdpi.com/1827926>
- Gobena, S. T., & Woldeyohannes, A. D. (2024). *Comparative review on the application of smart material in additive manufacturing: 3D and 4D printing*. *Discover Applied Sciences*, 6(7), 353. <https://doi.org/10.1007/s42452-024-05999-8>
- Guerrero, A. , y C. R. (2020). *E. aerodinámico del efecto de la estela en un monoplaza de F. 1*. *E.* 13 (19). (2020). *Aerodynamic Study of the Wake Effects on a Formula 1 Car*. <https://www.mdpi.com/847890>
- Hakim, I. M. , S. M. L. , & G. I. K. (2023). *C. S. F. for I. of T. (IoT) I. in A. C. Indonesia*. *S.* 15(4), 2909. (2023). *Critical Success Factors for Internet of Things (IoT) Implementation in Automotive Companies, Indonesia*. <https://www.mdpi.com/2118386>

- Kim, T., Song, W., Son, D.-Y., Ono, L. K., & Qi, Y. (2019). *Lithium-ion batteries: outlook on present, future, and hybridized technologies*. *Journal of Materials Chemistry A*, 7(7), 2942–2964. <https://doi.org/10.1039/C8TA10513H>
- Krishna, G. , S. R. , G. A. , A. S. V. , P. N. y T. B. (2022). *I. de tecnología digital en sistemas de gestión de baterías para el almacenamiento sostenible de energía: R. desafíos y recomendaciones*. *E. 11 (17)*. (2022). *Digital Technology Implementation in Battery-Management Systems for Sustainable Energy Storage: Review, Challenges, and Recommendations*. <https://www.mdpi.com/1799190>
- Lee, C.-C., Qin, S., & Li, Y. (2022). *Does industrial robot application promote green technology innovation in the manufacturing industry?* *Technological Forecasting and Social Change*, 183, 121893. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121893>
- Llopis-Albert, C., Rubio, F., & Valero, F. (2021). *Impact of digital transformation on the automotive industry*. *Technological Forecasting and Social Change*, 162, 120343. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120343>
- Marchesin, F. P., Barbosa, R. S., Gadola, M., & and Chindamo, D. (2018). *High downforce race car vertical dynamics: aerodynamic index*. *Vehicle System Dynamics*, 56(8), 1269–1288. <https://doi.org/10.1080/00423114.2017.1413196>
- Milosavljevic, M. , M. A. , M. S. , F. A. , & R. D. (2024). *R. the S. C. 4. 0 P. within the E. A. Industry*. *S. 16(4)*, 1421. (2024). *Revealing the Supply Chain 4.0 Potential within the European Automotive Industry*. <https://www.mdpi.com/2670886>
- Mollah, M. B., Zhao, J., Niyato, D., Guan, Y. L., Yuen, C., Sun, S., Lam, K.-Y., & Koh, L. H. (2021). *Blockchain for the Internet of Vehicles Towards Intelligent Transportation Systems: A Survey*. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(6), 4157–4185. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.3028368>
- Müller, J. M., Buliga, O., & Voigt, K.-I. (2018). *Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0*. *Technological Forecasting and Social Change*, 132, 2–17.
- Pujol, F. A., Mora, H., Ramírez, T., Rocamora, C., & Bedón, A. (2024). *Blockchain-Based Framework for Traffic Event Verification in Smart Vehicles*. *IEEE Access*, 12, 9251–9266. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3352738>

Rikalović, A. , Č. I. , & R. G. (2022). *I. 4. 0 in S. S. of Development. S. J. of M.* 17(1), 157–169. (2022). *Industry 4.0 in Serbia - state of development.* <https://doi.org/10.5937/sjm17-36626>

Riva, G., Radrizzani, S., & Panzani, G. (2025). *Battery Model Impact on Time-Optimal Codesign for Electric Racing Cars: Review and Application.* *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 11(1), 1346–1358. <https://doi.org/10.1109/TTE.2024.3403930>

Silva, M. , V. E. , S. G. , S. I. , S. D. y F. P. (2018). *U. plataforma de retroalimentación del cliente para la fabricación de vehículos compatible con la visión de la I. 4. 0. S.* 18 (10), 3298. (2018). *A Customer Feedback Platform for Vehicle Manufacturing Compliant with Industry 4.0 Vision.* <https://www.mdpi.com/346236>

Tey, J. Y., & Shak, K. P. Y. (2019). *Multi-objective optimization of virtual formula powertrain design for enhanced performance and fuel efficiency.* *SN Applied Sciences*, 1(9), 1072. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1082-3>

Tomiyama, T., Lutters, E., Stark, R., & Abramovici, M. (2019). *Development capabilities for smart products.* *CIRP Annals*, 68(2), 727–750.

Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. T. (2017). *Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review.* *Engineering*, 3(5), 616–630. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>

9. Anexos

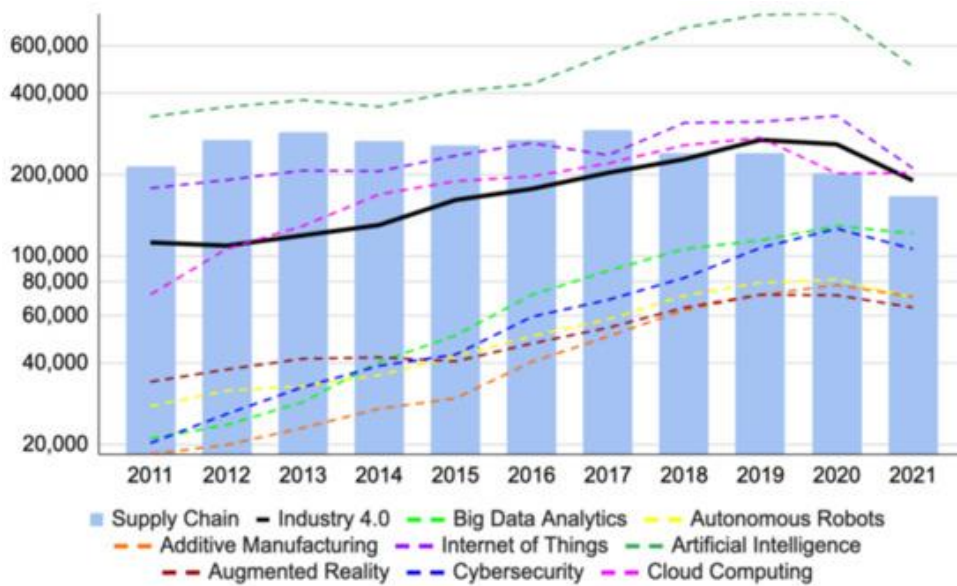


Figura 1. Implicaciones de la Industria 4.0 en la gestión de la cadena de suministro (2011-2021).

El crecimiento exponencial de la inteligencia artificial (IA) es notable, mientras que el Internet de las cosas (IoT), la computación en la nube (CC), el análisis de big data (BDA), la ciberseguridad, los robots autónomos, la realidad aumentada (RA) y la fabricación aditiva (FA) han experimentado un crecimiento moderado y constante durante el período. (Milosavljevic, 2024)

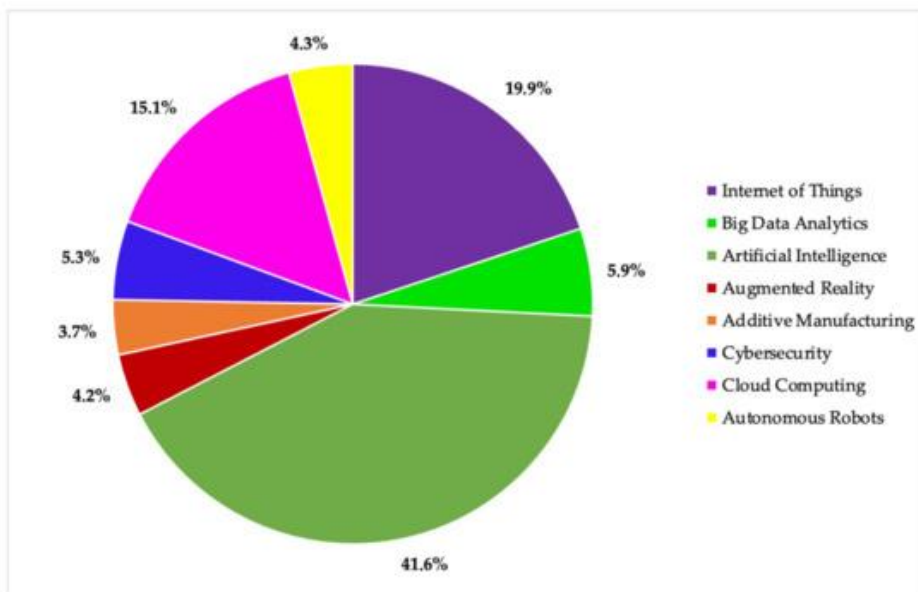


Figura 2. Promedio de coocurrencia de palabras clave en las tecnologías individuales de la Industria 4.0 (2011-2021).

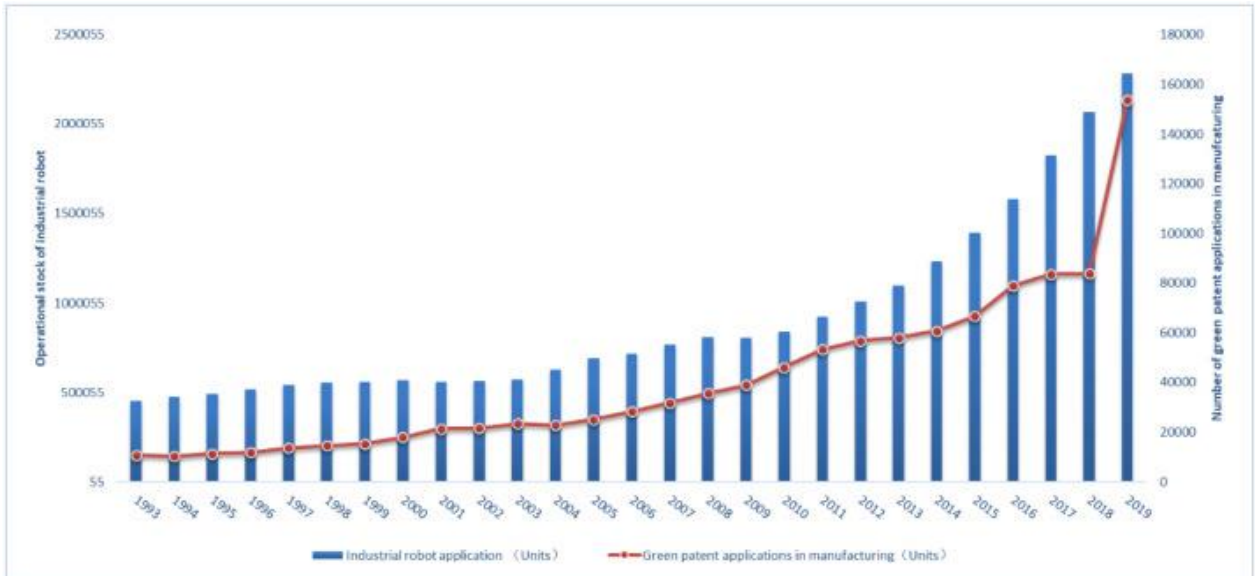


Figura 3. Aplicación de robots industriales y solicitud de patente verde en la fabricación de 1993 a 2019.

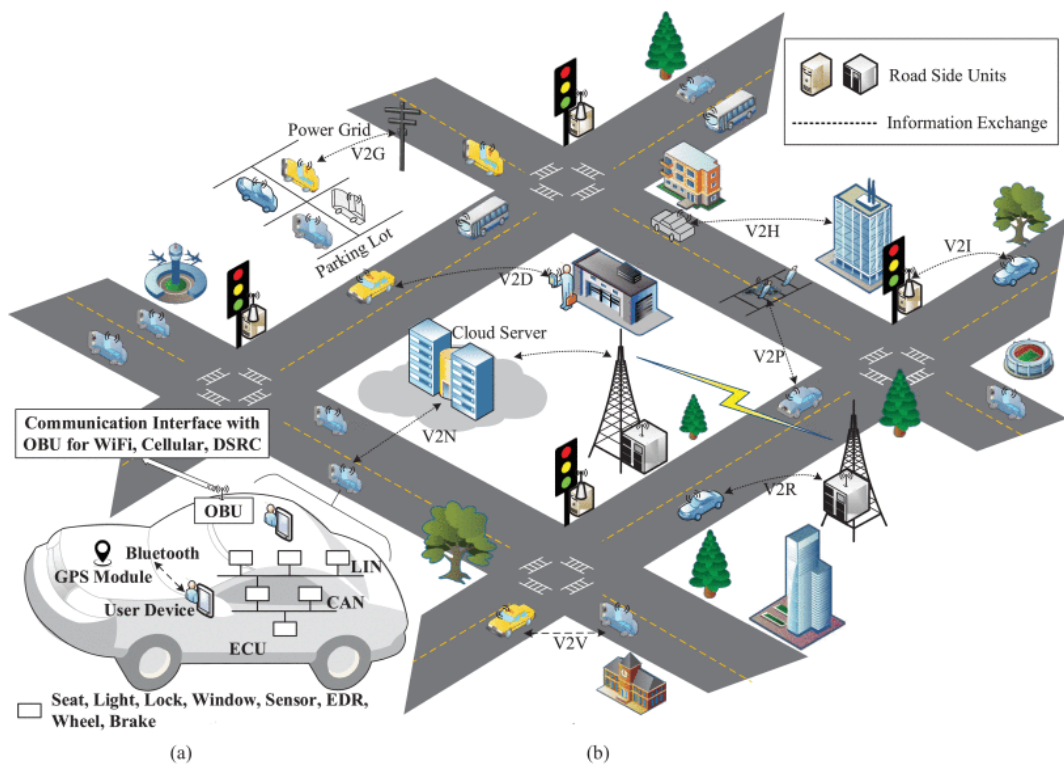


Figura 4. (a) Descripción general de la estructura de comunicación de un vehículo inteligente. (b) El marco básico de comunicación vehicular de ITS contiene principalmente vehículos, RSU, dispositivos inteligentes, peatones, infraestructura, personas, hogares, redes, así como cinco tipos de comunicaciones V2X, como vehículo a RSU (V2R), vehículo a infraestructura (V2I), vehículo a vehículo (V2V), vehículo a peatones (V2P), vehículo a dispositivos (V2D), vehículo a redes (V2N), vehículo a red (V2G) y vehículo a hogar (V2H). (Mollah et al., 2021)

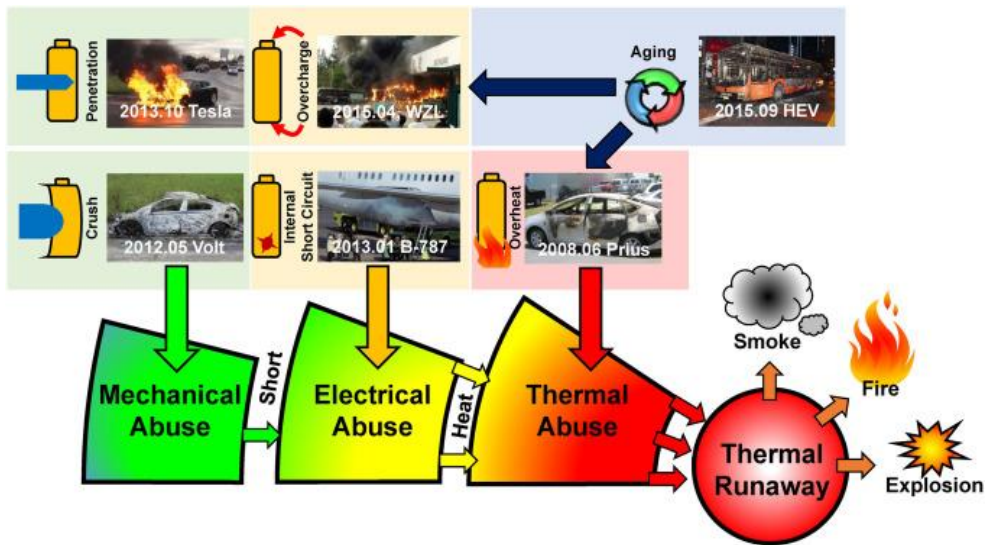


Figura 5. Accidentes relacionados con fallas de baterías de iones de litio y condiciones de abuso correlacionadas.

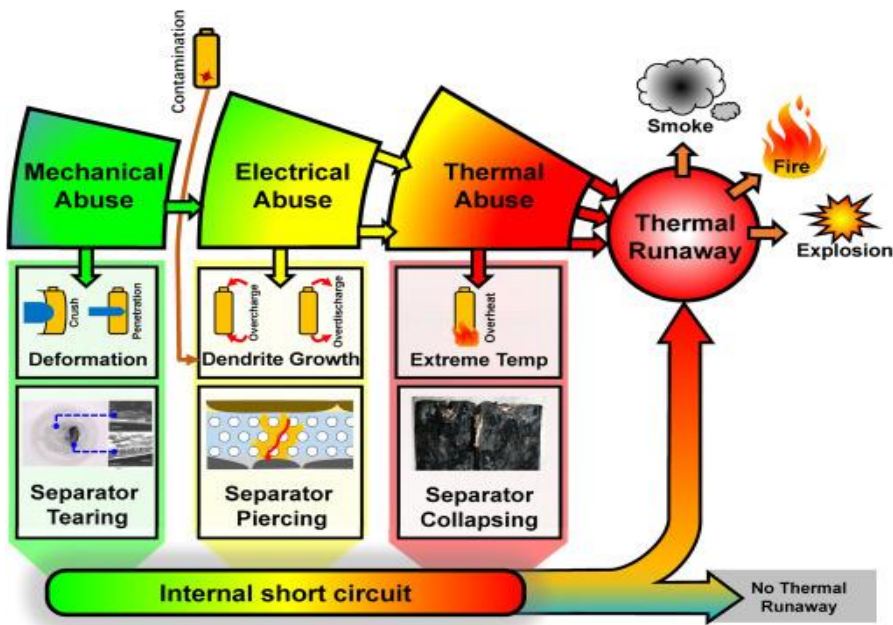


Figura 6. Cortocircuito interno: la característica más común de TR.

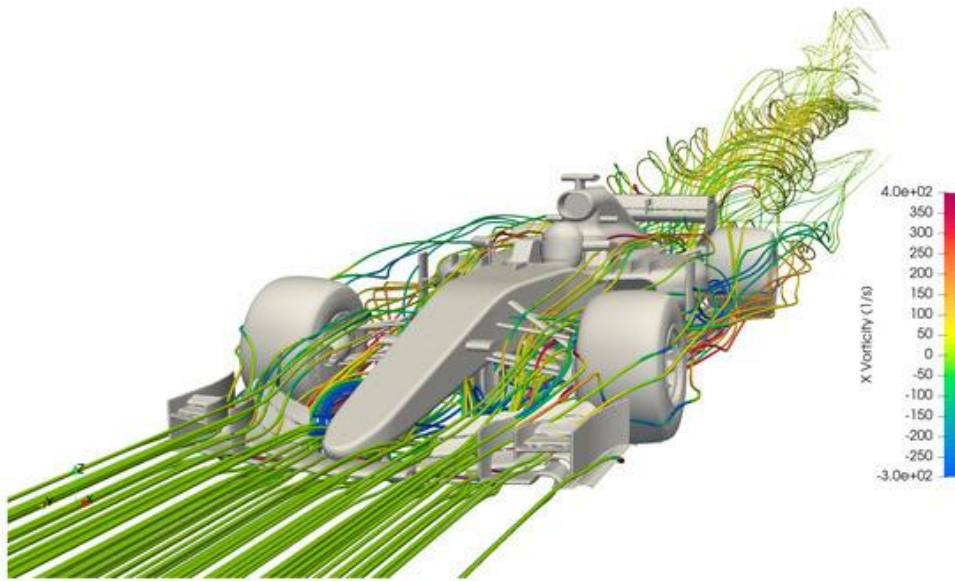


Figura 7. Líneas de corriente de la vorticidad axial.

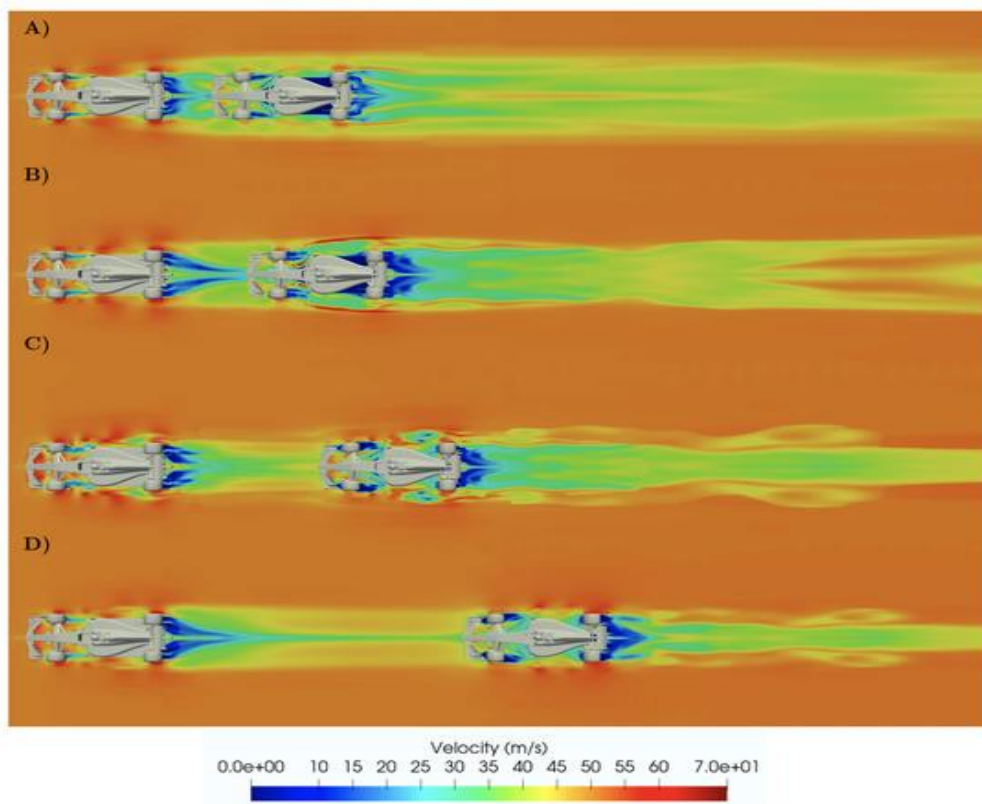


Figura 8. Contornos de velocidad en un plano superior a una distancia de (A) 0,25 L, (B) 0,5 L, (C) 1 L y (D) 2 L.

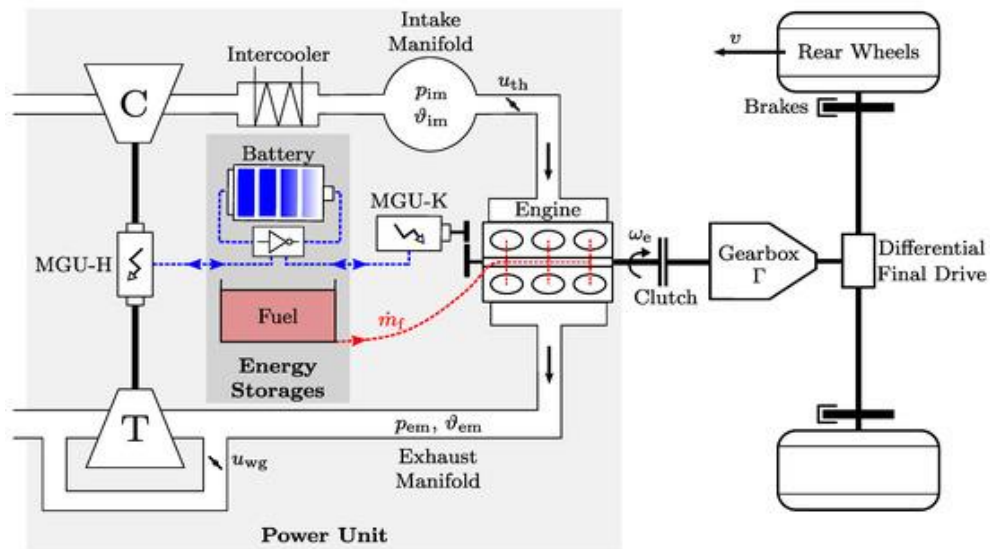


Figura 9. Representación esquemática de los componentes principales del sistema de propulsión eléctrico híbrido de Fórmula 1, donde se muestra el motor de combustión interna turboalimentado y los dos motores eléctricos MGU-K y MGU-H. La potencia de propulsión se transmite a las ruedas traseras a través de la caja de cambios.