

PROYECTO FIN DE MÁSTER EN SISTEMAS INTELIGENTES

# Aplicación de técnicas de simulación de bajo coste en un sistema de eLearning en la Organización Nacional de Trasplantes

---

Máster en Investigación en Informática,  
Facultad de Informática, Universidad  
Complutense de Madrid.

**Director: Baltasar Fernández Manjón**

Blanca Borro Escribano

Año Académico: 2009/2010

## Agradecimientos

Mis más sinceros agradecimientos a Baltasar Fernández Manjón, pues sin su ayuda este proyecto no habría salido adelante, y nunca habría alcanzado la dimensión que está alcanzando.

A todo su equipo por su ayuda tanto moral como técnica a cualquier hora del día. Pablo, Javier y Eugenio.

A Itziar, cuya experiencia en la coordinación de trasplantes ha sido primordial para los desarrollos de las simulaciones, y porque ha creído en el proyecto, igualmente a cualquier hora. Y a la ONT, en su conjunto, por haberme permitido desarrollar el proyecto en su nombre y como una parte más de sus proyectos.

A Antón Fernández, por dedicar un día completo a enseñarme cómo funciona la coordinación hospitalaria y ayudarme a realizar el contenido multimedia.

A Papá, Mamá y Gaby, a Fernando, a Nico, a Fátima y a María por aguantarme.

Y por último pero no por ello menos importante, a Luis Gallardo y por supuesto a Rafael Matesanz por haberme apoyado y ser quienes han impulsado el proyecto.

## Contenido

Agradecimientos.....	2
Resumen.....	7
Palabras Clave.....	7
Summary.....	8
Key words.....	8
1. Introducción.....	9
2. Estado del Arte.....	15
2.1. Simulaciones y videojuegos en E-Learning, Plataformas y Estándares.....	15
2.2. Videojuegos en e-Learning y Medicina.....	20
3. Planificación.....	24
4. Metodología.....	25
4.1. Resumen.....	25
4.2. Detección de Protocolos.....	28
4.3. Desarrollo de las simulaciones.....	35
4.4. Protocolo de Detección de Posibles Donantes.....	38
4.4.1. Entrevista con el personal experto.....	38
4.5. Protocolo de diagnóstico de muerte encefálica.....	39
4.5.1. Evaluación Formativa.....	42
4.6. Protocolo de evaluación de donantes.....	42
4.6.1. Casos de Uso.....	46
Donante 1.....	46
Donante 2.....	46
Donante 3.....	46
Donante 4.....	47

Donante 5 .....	47
Donante 6 .....	47
Donante 7 .....	47
4.6.2. Evaluación Formativa.....	47
4.6.3. Fase 1 – Mantenimiento Evolutivo .....	48
4.7. Distribución de los órganos.....	49
4.7.1. Casos de Uso .....	53
Donante 1 .....	53
Donante 2 .....	53
Donante 3 .....	54
Donante 4 .....	54
Donante 5 .....	54
4.7.2. Evaluación Formativa.....	55
4.7.3. Fase 1 – Mantenimiento Evolutivo .....	55
4.8. Logística de Transporte de órganos .....	56
4.8.1. Casos de Uso .....	59
Donante 1 .....	59
Donante 2 .....	59
Donante 3 .....	59
Donante4 .....	59
4.8.2. Evaluación Formativa.....	60
4.8.3. Fase 1 – Mantenimiento evolutivo .....	60
5. Despliegue de la aplicación en Moodle .....	61
6. Resultados.....	63
7. Conclusiones y Trabajo Futuro .....	70
7.1. Conclusiones .....	70
7.2. Limitaciones y Mejoras.....	72
7.3. Trabajo Futuro.....	73

Bibliografía .....	75
Anexo A- Requisitos Evaluación Donante. Datos clínicos y evaluación del donante.....	78
Anexo B- Coordinación extra hospitalaria en los proceso de donación y trasplante .....	84
Anexo C- Criterios de distribución .....	86
Anexo D- Logística de los Transportes.....	90
Anexo E- Diagnóstico de Muerte encefálica .....	93

La abajo firmante, matriculada en el Máster en Investigación en Informática de la Facultad de Informática, autoriza a la Universidad Complutense de Madrid (UCM) a difundir y utilizar con fines académicos, no comerciales y mencionando expresamente a su autor el presente Trabajo Fin de Máster: “Aplicación de técnicas de simulación de bajo coste en un sistema de e-Learning en la Organización Nacional de Trasplantes”, realizado durante el curso académico 2009-2010 bajo la dirección de Baltasar Fernández Manjón en el Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial, y a la Biblioteca de la UCM a depositarlo en el Archivo Institucional E-Prints Complutense con el objeto de incrementar la difusión, uso e impacto del trabajo en Internet y garantizar su preservación y acceso a largo plazo.

## Resumen

La Organización Nacional de Trasplantes ha logrado desde su origen en el año 1989 que España pase a ser el país con mayor número de donaciones por millón de habitantes convirtiéndose en el centro de atención de todos aquellos países que tienen un sistema sanitario evolucionado. Estos países quieren aprender del ya conocido como “Modelo Español”, con el objetivo de disminuir las largas listas de espera de receptores. Este trabajo describe el diseño, planificación, sistematización y despliegue de un sistema de e-learning en la ONT. En este sistema de e-learning se han utilizado simulaciones de bajo coste para la representación de los protocolos de trabajo. La sistematización de estos protocolos se ha desarrollado gracias a la plataforma <e-adventure>, que permite la creación de simulaciones y juegos educativos de bajo coste que incluyen características educativas. <e-adventure>.Permite además la integración de las simulaciones desarrolladas en el sistema de gestión de enseñanza (LMS) lo que facilita el despliegue de los juegos desarrollados de modo sencillo y permite nuevas posibilidades de formación. El sistema de educación online de la ONT, *educ@nt*, permitirá a cualquier estudiante de cualquier lugar del mundo acceder a la plataforma a través de un ordenador y poder conocer y familiarizarse con el proceso de coordinación utilizado en la ONT y sus metodologías de trabajo. Estas simulaciones tienen la ventaja de que permiten aprender y practicar el procedimiento tantas veces como sea necesario con la posibilidad de cometer errores en el proceso sin afectar a la efectividad del proceso real. El uso de la descripción textual de los distintos protocolos existentes en la ONT para producir las simulaciones ha permitido detectar errores previos así como formalizar y contrastar el conocimiento representado en el procedimiento. Esto ha producido una mejor especificación de los procesos médicos, ya que ahora mediante la ejecución de la simulación se puede comprobar el conocimiento representado o detectar aquellos conocimientos o procesos implícitos que no están formalmente representados.

## Palabras Clave

E-Learning, E-Adventure, Sistema de gestión de cursos, Donación, Trasplante, Simulaciones, Videojuegos, Educación

## Summary

The National Transplantation Organization has helped, since its origin in 1989, Spain to become the country with the largest number of donations per million population becoming the focus of all those countries with an evolved health system. These countries want to learn the well-known "Spanish model" with the aim of reducing their long waiting lists of recipients. This paper describes the design, planning, systematization and deployment of an e-learning system in the ONT. System that uses low-cost simulations to represent the protocols. The systematization of these protocols has been developed thanks to the <e-adventure> platform, which allows the creation of educational games and simulations that include low-cost educational characteristics. <e-adventure> also allows the integration of these simulations in a learning management system (LMS) which facilitates the easy deployment of the games developed and allows new possibilities for training. The e-learning platform of the ONT, *educ@nt*, allows any student anywhere in the world to access the platform through a computer and to know and become familiar with the coordination process used in the ONT and its methods of work. These simulations have the advantage that users can learn and practice the procedure as many times as necessary with the possibility of making errors in the process without affecting the effectiveness of the real process. Thanks to the use of a textual description of the various existing protocols for the development of the simulations, it has been possible the detection of previous existing errors, and also the formalization and comparison of the knowledge represented in the procedures. This has provided the ONT with an improved specification of the medical procedures. While running these simulations, expert users can check the knowledge and also detect implicit processes or knowledges that weren't formally represented.

## Key words

E-Learning, E-adventure, Learning Management System, Donation, Transplantation, Computer Simulation, Videogames, Education.

## 1. Introducción

Cualquier país con un sistema sanitario evolucionado tiene a día de hoy un sistema de Organización Nacional de Trasplantes que gestiona el complejo proceso de la donación y el trasplante. La finalidad de todas estas organizaciones es maximizar el número de donantes por millón de población para poder así minimizar las largas listas de esperas que existen en la actualidad.

España es desde el año 1992 líder mundial en número de donantes por millón de población (pmp) habiendo pasado de 21,7 donantes pmp en ese año y 34,4 donantes pmp en 2009 frente a los 26,3 donantes pmp de Estados Unidos, los 6,5 donantes pmp de Sudamérica o los 12,1 donantes pmp de Australia. (Figura 1) (Acedos, 2008) (Trasplantes, Organización Nacional de Trasplantes)

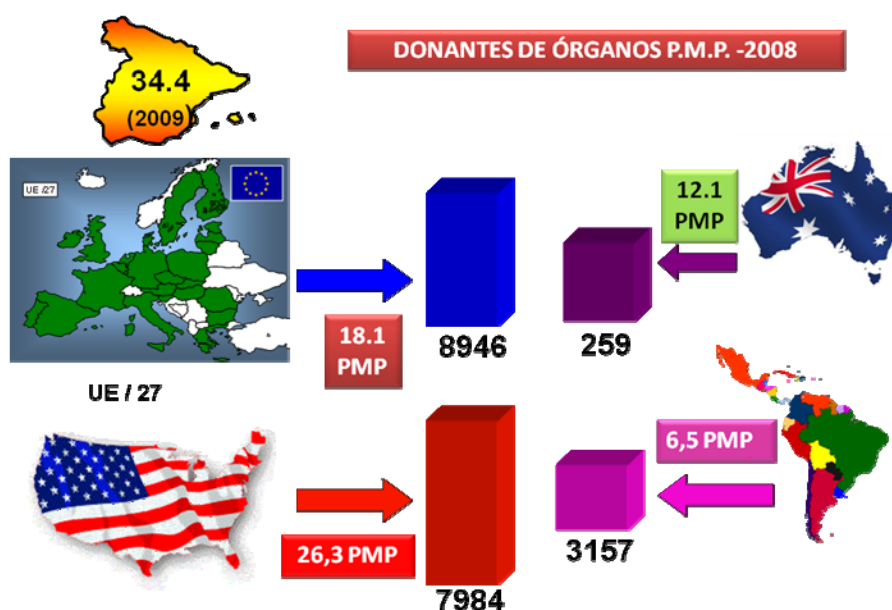


Figura 1 Donantes por millón de población

Este es el único ejemplo en todo el mundo de un país de tamaño mediano/grande con un incremento continuo en sus índices de donación, alcanzando casi un 150% desde sus orígenes (Figura 2), con aumentos similares en todos los órganos sólidos. Hecho que, junto con el liderazgo arriba mencionado la convierte en foco de atracción para el resto de países, que quieren replicar el ya conocido "Modelo Español" (Acedos, 2008) para hacer frente al problema universal de escasez de órganos que vivimos en la actualidad.

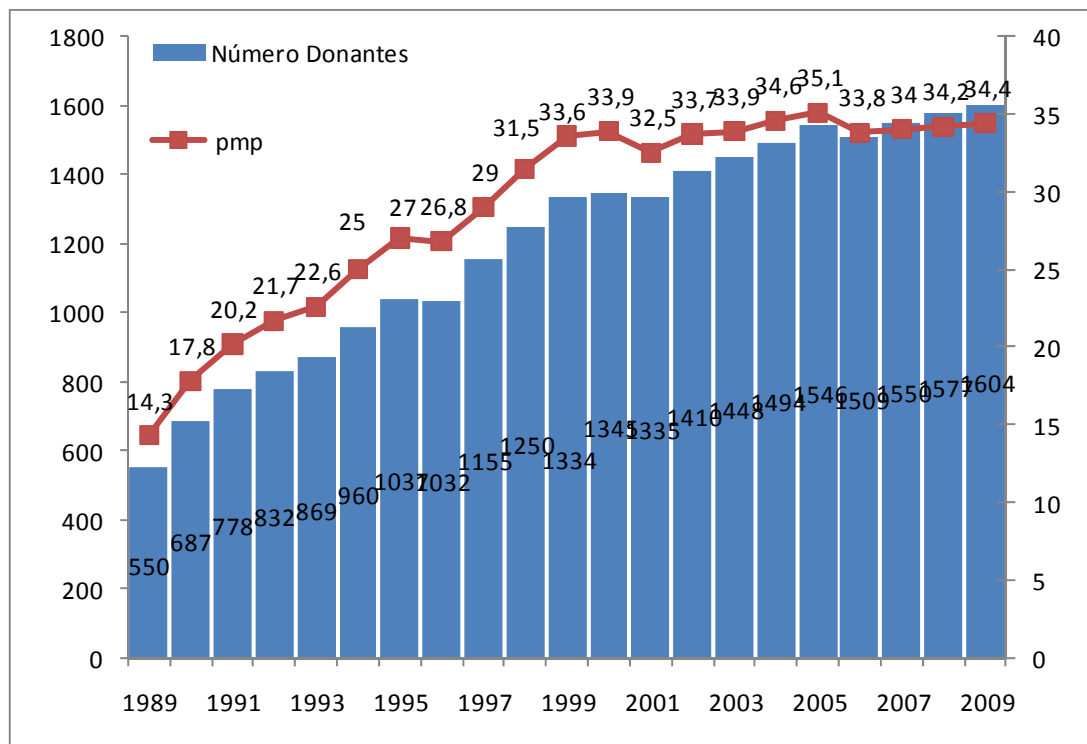


Figura 2 Evolución de número de donaciones en España

Ante esta situación de liderazgo y siendo un punto de atracción internacional, España a través de su Organización Nacional de Trasplantes, ONT, desea compartir sus conocimientos a todos aquellos interesados. Sin embargo, el proceso de coordinación de donación y trasplantes es un proceso largo, complejo y propenso a errores que pueden ser fatales y que, por tanto, hay que evitar a toda costa. Durante este proceso, el enfermero de la ONT (responsable último del proceso) tiene que ser capaz de gestionar la entrada y salida constante de llamadas del personal implicado en el proceso (hospitales donantes y receptores) así como organizar la logística de los transportes (bien sea la contratación de aviones privados como el uso de aviones regulares gracias a los convenios establecidos). Al mismo tiempo que tiene que comprobar que toda la información originada esté en regla y ser capaz de evaluar y distribuir correctamente al donante en función de los criterios actuales de distribución y tener en cuenta complejidades adicionales como son la cesión de órganos entre hospitales, las urgencias o entre otras. Esto sólo para un trasplante, pero teniendo en cuenta que a partir de un mismo donante pueden llegar a realizarse hasta 7 u 8 trasplantes, y que pueden llegar a haber hasta 5 o 6 donantes simultáneos (siendo 13 el máximo histórico) se obtiene una idea aproximada de la complejidad que adquiere el proceso.

En la actualidad esta formación dura una media de seis meses y consiste básicamente en el modelo de aprendiz-experto, con la participación continua del nuevo personal de enfermería de la ONT en las guardias y en el día a día de la coordinación, esta formación es por tanto completamente presencial.

La transmisión de conocimientos a otros países y la formación de mucho más personal necesita tener un enfoque diferente que evite la necesidad de traslado de los profesionales interesados a la ONT para conocer el proceso. Es necesario pensar en soluciones que minimicen el uso de los limitados recursos existentes y no limiten el tiempo de aprendizaje (aunque en todo caso las simulaciones se plantean como material complementario y no necesariamente sustitutivo de la formación presencial –sí puede contribuir a acortar la duración de dicha formación presencial-).

La formación a través de simulaciones altamente interactivas basadas en imágenes y videos reales permitirá a todo aquel interesado en aprender el proceso de coordinación de la donación y el trasplante dedicar tanto tiempo como necesite al curso además de aprender mientras interactúa con el entorno (*learning by doing*) (Williamson Shaffer David, 2004), comprendiendo así ciertos conceptos difíciles de explicar por medio de la palabra.

Además, estas simulaciones computarizadas emulan casos reales del proceso de coordinación de trasplantes en las que el alumno se enfrenta a decisiones reales a la hora de evaluar correctamente un donante, distribuirlo y gestionar sus transportes, pero sin correr riesgo alguno de empañar la efectividad del proceso real. Estos casos de uso han sido previamente estudiados y valorados como representativos del proceso, incluyendo también casos excepcionales que podrían no presentarse durante los 6 meses de curso presencial, adquiriendo así el jugador experiencias que le permitirán enfrentarse a estas situaciones en el futuro con mayor solvencia.

Los alumnos podrán realizar estas simulaciones desde un ordenador, a través de cualquier navegador web. En estas simulaciones los alumnos adquieren el rol del personaje responsable del proceso y tendrán que tomar las decisiones necesarias para finalizar satisfactoriamente el proceso. Las aplicaciones permiten además a los alumnos realizar las simulaciones todas las veces que consideren necesario antes de enfrentarse al caso real y así conocer el marco general del proceso de donación y trasplante. Es un marco general porque cada donación tiene excepciones y tiene casos particulares que se conocen con la práctica, es decir, este proceso no es 100% sistematizable (hay cerca de 22.000 donantes, donde cada donante es una excepción en sí misma).

Teniendo una clara finalidad educativa, estas simulaciones educativas no dejan por ello de carecer de los elementos característicos de los videojuegos, de modo que el alumno encontrará “trampas” y bloqueos a lo largo de su aventura para comprobar y evaluar su conocimiento así como mantener su atención y su motivación. De hecho la ejecución no es lineal ni repetitiva ya que en ejecuciones sucesivas de la misma simulación se pueden presentar casos de donación diferentes.

Para lograr maximizar la efectividad del aprendizaje es necesario lograr un equilibrio adecuado entre el realismo de la simulación, los elementos característicos de juego y un modelo adecuado de educación. (Aldrich, 2005)

Sin embargo a la hora de desarrollar estas simulaciones nos encontramos con el problema del coste, las simulaciones más complejas suelen tener un coste muy elevado, suponiendo un problema a la hora de desarrollar este tipo de enseñanza interactiva, en (Grace Huang, 2007), podemos observar como la mayoría de las herramientas educativas de *virtual training* tienen un coste como mínimo de \$10.000 siendo más habitual encontrar aplicaciones en el entorno de los \$50.000.

El desarrollo de las simulaciones con la plataforma <e-Adventure> (desarrollada por el Grupo de Investigación en e-learning de la UCM) (Grupo de Investigación UCM), permite la creación de simulaciones utilizando contenidos multimedia sin comprometer en ningún momento el coste del proyecto (Moreno Ger P, 2008).

La utilización de una herramienta de creación de videojuegos como <e-Adventure> permite a los instructores participar activamente en el desarrollo del curso gracias al editor que proporciona la plataforma, basado en aventuras gráficas *point and click*, pudiendo el profesor modificar los contenidos del juego sin necesidad de tener conocimientos de programación, ver los resultados inmediatamente, añadir nuevas trampas o nuevos contenidos. De la misma manera, podrá modificar los contenidos estáticos del curso sin necesidad en ninguno de los casos de un gran conocimiento informático ya que no es necesario programar nada. Esto simplifica en gran medida uno de los problemas existentes con las “simulaciones cerradas” contratadas externamente que tienen ciclos de actualización más largos o incluso que no representan el procedimiento ya que, por ejemplo, el procedimiento se ha podido modificar en la práctica pero no se ha actualizado en la simulación.

Además con con la plataforma <e-Adventure> los juegos se pueden empaquetar como objetos de aprendizaje que son automáticamente desplegados en un entorno de gestión de e-learning o LMS. Para distribuir la simulación entre los estudiantes se ha utilizado un entorno e-Learning siguiendo la idea de un sistema de aprendizaje “blended-learning”. Estas plataformas e-Learning (Moodle™, Sakai™, or WebCT-Blackboard™) son un medio muy bueno para la distribución de contenidos a los estudiantes (por ejemplo la Universidad Complutense de Madrid, que tiene a día de hoy las tres plataformas para distribuir contenidos a través de llamado Campus Virtual) (Figura 3).



Figura 3 Campus Virtual Universidad Complutense Madrid

El desarrollo de estas simulaciones ha dado lugar a la formalización del conocimiento gracias a la detección previa de los distintos protocolos que existen en la Organización Nacional de Trasplantes. Estos procedimientos están firmemente implantados, de ahí la alta y ya conocida efectividad del “Modelo Español”, se ha detectado en este trabajo que parte del conocimiento necesario para realizar el trabajo es un conocimiento implícito, mantenido, actualizado y mejorado por el equipo de profesionales médicos de la ONT. Es decir, muchos de los protocolos utilizados en la ONT, son conocidos única y exclusivamente por el personal interno de la ONT, pero no están plasmados en el papel, razón por la cual la formación de la enfermería de la ONT es necesariamente presencial. Además gracias a la utilización de la descripción textual existente de los protocolos de la ONT para desarrollar las simulaciones se han podido detectar errores existentes no detectados antes y conocimiento no actualizado, de modo que se ha mejorado la manera de formalizar y contrastar el conocimiento representado en el procedimiento. Por tanto, se ha producido una mejor especificación de los procesos médicos, ya que ahora mediante la ejecución de la simulación se puede comprobar el conocimiento representado o detectar aquellos conocimientos o procesos implícitos que no estaban formalmente representados.

Previo a la puesta en producción de este innovador sistema de formación, se ha realizado un periodo de evaluación formativa de las simulaciones con un grupo reducido de enfermeros ya experimentados de la Coordinación de Trasplantes. Tras la validación con estos usuarios se habilitó una página web <http://educaont.ont.es> desde la cual los

estudiantes puede acceder a todo el material formativo, incluyendo las simulaciones, y enviar los resultados al responsable del proceso de coordinación desde cualquier lugar del mundo. Esta página web está en vías de desarrollo, siendo el personal de enfermería el responsable de añadir los contenidos estáticos con la información genérica de referencia y los demás objetos educativos.

Gracias a este sistema e-Learning se evitan errores del pasado en los que los cursos de enseñanza online eran meros depósitos de contenido que acababan en el olvido, y a pesar de que la comprensión del proceso de donación y trasplante requiere de gran cantidad de material estático, se incluye también material multimedia e interactivo como son simulaciones, videos, foros, wikis...

A pesar de no ser la finalidad de estos cursos ya que a los cursos de formación del proceso de donación y trasplante, los alumnos asisten de manera voluntaria y normalmente con una elevada motivación, el instructor podrá además tener información de la actividad de los alumnos. Por ejemplo, obtener resultados de la actividad de los jugadores, tanto en la parte estática del juego como en las partes de simulaciones, pudiendo saber cuánto tiempo ha estado el jugador estancado en una determinada escena, los errores cometidos y la puntuación final que ha obtenido.

Aunque la aplicación de las simulaciones en la ONT está empezando los resultados son muy prometedores tanto en su vertiente formativa como en la mejora de la sistematización y formulación de los propios protocolos utilizados

## 2. Estado del Arte

### 2.1. Simulaciones y videojuegos en E-Learning, Plataformas y Estándares

La visión de que los videojuegos o simulaciones son meros transportadores de entretenimiento está cambiando, hoy en día es más y más evidente que ciertos videojuegos pueden ser utilizados para mucho más que la simple diversión. Los videojuegos permiten a los jugadores integrarse en mundos virtuales, haciéndoles pensar, hablar e interactuar como personajes que no son en la vida real (por ejemplo, un niño puede adquirir el rol de un médico que tiene que curar a un paciente en un videojuego determinado) (Williamson Shaffer David, 2004). Por eso los videojuegos o simulaciones pueden ser potentes herramientas para el aprendizaje. En estos mundos virtuales, que representan los videojuegos, aprender deja de significar enfrentarse a palabras, cálculos o símbolos complejos, convirtiendote en parte de ellos, comprendiendo así lo que realmente significan. No sólo ayudan a aprender nuevos conceptos, gracias a la integración en estos mundos virtuales sino que, siguiendo este mismo enfoque, también facilita la especialización o mejora para los profesionales, pudiendo éstos enfrentarse a técnicas o procedimientos concretos simulados no habituales o más complejos, que los que se encuentran en el desarrollo de su práctica diaria.

Los videojuegos ayudan, además, a desarrollar nuevas prácticas sociales. A diferencia de otros métodos educacionales, donde el estudiante pasa largas horas estudiando sólo frente a los libros, éstos suelen generar sitios, foros y lugares de reunión en la web donde comparten información, conocimientos y descubrimientos. Estas comunidades de jugadores desarrollan también otras habilidades, ya que se organizan entre ellos para lograr el objetivo de compartir su experiencias con lo que se consigue que los jugadores desarrollen valores comunes.

Otra de las grandes ventajas que tienen las simulaciones o los videojuegos, con objetivos educativos, es que permiten la repetición indefinida de errores sin afectar al entorno real que se está simulando, es decir, podemos tratar a un paciente tantas veces como sea necesario sin afectar al paciente real, o bien realizar tantas pruebas de despegue o aterrizaje en el caso de las simulaciones de vuelo sin comprometer el coste o la integridad del avión o de sus pasajeros. En las simulaciones, los errores no suponen

más que indicadores de éxito o fracaso en el desarrollo de la aventura, o del procedimiento. (Dawson MD, 2006).

La teoría educacional que traen consigo los videojuegos es distinta a la lectura de libros y asistencia a clases, es una manera interactiva de aprender utilizando los ordenadores. Además, podemos destacar como beneficios de los videojuegos, que:

- Los jugadores tienen que utilizar los conocimientos aprendidos previamente para poder avanzar a niveles más complejos del juego por lo que tienen que ser capaces de retener estos conocimientos.
- Los jugadores obtienen retroalimentación continua por parte del juego, gracias a las puntuaciones, a los estímulos visuales etc.
- Se transfieren las habilidades adquiridas al mundo real.
- Está demostrado que los jugadores de videojuegos están más motivados para afrontar nuevos retos y desarrollar ideas.

*Educ@nt* (Trasplantes, Educ@nt, 2010), nombre que hemos dado al sistema de enseñanza online de la ONT, se ha desarrollado con la plataforma Moodle (Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment) (Moodle, 2010), sistema de gestión de cursos (LMS) de software libre.

Moodle tiene la flexibilidad pedagógica necesaria para adaptarse a diferentes estilos en función de las necesidades del usuario, con un interfaz amigable, fácil de usar y útil en cuanto a funcionalidades. Al ser código abierto puede instalarse y modificarse cuando se considere necesario, y conectarse a las bases de datos u herramientas que necesitemos (Figura 4).

Es además, una plataforma en continuo crecimiento, en parte debido a los más de 400.000 usuarios registrados en sus foros, de los cuales solo el 30% son técnicos, siendo el resto educadores, gestores de proyectos y otros que aportan una gran riqueza a la plataforma, gracias a sus ideas de modificaciones y mejoras y a la enorme documentación aportada por ellos.

Las simulaciones se están desarrollando mediante la plataforma Open Source <e-Adventure> (Grupo de Investigación UCM), que permite la exportación de sus contenidos como Objetos de aprendizaje siendo así desplegados en diversos Learning

Management Systems. Para el caso de Moodle, lo exportamos con el formato IMS CP. (IMS) (Figura 5).



Figura 4 Plataforma Moodle de la ONT

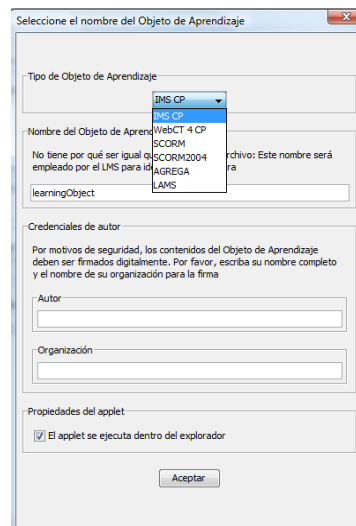


Figura 5 Tipos de objetos de aprendizaje exportable desde e-Adventure

Moodle permite utilizar este tipo de paquetes de contenidos, cargándolos e incluyéndolos en cursos de forma sencilla.

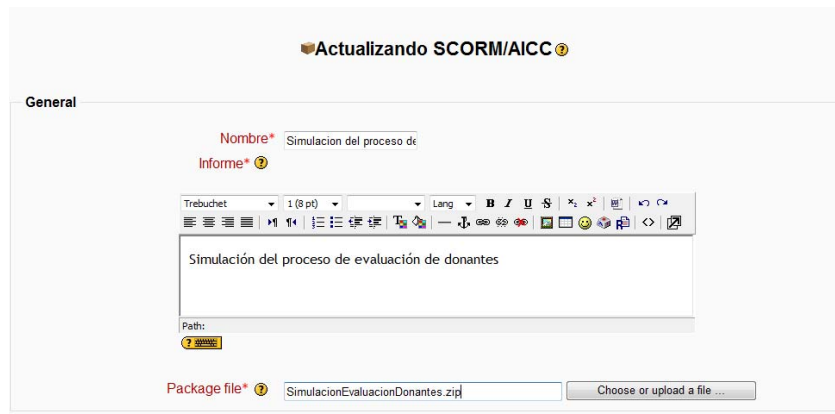


Figura 6 Integración de paquetes de contenidos con Moodle

<E-Adventure> es un editor gráfico de software libre desarrollado en java por la Universidad Complutense de Madrid. Constituye un proyecto de investigación que pretende facilitar la creación de juegos educativos y simulaciones siendo una plataforma completa para el desarrollo de juegos de aventura clásicos basados en narrativa con fines educativos.

En la actualidad, Moodle (Moodle, 2010) permite el despliegue de las simulaciones desarrolladas con <e-Adventure> pero sin mantener la comunicación entre éste y el resto de contenido educativo, es decir, considerando la simulación desplegada como un objeto estático más. Está previsto ampliar la funcionalidad de la herramienta de autoría de simulaciones (e-Adventure, 2010) para permitir la integración con LAMS. Con ello se conseguirá la comunicación en los sistemas de gestión de cursos entre los distintos objetos de aprendizaje.

Para el correcto desarrollo del proceso es necesario seguir una estandarización, que aportará al proyecto las siguientes ventajas:

- Interoperabilidad: Se podrá intercambiar y mezclar contenido de múltiples fuentes y se podrá utilizar directamente en distintos sistemas. Estos podrán comunicarse, intercambiar información e interactuar de forma transparente.
- Reusabilidad: El contenido puede ser agrupado, desagrupado y reutilizado de forma rápida y sencilla. Los objetos de contenido podrán ensamblarse y utilizarse en un contexto diferente a aquel para el que fueron inicialmente diseñados.
- Gestionabilidad: El sistema puede obtener y trazar la información adecuada sobre el usuario y el contenido.

- **Accesibilidad:** El usuario puede acceder al contenido apropiado en el momento justo y en el dispositivo correcto.
- **Durabilidad:** Permite que haya una inversión significativa para lograr la reutilización sin quedarse atrapado en la tecnología propietaria de una determinada empresa.
- **Escalabilidad:** Las tecnologías pueden configurarse para aumentar la funcionalidad de modo que se pueda dar servicio a más usuarios respondiendo a las necesidades de la institución y que esto no exija esfuerzo económico excesivo.

La herramienta <e-Adventure> y por tanto las simulaciones desarrolladas siguen la especificación del IMS Content Packaging (Fernandez-Manjón, 2009) que describe como empaquetar los contenidos educativos (Objetos de Aprendizaje) para que sean reutilizables e intercambiables entre los diferentes LMS. Para ello utiliza un documento llamado Manifiesto que es un XML que contiene los recursos y la estructura sobre cómo se organizan estos recursos en el paquete. El esfuerzo llevado a cabo por el IMS Global Consortium ha supuesto un gran impacto en el uso de esta especificación.

SCORM (Sharable Courseware Object Reference Model) (Fernández-Manjón, 2009) propone un entorno de ejecución, un modelo de metadatos y un modelo de la estructura de los cursos (modelo de agregación de contenidos). En su versión 2004 este modelo ha pasado a incluir también la secuenciación y navegación (Sequencing and Navigation SN) de los contenidos.

SCORM define un modelo software que describe el modelo de agregación de contenidos, las interrelaciones establecidas entre las componentes de los cursos, los modelos de datos y los protocolos de comunicación, de manera que los “objetos” definidos en un LMS puedan compartirse entre diferentes LMS.

Los elementos más característicos del modelo son:

- **Modelo de Agregación de Contenido:** En este modelo se definen los cursos y se distinguen los objetos de aprendizaje compartibles (Sharable Courseware Object, *SCO*), curso o componente de un curso que cumple con los requisitos de interoperabilidad, durabilidad y que dispone de la información suficiente para poder ser reutilizado y accesible. Un SCO es la mínima unidad intercambiable entre sistemas compatibles con SCORM, y consiste en un objeto de aprendizaje que

incluye un módulo software que le permite comunicarse con el entorno de ejecución proporcionado por el LMS. Además se identifican los recursos básicos, como ficheros de texto, audio, video, etc. Estos recursos se agrupan en los SCOs.

- **Entorno de ejecución:** Propone un entorno estándar en el que se puede presentar un objeto de aprendizaje (en este caso un SCO) que es capaz de intercambiar datos con el LMS. El LMS se encarga de enviar los contenidos al alumno y el contenido intercambia la información sobre el alumno y el seguimiento de su interacción con el curso al LMS.
- **Secuenciación y navegación:** Es la información que permite complementar el diseño del curso, asesorando sobre cómo se van a presentar dichos contenidos al usuario. Esta presentación no tiene por qué ser siempre la misma, ya que puede depender de las respuestas o comportamiento de los alumnos.

## 2.2. Videojuegos en e-Learning y Medicina

El sistema educativo en el campo de la Medicina, que conservaba los mismos fundamentos desde hace cientos de años, se enfrenta en las últimas décadas a cambios muy significativos derivados, entre otras cosas, de la disminución de las estancias por parte de los pacientes en los hospitales, con la consecuente disminución de tiempo de aprendizaje de los residentes de medicina que adquirirían su experiencia gracias a la interacción con los pacientes. Las simulaciones les permiten realizar prácticas con pacientes virtuales durante tanto tiempo como necesiten y ayudan a convertir la medicina en un entorno más seguro para los pacientes (Dawson MD, 2006).

Según el Center for Disease Control and Prevention (CDC) (Carlson, 2009), los resultados obtenidos por los llamados “Health eGames” sugieren beneficios muy significativos en una gran variedad de personas y para un número también importante de enfermedades, mejorando la actividad física o ayudando a combatir la demencia entre otras.

Existen cientos de ejemplos de Health eGames. Podemos comentar, el **Hope Labs Re-Mission Game**, videojuego dirigido a los pacientes con cáncer donde los jugadores controlan un microscópico robot que entra en el cuerpo de los pacientes con cáncer para eliminar las células cancerígenas y evitar su expansión, además monitorizan los efectos secundarios del tratamiento del cáncer. Se ha demostrado que estos jugadores muestran una mayor adherencia al tratamiento.

**Zero Hour** es un videojuego de realidad virtual diseñado en tres dimensiones, en el que el jugador adquiere el rol de un médico de emergencias que tiene que ser capaz de responder a catástrofes como ataques de armas biológicas. El jugador deberá diagnosticar y tratar los ataques de pánico de los pacientes así como organizar los suministros que están desorganizados. Este juego fue creado por el Departamento de Seguridad de Estados Unidos para entrenar a estos profesionales ante posibles situaciones reales. Es un ejemplo muy bueno de aprendizaje a partir del entorno.

En el artículo “Virtual Patient Simulation at U.S and Canadian Medical Schools” (Grace Huang, 2007) se describe cómo las simulaciones computarizadas de pacientes virtuales complementan la formación clínica de los residentes. En muchas ocasiones la necesidad de acortar los periodos de estancia de los pacientes complica las oportunidades para los residentes de interactuar y aprender de éstos. Los pacientes virtuales son una solución a estos problemas y se diseñaron para subsanar estas carencias exponiendo a los jugadores o alumnos a las enfermedades y problemas a los cuales no se enfrentarían debido a los cortos periodos de rotaciones clínicas. Los pacientes virtuales permiten, por ejemplo, simular el cuidado de un paciente con diabetes durante 9 años “virtuales” condensado en varias horas de simulación. Así, los estudiantes podrán vivir experiencias que no vivirían jamás durante su periodo de formación.

Es evidente, por tanto, que los días en los que se creía que los videojuegos aumentaban la agresividad y que eran un tipo de aprendizaje pasivo, han acabado (Ivor). Hoy en día los llamados “juegos a medida” están arrasando en la medicina, educación, negocios, gobierno, etc. Muchos están descubriendo, que los métodos más efectivos para el entrenamiento de profesionales del campo médico, son aquellos que utilizan los videojuegos para la simulación de casos reales.

Un ejemplo más cercano y que utiliza los mismos recursos que utilizaremos en nuestra simulación es el proyecto desarrollado por el departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia artificial de la Universidad Complutense de Madrid (Moreno Ger Pablo J. T.), que ha realizado una simulación de una práctica de laboratorio de la carrera de medicina en la que se mide el valor del hematocrito en una muestra de sangre mediante centrifugación. Un estudio real realizado entre dos grupos de estudiantes: uno que practicó con la simulación y otro grupo control que no practicó con esta, ha demostrado que los estudiantes que realizaron antes de la práctica real la simulación comprendieron mejor el procedimiento. Incluso, en los resultados obtenidos en la

medida del valor del hematocrito por los dos grupos, se observa que el grupo experimental obtuvo resultados más homogéneos que el grupo control.

Por último, cabe mencionar, que existe un videojuego que realiza una parte del proceso que queremos simular que fue desarrollado en el año 2002 por el Hospital Juan Canalejo de La Coruña (España), en colaboración con el Hospital Clinic i Provincial de Barcelona (España) que pretende ayudar al coordinador hospitalario en la comprensión del proceso de coordinación de trasplantes. Este juego simula una realidad virtual, donde el jugador adquiere el rol de coordinador hospitalario. El objetivo final del juego es la detección del donante, partiendo de 8 pacientes que se encuentran en la UCI. Estos 8 pacientes se seleccionan cada vez que se inicia el juego de entre 80 pacientes con características diferentes, así aseguramos que el juego no sea siempre el mismo. Los movimientos del coordinador se guían a través de un joystick y las respuestas a las distintas preguntas con las que se va encontrando el jugador a través del ratón y la tecla <Intro>. El coordinador podrá moverse de su despacho a la uci, o a los laboratorios en función de las decisiones que vaya tomando, evaluará a los distintos posibles donantes hasta llegar a detectar al donante final, momento en el cual se realiza la llamada a la Coordinación Central de trasplantes. El juego concluye dándonos una puntuación.

A pesar de que la filosofía del juego es muy buena, el proceso no cambia a lo largo del tiempo y al ser un juego relativamente antiguo tiene interfaces bastante anticuadas. Además el movimiento del jugador por medio del joystick es difícil, chocándose este continuamente con macetas o camas (el personaje adquiere el rol de los ojos del coordinador) y perdiendo por tanto, muchas veces más tiempo en aprender a moverse que en el aprendizaje en sí. Además, se requiere en todo momento la participación del formador, es decir, a pesar de ser una realidad virtual, carece de todas las indicaciones necesarias para poder realizar el juego uno solo o sencillamente tutelado por un monitor, con partes que hay que dar por hechas y que se instruyen por medio de la palabra, como es por ejemplo, la detección de posibles tatuajes. Este juego, que fue desarrollado por una empresa comercial, es cerrado y no admite modificaciones ni es mantenible por el propio personal médico. Además se limita a la evaluación y detección del donante, quedando pendientes por explicar el diagnóstico de muerte cerebral, la distribución de los órganos, y la logística de los transportes. Esta aplicación no es

distribuido por la web y sólo es desplegable en ciertos sistemas operativos, entre los cuales no están incluidos Windows XP o Vista.

### 3. Planificación

Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
1	<b>Implantación Sistema E-Learning ONT</b>	<b>107 días?</b>	<b>lun 04/01/10</b>	<b>mar 01/06/10</b>
2	Revisión de los protocolos	10 días?	lun 04/01/10	vie 15/01/10
3	<b>Storyboard 1</b>	<b>90 días?</b>	<b>lun 18/01/10</b>	<b>vie 21/05/10</b>
4	Desarrollo StoryBoard Coordinación ONT	10 días?	lun 18/01/10	vie 29/01/10
5	Reuniones Personal médico cualificado	8 días?	lun 01/02/10	mié 10/02/10
6	Desarrollo Simulación Coordinación ONT	21 días?	lun 15/02/10	lun 15/03/10
7	Pruebas con Usuarios Simulacion Coordinación ONT	5 días?	lun 17/05/10	vie 21/05/10
8	<b>Storyboard 2</b>	<b>87 días?</b>	<b>lun 01/02/10</b>	<b>mar 01/06/10</b>
9	Desarrollo StoryBoard Coordinación Hospitales	15 días?	lun 01/02/10	vie 19/02/10
10	Reuniones Lola Escudero	1 día?	vie 30/04/10	vie 30/04/10
11	Desarrollo Simulación Coordinación Hospitales	14 días?	lun 03/05/10	jue 20/05/10
12	Pruebas con Usuarios Simulacion Coordinación Hospitales	7 días?	lun 24/05/10	mar 01/06/10

Figura 7 Planificación del proyecto

## 4. Metodología

### 4.1. Resumen

Antes de la puesta en marcha del gestor de e-learning, fue necesario conocer la aceptación por parte del personal experto. Este personal son los propios empleados de la Organización Nacional de Trasplantes que son los que mejor conocen el proceso de coordinación extra hospitalario y, el coordinador hospitalario del hospital Juan Canalejo de La Coruña para la parte intra hospitalaria, responsable a su vez del desarrollo del videojuego interactivo mencionado anteriormente. Para esto, se pusieron en marcha diversos días en los que los expertos realizaron las simulaciones libremente, recibiendo únicamente soporte técnico y posteriormente rellenaron un formulario con sus valoraciones.

Además también se repartió un formulario entre usuarios no expertos que permitió valorar la usabilidad de las distintas simulaciones (Lewis, 1993), estos expertos son los asistentes al curso de la IX Reunión de la Red Consejo iberoamericano de donación y trasplante (RCIDT, 2010), desarrollado en Lima, donde se realizó la primera presentación formal del proyecto.

El principal objetivo de las simulaciones es la mejor comprensión del proceso de coordinación de trasplantes mediante la interacción con el entorno simulado. Los usuarios que valoraron las simulaciones son ya expertos en el proceso por lo que se evaluó su opinión respecto al paralelismo de los protocolos con las simulaciones.

El proyecto “Aplicación de técnicas de simulación de bajo coste en un sistema de e-Learning en la Organización Nacional de Trasplantes.” *educ@nt* pretende ser un apoyo fundamental a los cursos ya existentes bien ampliando o complementando conocimientos en aquellos módulos que no se puedan completar, sirviendo de recordatorio o repaso para todos aquellos cursos que ya se hayan dado, resolviendo dudas que aparezcan o bien sirviendo de plataforma de reunión y discusión para ex alumnos, futuros alumnos y profesores.

Sabiendo que los cursos de formación del proceso de Coordinación de Trasplantes son escasos, que los alumnos asistentes al curso son limitados, y que la duración de estos cursos es también corta, *educ@nt* permitirá ampliar la formación a un mayor número de alumnos interesados, que podrán aprender los conceptos generales del proceso y practicar con las simulaciones tantas veces como sea necesario. Al ser una plataforma

online, los alumnos podrán acceder desde un navegador siempre que quieran y recordar conceptos o repetir simulaciones o consultar dudas.

Estas simulaciones no pretenden en ningún momento competir con los videojuegos comerciales que existen a día de hoy ya que es un videojuego de bajo coste con una finalidad muy concreta y un perfil de usuario muy definido.

En el año 2008, se realizó un estudio entre 150 hospitales españoles el objetivo de buscar e identificar las mejores prácticas entre los mismos (de la Rosa, 2008). Este trabajo permitió la identificación de las unidades de estudio con mejores indicadores (benchmarks), así como investigar y describir las prácticas que justifiquen esos resultados de excelencia, es decir detectar un posible patrón de comportamiento. La finalidad evidente de este estudio es mejorar la actividad de donación y trasplante de órganos en nuestro país. *Educ@nt* tendrá en cuenta en todo momento la implementación de estas mejores prácticas, integrando los resultados obtenidos en las especificaciones y en las simulaciones. Este estudio no sólo ha sido extremadamente útil en el desarrollo de las simulaciones sino que muestra el interés de la ONT en protocolizar sus procedimientos.

Gracias a los sistemas de evaluación y seguimiento que nos proporciona <e-Adventure>, el profesor podrá animar a los alumnos a realizar una simulación previa al curso presencial, y, a partir de los resultados obtenidos enfocar el curso de la manera. Sin embargo, no es propósito de este sistema e-Learning la evaluación de los alumnos, ya que vienen voluntariamente y su nivel de motivación es máximo, pero la consecución del curso con su consecuente nota es siempre positivo para el alumno, que obtendrá además una certificación de la realización con “éxito” del curso.

Los juegos en <e-Adventure> pueden ser desarrollados en Tercera Persona o en Primera Persona: En *Tercera Persona* el jugador está representado en el juego mediante un avatar, que está bajo su control. Los movimientos de un sitio a otro no son instantáneos (se necesita tiempo para moverse entre los distintos lugares), y cuando éste habla el texto se muestra justamente sobre su cabeza. En *Primera Persona* no hay avatar sino quien explora el juego es el jugador en primera persona, las transiciones son instantáneas y suele tener fotos reales.

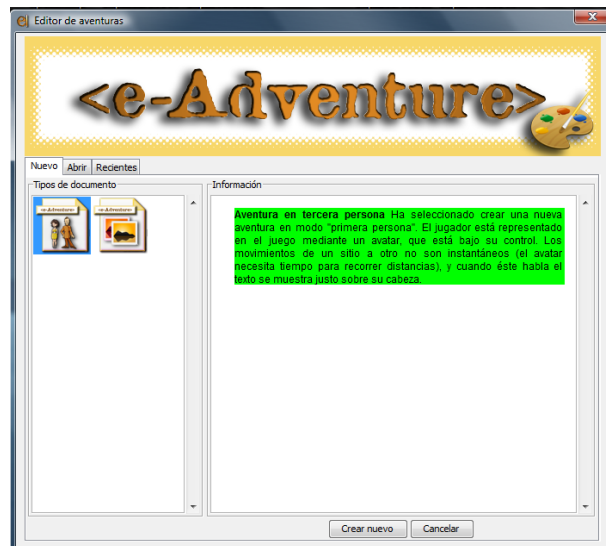


Figura 8 Nueva Aventura <e-Adventure>

Para nuestra simulación se han estudiado las dos opciones decidiendo finalmente crear las simulaciones “En Primera Persona” por la gran importancia que tiene para el personal sanitario (que es el principal usuario de este juego), el hecho de ver fotos reales de las distintas estancias así como videos reales (por ej. el video de cómo estimular los reflejos del posible donante).

Para diseñar correctamente las simulaciones siguiendo los objetivos educativos, éstas tienen que cumplir ciertas validaciones: (Dawson MD, 2006)

- Face Validity: Las simulaciones tienen que ser fieles a la realidad que están representando. La herramienta <e-Adventure> permite el uso de fotografías y videos por lo que para el desarrollo de las simulaciones se han empleado fotografías de escenarios reales, así como videos de prácticas reales.
- Content Validity: El sistema debe abarcar todo el conocimiento que se pretende enseñar. Para este caso, la evaluación formativa ha permitido dividir el proceso en varias simulaciones que abarcan cada uno de los procesos sin entrar en el estricto detalle de los procedimientos.
- Concurrent Validity: El sistema debe correlacionarse con otros sistemas de enseñanza de los mismos procesos. Salvo los cursos de formación del proceso de coordinación de trasplantes que se imparten dos veces al año, no hay ningún sistema o proceso semejante al que se está desarrollando. Las simulaciones representan y complementan lo que estos cursos enseñan por medio de material estático.

- Discriminant Validity: Esta validación no tiene relevancia en este proyecto ya que las simulaciones no pretenden comparar los resultados obtenidos con los de cualquier otro sistema, en caso de existir uno semejante. Son un complemento a la educación del proceso.
- Predictive Validity: ¿Si un jugador realiza bien las simulaciones, implica esto que podrá realizar correctamente el proceso de coordinación de trasplantes? A pesar de que las simulaciones reflejen los procedimientos detectados, no hay evidencias que demuestren que un enfermero pueda realizar correctamente el proceso de coordinación tras haber realizado las simulaciones, tampoco es el objetivo de las simulaciones, que serán un complemento al aprendizaje pero sin excluir la formación presencial.

#### 4.2. Detección de Protocolos

El primer paso, previo a comenzar el desarrollo de las simulaciones fue la detección de los procedimientos existentes, su grado de formalización y la decisión de cuáles son factibles de ser representados a través de juegos de aventura.

El proceso de donación y trasplante español consta de dos partes claramente definidas, la primera parte (parte intrahospitalaria) es aquella que se desarrolla dentro de un hospital, que comienza en el momento en que se detecta un posible donante hasta el momento en el cual se llama a la ONT para comunicar el donante y comienza la segunda parte del proceso, consistente en la evaluación de los donante, su distribución y posterior gestión de la logística del transporte de los órganos.

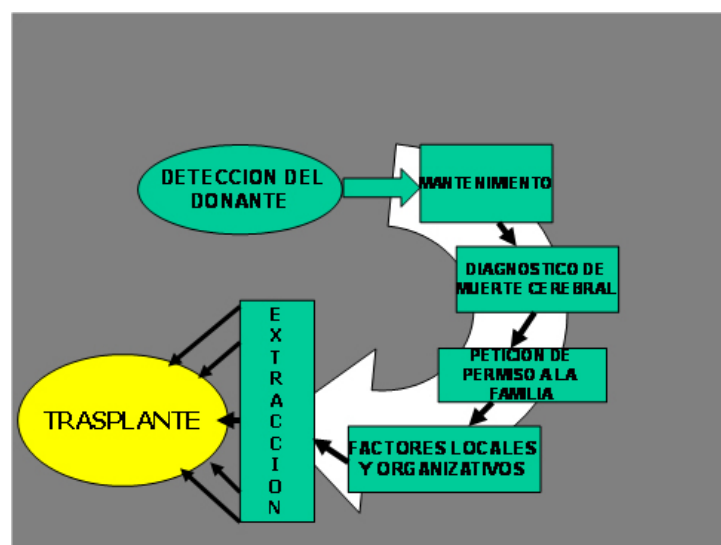


Figura 9 Proceso de Coordinación de Donación y Trasplantes

Para desarrollar una simulación de esta primera parte del proceso, el primer paso es definir los capítulos (simulaciones) que serán necesarios (Figura 10):

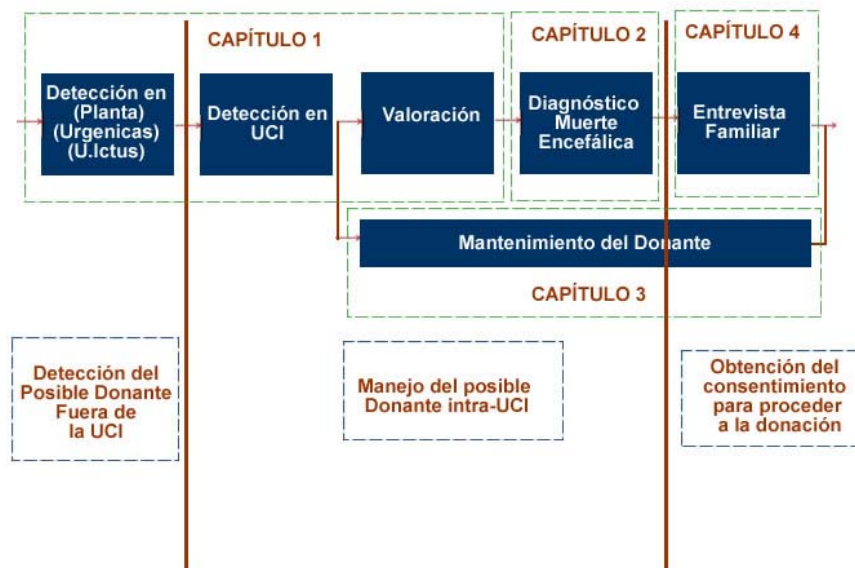


Figura 10 Parte Intra hospitalaria

**Protocolo de detección y evaluación de los donantes potenciales:** (Lopez-Navidad.A, 2008) Tanto la parte teórica como la parte de la simulación de este módulo son de gran importancia, porque es en este punto del proceso de donación donde se pierden la gran mayoría de los posibles donantes. La detección de donantes fuera de la UCI o Urgencias, no es un área de trabajo habitual en nuestro ámbito, al menos de forma generalizada. Sin embargo, la detección fuera de UCI de posibles donantes puede determinar importantes diferencias en el potencial de donación intra-UCI y en el resultado final del proceso (de la Rosa, 2008). Existen distintos ámbitos hospitalarios donde puede acontecer dicha detección, estos son el servicio de urgencias, en planta (sobre todo en áreas de hospitalización dedicadas a la atención del paciente neurológico y neuroquirúrgico) y en unidades específicas, como las denominadas unidades de ictus o la unidad de reanimación. Este procedimiento no está formalizado y cada hospital utiliza sus métodos en función del modo de trabajo que tengan. En un primer momento se había incluido dentro de este protocolo el diagnóstico de muerte encefálica, debido a que se suele realizar en paralelo la evaluación y el diagnóstico, sin embargo se han detectado diferencias notables que han desembocado en la separación de los procesos.

El desarrollo de esta simulación no es objeto de este proyecto debido a la necesidad previa de formalizar los requisitos para obtener una metodología común a todos los hospitales. El árbol de flujo que representará este capítulo de detección de posibles donantes lo podemos ver a continuación (Figura 11) (Anexo B- Coordinación extra hospitalaria en los proceso de donación y trasplante):

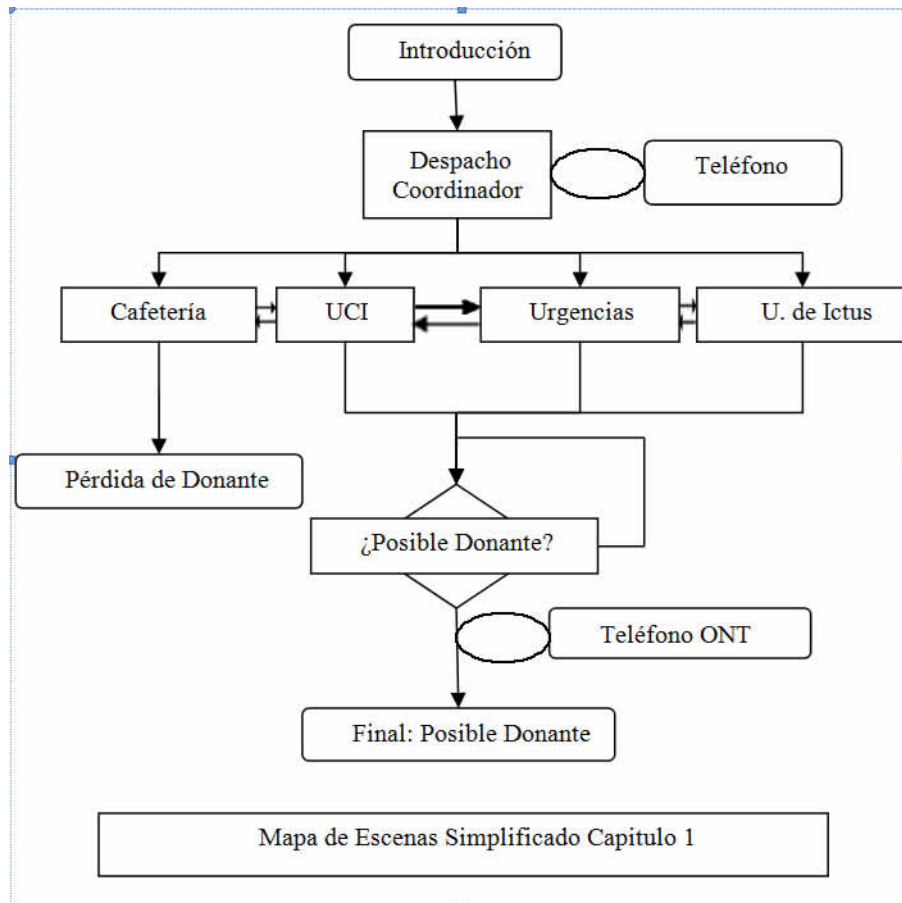


Figura 11 Detección del Donante

El capítulo comienza en el despacho del coordinador hospitalario. El coordinador podrá realizar múltiples acciones, mirar los ingresos en su ordenador o bien utilizar el móvil para llamar a planta, también podrá levantarse e ir a las distintas unidades para hablar con el personal. Si bien por el contrario elige ir a la cafetería, se considerará una pérdida de tiempo que puede incluso llevar a la pérdida del donante. Una vez se encuentre frente al posible donante, deberá decidir a partir de unos parámetros si es posible donante o no.

**Protocolo del diagnóstico de Muerte encefálica:** Este protocolo está claramente identificado, documentado y sistematizado. Su nivel de formalización es tal, que es necesario seguir los pasos del proceso en el estricto orden establecido para poder

realizar un correcto diagnóstico de muerte encefálica. Es el intensivista quien legalmente tiene que firmar el estado de muerte encefálica. Cada país tiene una legislación distinta en lo referente a este apartado siendo por tanto un protocolo exclusivamente aplicable a España aunque trasladable a otros países si se realizan las modificaciones pertinentes ([Anexo E- Diagnóstico de Muerte encefálica](#)). El árbol de juego del diagnóstico de muerte encefálica lo vemos a continuación: (Figura 12)

**Protocolo de mantenimiento adecuado del donante:** Módulo necesario para evitar posibles incidencias o en el peor de los casos la pérdida de la donación debido a por ejemplo una parada cardíaca antes de finalizar el proceso. Este proceso no es complicado pero requiere una dedicación intensa durante el tiempo que dure tanto por parte del médico como de las enfermeras y de una formación específica sobre las características de estos “todavía” enfermos hasta que se realice el diagnóstico de muerte cerebral. Serán necesarios videos reales de los distintos protocolos de manejo de donante para que el alumno pueda comprender el proceso. Este protocolo tampoco es objeto de este proyecto debido a la falta de tiempo. Todavía no hay desarrollado un árbol de juego para esta simulación puesto que están en desarrollo las conversaciones que determinarán como va a ser la simulación.

**Protocolo de autorización judicial:** Para los casos en que la muerte no sea debido a causa médica. En este caso no será necesaria una simulación puesto que es un proceso extremadamente sencillo que podremos explicar por medio de material estático.

**Protocolo de autorización familiar:** Algo no explícitamente regulado en nuestra legislación, pero práctica imprescindible debido a la sociedad en que vivimos. Para comprender la importancia de la entrevista familiar son imprescindibles los cursos de comunicación en situaciones críticas y entrevista familiar, y por más que se impartan los conceptos teóricos y se distribuyan los videos formativos ha quedado demostrado que es primordial la asistencia a al menos a uno de estos cursos para comprender su importancia por lo que este capítulo será un mero apoyo a los cursos presenciales.

Una vez logrado el consentimiento de la donación entramos en la parte de la coordinación extra hospitalaria, esta parte es gestionada en su mayoría desde la oficina central de la ONT.

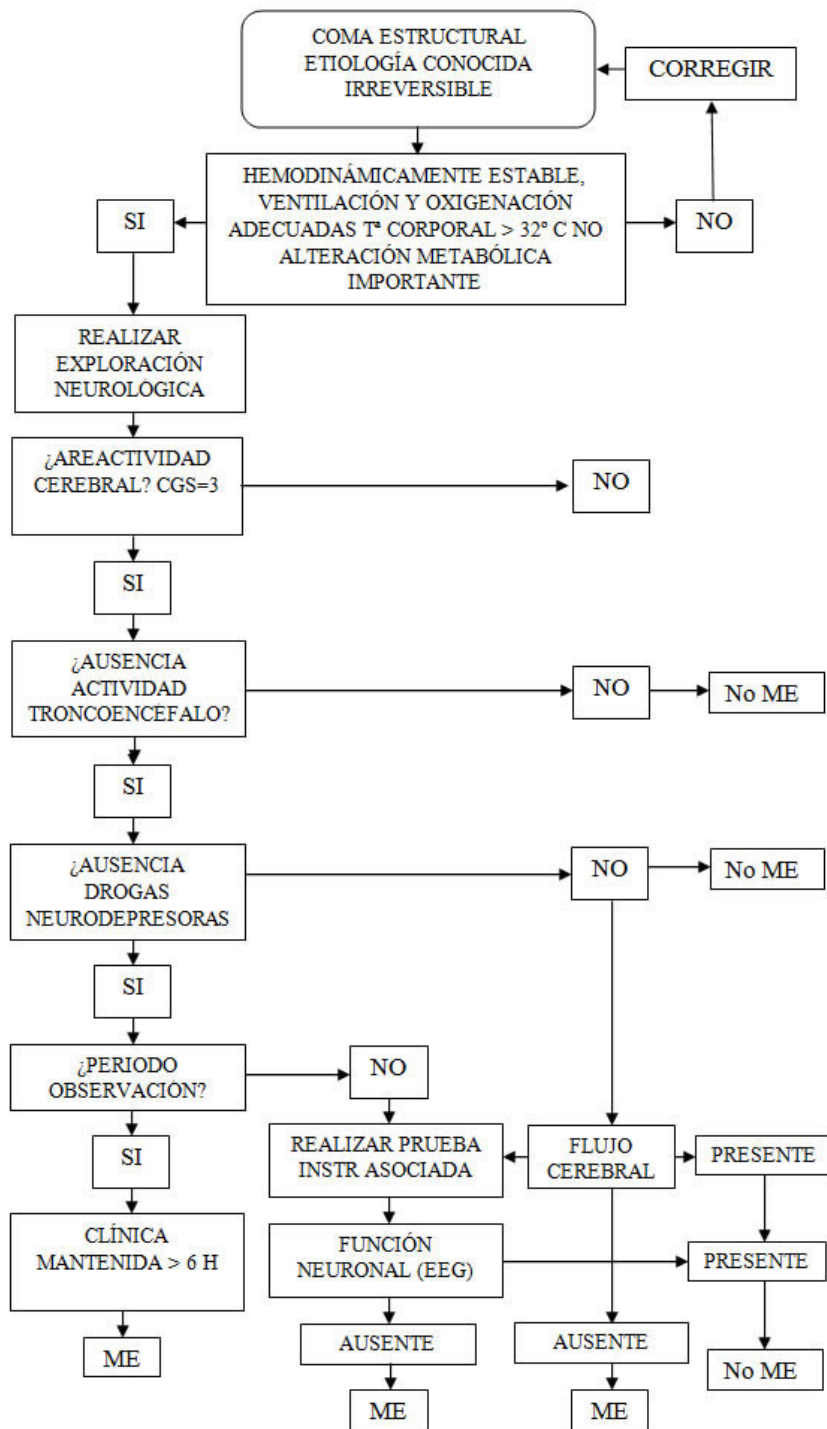


Figura 12 Árbol de juego de diagnóstico de muerte encefálica

La coordinación extra hospitalaria consta de tres partes claramente definidas, desde el momento en que se realiza la llamada del coordinador hospitalario comunicando un

posible donante hasta el momento en que se gestiona y se realiza el trasplante (Figura 13):



Figura 13 Proceso Extra hospitalario

**Protocolo de evaluación de donantes:** Existen algunas pautas o reglas claramente definidas para el proceso ([Anexo A- Requisitos Evaluación Donante. Datos clínicos y evaluación del donante](#)), sin embargo, cabe decir que hay otra parte de este proceso que no está documentada, una reunión diaria por parte del personal de la ONT permite a éstos conocer el procedimiento y las modificaciones del protocolo en función de los nuevos casos aparecidos El desarrollo de la simulación ha permitido la sistematización de este proceso.

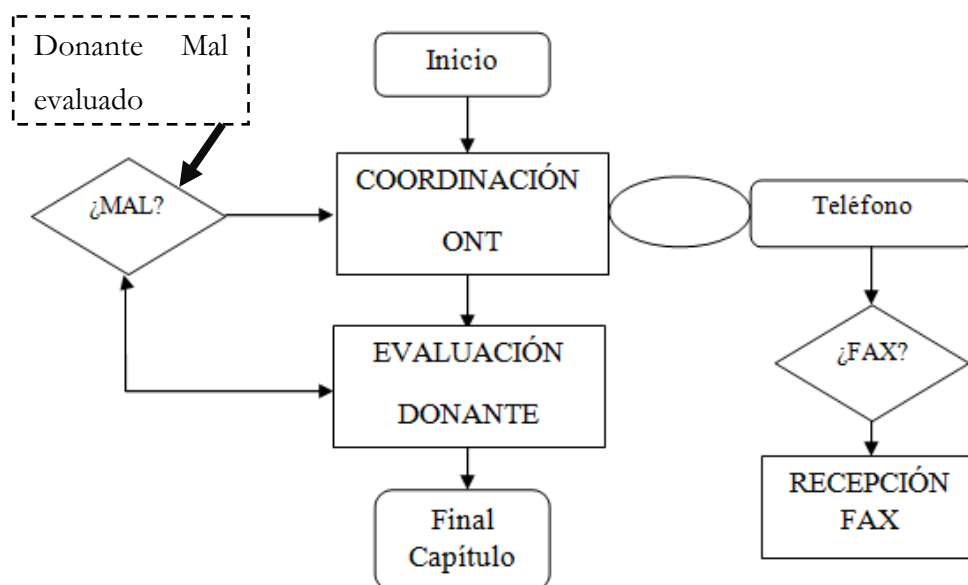


Figura 14 Árbol de juego evaluación donante

**Protocolo de distribución de Órganos:** ([Anexo C- Criterios de distribución](#)) Este módulo sí que está bastante sistematizado y documentado, ya que la gestión de turnos y distribución de órganos hay que seguirla estrictamente para respetar la igualdad de derechos entre todos los hospitales receptores (Figura 15).

**Protocolo de Logística de los Transportes:** ([Anexo D- Logística de los Transportes](#))

La gestión de los transportes de la ONT está firmemente sistematizada por el personal de la ONT, pero de una forma implícita, siendo la información conocida y transmitida por el personal vía oral a través de reuniones diarias formales, sin embargo no está documentada.

En el árbol de juego representado en la figura 15 podemos observar que las llamadas son la parte más importante de la simulación, el proceso de logística de transportes supone en ocasiones la realización de hasta 15 o 20 llamadas hasta que se cuadran los horarios y se establecen los transportes.

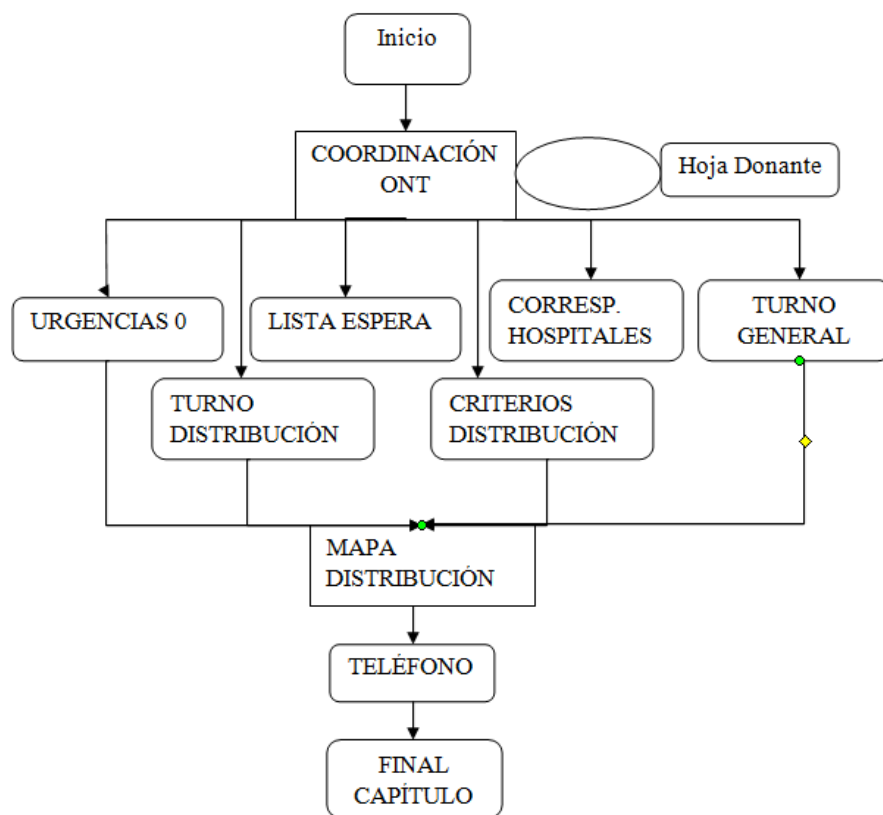


Figura 15 Árbol de juego de Distribución de Corazón

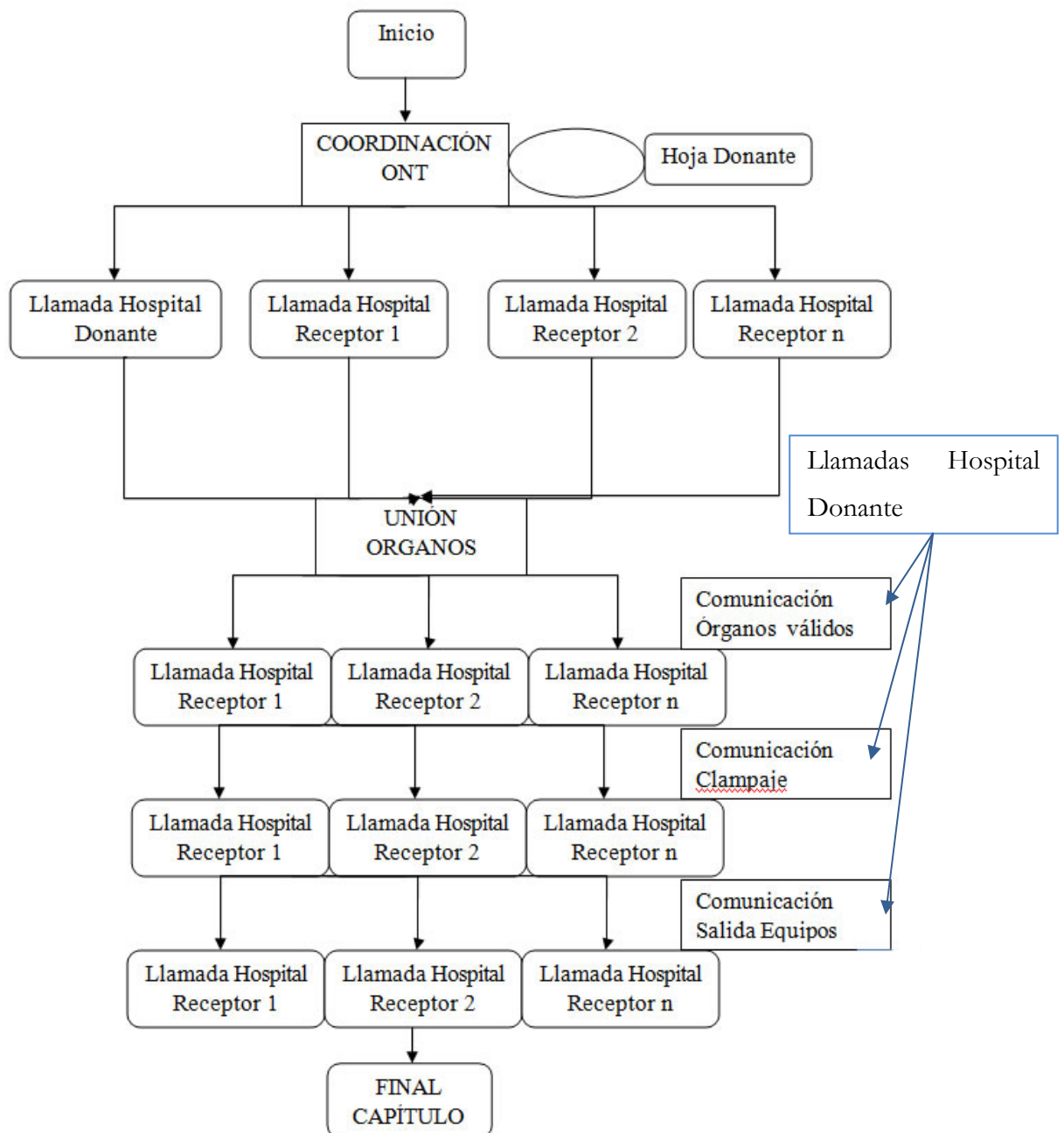


Figura 16 Árbol Logística Transportes

A continuación procederemos a describir el desarrollo y despliegue de las simulaciones:

### 4.3. Desarrollo de las simulaciones

La simulación ha sido desarrollada utilizando la plataforma <e-Adventure>, que recrea la coordinación de trasplantes de la ONT a través de un entorno de navegación *point-and-click* con imágenes basadas en situaciones reales. Para finalizar correctamente el proceso, el jugador, al igual que en un juego de aventura, tendrá que ir superando retos que le permitirán acceder a nuevos niveles, objetos, escenas... por ejemplo, no se podrá

acceder a la valoración de los órganos de un donante hasta que no se haya previamente consultado la hoja de donante.

El proceso de coordinación de trasplantes que comienza en el momento de realizar la llamada del coordinador donante está profundamente sistematizado por la ONT. Esta sistematización es, sin embargo en ocasiones oral y a través de reuniones de grupo sin estar plasmado en papel.

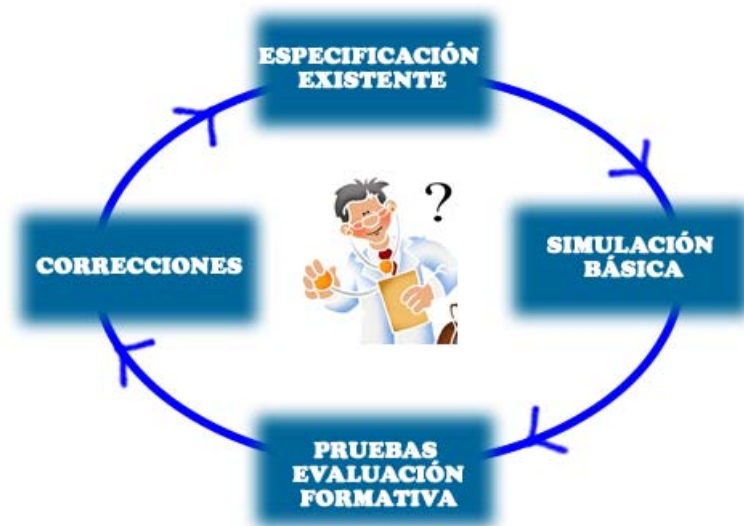


Figura 17 Ciclo Desarrollo simulaciones

El desarrollo de las simulaciones ha seguido el siguiente flujo respetando las fases de estandarización de procesos. Partiendo de las especificaciones existentes, se desarrolló un prototipo rápido con la herramienta <e-Adventure> que quedó reflejado en las simulaciones ejecutables. Tras finalizar el primer desarrollo de una simulación que integraba todo el proceso de trasplante, se pasó a realizar una evaluación formativa de esta simulación con el personal experto, gracias a estas pruebas y a las conversaciones mantenidas se determinó que la simulación era demasiado compleja para desarrollar todo el proceso en una misma simulación, especialmente para aquellos usuarios que no sean expertos en el proceso, esto llevo a dividir la simulación en tres simulaciones dividiendo el procedimiento de donación y trasplante extra hospitalaria en 3 capítulos diferentes. Se modificaron las especificaciones y se procedió a desarrollar 3 simulaciones, una primera de evaluación de donantes, una segunda de distribución de corazón (órganos), y una tercera simulación que incluye la logística de transportes.

## COORDINACION EXTRAHOSPITALARIA

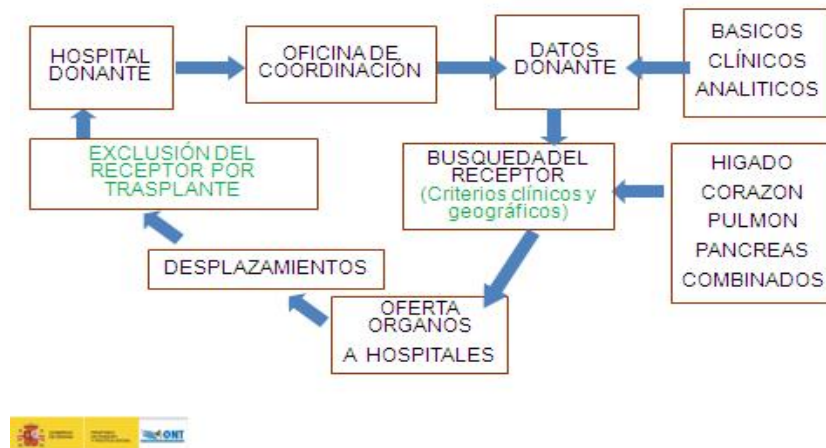


Figura 18 Coordinación Extra hospitalaria

Tras finalizar el desarrollo, se procede de nuevo a realizar las pruebas y la evaluación formativa, que a su vez llevan de nuevo a correcciones para poder modificar las especificaciones ante la detección de nuevos puntos. Este ciclo continuo de especificación, desarrollo, prueba y corrección permite mantener los procedimientos actualizados continuamente.

Partiendo de la hoja de donante inicial, sólo hay una solución óptima, pero se puede llegar al final con múltiples soluciones diferentes en función de las decisiones que vaya tomando el jugador. Al final del juego se expondrá la correcta solución y los pasos erróneos dados, que pueden ser críticos, por ejemplo valorar como donables unos órganos que no lo son, o menos críticos, por ejemplo cuando valoramos un órganos correctamente pero debido a razones erróneas.

Cada simulación, exceptuando la primera que no tiene todavía casos de uso, calculará al inicio un número aleatorio en función de la bolsa de donantes, y su resultado será el donante que se utilice para este juego.

Es necesario mantener la atención de alumno, para lo cual incluimos elementos típicos de los videojuegos, estos elementos son entre otros la inclusión de trampas en las simulaciones, errores típicos que no se contemplan en los procedimientos, ya que estos sólo especifican los pasos a seguir. Por lo tanto, tras evaluar cuáles son los errores más comunes con el personal experto, se procedió a incluir los siguientes elementos:

- Para la evaluación de donantes se ocultó información de las hojas de donante para asegurar que los jugadores aprenden cuales son los elementos importantes en función del órgano a valorar.
- La distribución de órganos no incluye trampas como tal, la trampa en sí es que te deja finalizar la simulación aunque estés distribuyendo incorrectamente el corazón y una vez llegas al final te indica que has hecho algo mal y te reenvía al principio donde tendrás que comenzar de nuevo.
- Por último la logística de los transportes juega con las llamadas entre los distintos hospitales, gracias a esta simulación el jugador comprenderá lo importante que es mantener la comunicación entre todos las personas implicadas, la simulación bloquea el avance del tiempo hasta que se hayan realizado todas las llamadas necesarias.

Para el desarrollo de la simulación de diagnóstico de muerte encefálica, que se encuentra en una fase prematura, se ha seguido el mismo flujo de desarrollo, existiendo ya una primera versión de la simulación y estando pendiente la evaluación formativa debido a problemas técnicos.

#### **4.4. Protocolo de Detección de Posibles Donantes**

##### **4.4.1. Entrevista con el personal experto**

Para la mejor comprensión del proceso de trasplantes intrahospitalario se realizó una entrevista con el coordinador hospitalario del hospital Juan Canalejo de La Coruña.

El proceso de donación para la coordinación de trasplantes comienza cuando a un coordinador de trasplantes le avisan de la aparición de un posible donante. Por posible donante entendemos al paciente ingresado en UCI que está en situación de muerte encefálica o en el proceso que desembocará en esta. Dependiendo del hospital, se hace el aviso antes o bien una vez ya está confirmado el estado de muerte encefálica.

Es importante en el proceso de detección de donantes tener en cuenta que el ingreso de un potencial donante en la unidad correcta es primordial para evitar la pérdida de los donantes, hay que detectar aquellos pacientes que tienen características límites.

Lo más habitual es que un paciente ingrese y que su patología lo lleve a que evolucione mal desembocando en un posible estado de muerte encefálica, es entonces cuando se avisa al Coordinador Hospitalario, pero es cierto que en muchas ocasiones, los coordinadores hospitalarios trabajan a tiempo parcial como coordinadores y como intensivistas pudiendo por tanto detectar la aparición de posibles donantes inmediatamente.

Un aspecto fundamental en la mejora del proceso es que el hospital tenga cultura de donación, lo que significa que cualquier paciente puede ser un posible donante. Esta mentalidad es fundamental porque la diferencia entre tratar a un paciente con soporte ventilatorio o no puede desembocar en un posible donante o no.

#### **4.5. Protocolo de diagnóstico de muerte encefálica**

Este proceso se desarrolla en la unidad de UCI del hospital donde se encuentre el posible donante, previo a comenzar la valoración de los órganos de un posible donante, es necesario realizar el diagnóstico de muerte encefálica. En esta simulación el alumno adquiere el rol de intensivista, ya que el coordinador hospitalario no es quien participa en el diagnóstico, incluso desde el punto de vista legal, ya que el certificado de muerte encefálica lo tienen que firmar dos miembros de la unidad donde esté ingresado el donante y un neurocirujano. En la práctica muchas veces el coordinador hospitalario completa el diagnóstico o incluso en ocasiones lo realiza por completo, pero para la simulación es necesario que lo realice el intensivista para dejar claro este aspecto legal. Es el coordinador hospitalario quien mejor conoce el proceso de diagnóstico de muerte encefálica, por lo que los intensivistas suelen recurrir a ellos para consultarles, completar o mejorar el diagnóstico.

El protocolo de diagnóstico de muerte encefálica tiene que respetarse por completo, sin poder saltarse ningún paso y siendo importante seguir el orden establecido ([Anexo E- Diagnóstico de Muerte encefálica](#)). Por la lógica del propio funcionamiento del tronco del encéfalo, si un posible donante no reacciona ante el reflejo corneal por ejemplo, puede reaccionar ante un reflejo tusígeno, que es posterior en el orden de los pasos a seguir. Sin embargo, si no reacciona ante el reflejo tusígeno, nunca podrá reaccionar ante los reflejos anteriores del diagnóstico.

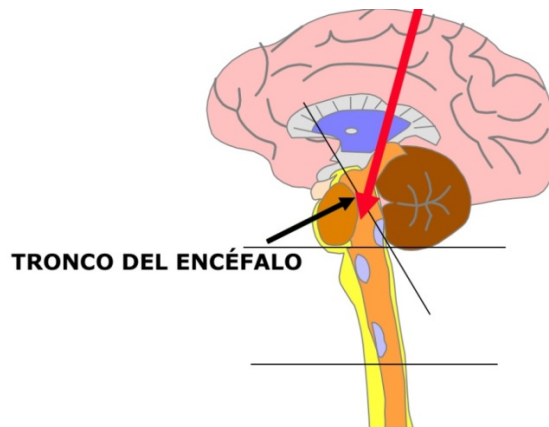


Figura 19 La muerte encefálica es un fenómeno dinámico que sigue una progresión craneo-caudal

Dentro del procedimiento de diagnóstico de muerte encefálica el reflejo oculovestibular no se realiza en algunas ocasiones, y no se hace, porque desde el punto de vista operativo es muy sucio. Sin embargo, la exploración clínica y las pruebas complementarias son indispensables.

El jugador deberá realizar todas las pruebas necesarias en el orden adecuado para poder avanzar en el diagnóstico y finalizarlo correctamente.



Figura 20 Escena de posible donante en unidad de UCI

Para el proceso de diagnóstico de muerte encefálica no hay casos de uso establecidos porque no depende del donante, el diagnóstico siempre se realiza siguiendo los mismos pasos como ya se ha mencionado. Sí que será necesario sin embargo introducir casos que nos lleven al estado de ausencia de muerte encefálica.

Los pasos que tendrá que seguir el jugador por tanto serán los siguientes:

Comprobar que el posible donante es hemodinámicamente estable. Lo cual implica la comprobación de la tensión arterial, temperatura, oxigenación y ausencia de drogas neurosupresoras. Si todos estos valores son adecuados el donante será hemodinámicamente estable, en caso contrario habrá que corregir los parámetros del donante hasta lograr la estabilidad.

Una vez comprobado el paso 1, y nunca antes, se procederá a comprobar si hay actividad cerebral, es decir si el donante reacciona ante ciertos estímulos, para que el jugador aprenda cómo realizar correctamente esta prueba se muestra por medio de videos reales.

Tras terminar el paso 2, pasamos a comprobar si hay ausencia de actividad en el troncoencéfalo. Este paso también se muestra a través de videos reales para que el jugador aprenda a realizar correctamente los estímulos de los distintos reflejos. Los reflejos se tienen que realizar en el siguiente orden:

1. Reflejo Fotomotor (Figura 21)



Figura 21 Video explicativo de estimulación de reflejos

2. Reflejo Corneal
3. Reflejo Oculocefálico
4. Reflejo Oculovestibular (este reflejo no es obligatorio)
5. Reflejo Tusígeno
6. Reflejo Nauseoso
7. Test de atropina
8. Test de apnea

#### **4.5.1. Evaluación Formativa**

La evaluación formativa de esta simulación queda pendiente debido a que los videos todavía no están correctamente editados ya que el donante es reconocible y no ha sido correctamente ocultada su identidad.

Aun así, las primeras pruebas determinan que debido al excesivo número de videos que contiene la simulación, (videos que son imprescindibles para comprender cómo estimular los reflejos correctamente) la simulación tiene un tamaño excesivo (106 MG), y puede que tarde demasiado tiempo en descargarse vía web.

#### **4.6. Protocolo de evaluación de donantes.**

El proceso descrito en esta simulación se desarrolla al completo en la Oficina de Trasplantes de la ONT, siendo necesarios el teléfono, el fax y toda la documentación necesaria para decidir que órganos son válidos y por qué. El manual de usuario nos permitirá conocer brevemente las pautas a seguir a la hora de evaluar los órganos. La simulación comienza con la llamada de un coordinador de un hospital para comunicar un posible donante (Figura 22). En ese momento comienza el juego. Durante esta conversación inicial, el jugador podrá o no solicitar la confirmación del Grupo Sanguíneo, solicitarlo activará un temporizador que activará el fax tiempo después con esta confirmación, sino se solicita se penalizará la puntuación del jugador ya que es primordial solicitar el grupo sanguíneo. El jugador tendrá acceso a diversa información, como son las urgencias 0, los turnos de ofertas, los criterios de distribución o la hoja de donante (objeto que se activará tras la conversación con el coordinador). Sin embargo esta información a pesar de estar disponible no es útil en esta primera simulación donde lo que se quiere es evaluar el donante.

El jugador puede mirar y leer toda la información pero una vez recibida la llamada tendrá que proceder a evaluar los órganos del donante (Figura 23) cuanto antes.

Se utiliza una bolsa de 7 donantes diferentes en esta simulación, pudiéndose cargar cada vez un donante diferente, algunos de estos donantes incluyen las trampas típicas de una simulación, donde las hojas de donante no estarán completas y si el jugador no se da cuenta, a pesar de evaluar correctamente los órganos, sin los resultado de la serología por ejemplo la evaluación no será correcta, lo que quedará plasmado en el informe final de la simulación.



Figura 22 Escena Principal Coordinación Trasplantes

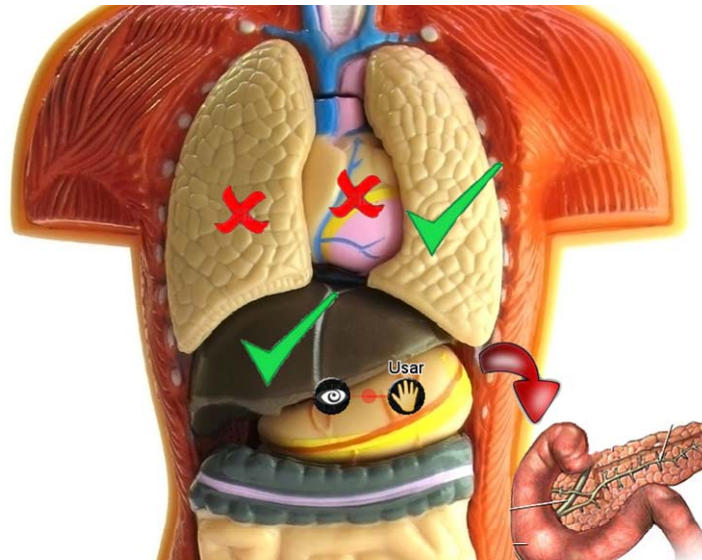


Figura 23 Escena Evaluación Órganos Donante

Para lograr que el donante de cada simulación se seleccione al azar se utiliza el siguiente algoritmo basado en 3 iteraciones:

- Inicio : Donante = 0
- Primera iteración: Donante = Donante + 1 (50% posibilidades)
- Segunda iteración: Donante = Donante + 2 (50 % posibilidades)
- Tercera iteración: Donante = Donante + 3 (50% posibilidades)

De esta manera logramos 7 valores diferentes (8 valores donde el 3 se repite), que agruparemos de la siguiente manera: Donante 1 (0), Donante 2 (1), Donante 3 (2), Donante 4 (3), Donante 5 (4), Donante 6 (5), Donante 7 (6), teniendo el donante 3 un poco más de probabilidades de salir porque su valor sale dos veces.

Estos 7 donantes son casos que engloban un 80% de los casos de donantes que llegan a la ONT, sin tener en cuenta todas aquellas excepciones que lleva consigo el complejo proceso, cabe recordar que hay en la actualidad cerca de 22.000 donantes, y cada donante es un caso particular diferente a todos los anteriores. Sin embargo, con la ayuda del personal experto se ha logrado consensuar una bolsa de donantes que abarque los casos más comunes. En cada simulación se evaluarán los 5 órganos siguientes (corazón, pulmones, hígado, riñones y páncreas), disminuyendo así la posibilidad de que el jugador evalúe al azar y aun así termine exitosamente la simulación. Además cuando se decide que un órgano no es donable, hay que determinar las causas, se han generalizado todas las causas de posible rechazo en 5, siendo en la realidad cerca de 200.

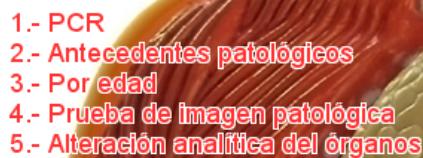
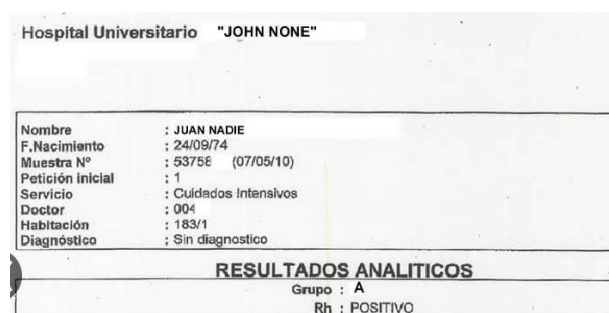
- 
- 1.- PCR
  - 2.- Antecedentes patológicos
  - 3.- Por edad
  - 4.- Prueba de imagen patológica
  - 5.- Alteración analítica del órganos

Figura 24 Causas de no donación de órganos

Todas las imágenes incluidas en la simulación son reales ayudando así a reflejar lo más posible el proceso real de evaluación de donantes, asegurando siempre que los documentos que incluyen datos de los donantes así como los nombre de los médicos implicados en los procesos permanezcan desconocidos para los jugadores, para ello se han utilizado nombre genéricos como JUAN NADIE, para los nombre de los donantes o Dtr. Pérez para el nombre del Médico y JOHN NONE para el nombre del Hospital implicado.



Hospital Universitario "JOHN NONE"

Nombre	: JUAN NADIE
F.Nacimiento	: 24/09/74
Muestra N°	: 53758 (07/05/10)
Petición Inicial	: 1
Servicio	: Cuidados Intensivos
Doctor	: 004
Habitación	: 183/1
Diagnóstico	: Sin diagnostico

**RESULTADOS ANALITICOS**  
Grupo : A  
Rh : POSITIVO

Figura 25 Fax de confirmación de grupo sanguíneo

La evaluación correcta de un donante nos lleva a una hoja donde se nos indica que se ha efectuado con éxito la evaluación.



Figura 26 Evaluación Correcta de un donante

La evaluación errónea nos llevará a su vez a una escena de error y además nos indicará que datos tendríamos que haber observado para saber por qué un órgano podría no ser donable.

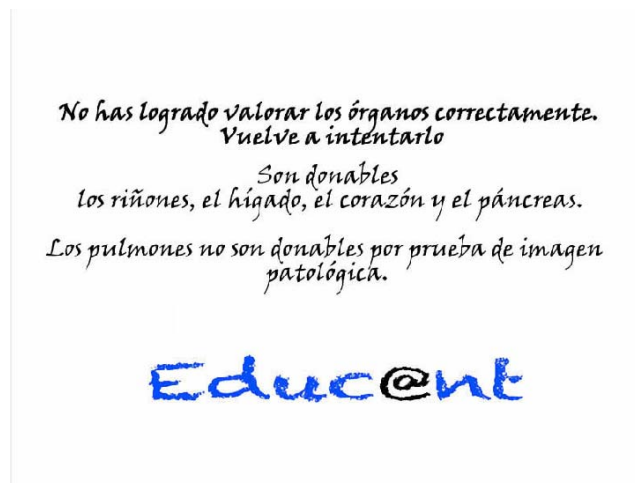


Figura 27 Evaluación Errónea de un donante

Causa de Muerte.....		H. INTRAVENTRICULAR.....	
Hora prevista para la extracción.....		Hora real de la extracción.....	
<b>ANTECEDENTES PERSONALES</b>			
ADICCIONES	TABACO.....SI.....	Cantidad.....	Tiempo.....
	ALCOHOL.....	Cantidad.....	Tiempo.....
	OTROS.....		
HTA.....			
DIABETES.....	ANT. FAMILIARES.....		NO.....
CIRUGÍA PREVIA..... No Apendicectomía.....			
OTRAS PATOLOGÍAS.....	Cannabis + anfetaminas+ keta + coca.....		
Esquizofrenia seguida por psicosis.....			
Tª en U.C.I.....	14/04 4,00.....	Tª de intubación.....	
RX TORAX.....	NEUMONIA ASPIRATIVA BASAL DERECHA.....		
ECG.....			
ECOS.....	ABD hemangioma hepatico (21*12*25 cm).....		
riñones normales.....			
cardio normal no derrame pericardico. FE 57% NO DERRAME PERICARDICO CONTRACTIBILIDAD NORMAL.....			
TAC.....			

Figura 28 Evaluación Errónea de un donante

Evidentemente en la evaluación de un donante, a pesar de estar sujeta a unas pautas muy estrictas que siempre hay que seguir, hay otros parámetros influyentes que son subjetivos y que dependen de cada enfermero/personal experto. Cuando hay un receptor en Urgencia 0 (estado en el cual un receptor necesita recibir un trasplante en menos de 48 horas o puede fallecer), por ejemplo, quizás un corazón que en otro momento hubiera sido evaluado como no donable es donable ahora para algún hospital por lo que siempre es mejor evaluar positivamente y si no es un órgano óptimo será rechazado por todos los hospitales.

#### 4.6.1. Casos de Uso

Como hemos dicho hay 7 casos de uso en esta simulación:

##### Donante 1

Este primer donante es originario de la República Dominicana, que está en el hospital de Santiago Apóstol (Vitoria), es una mujer de 68 años grupo A+. Se aceptan los riñones y el hígado. El resto de órganos no son donables por edad.

##### Donante 2

Donante que se encuentra en el hospital de Galdakao (Bilbao), es un varón de 30 años grupo B+. Se aceptan el Hígado, Páncreas, Riñones y Corazón. Se rechazan los pulmones por neumonía (Prueba de imagen patológica).

##### Donante 3

Donante del hospital de Navarra, es un varón de 32 años de grupo A+. Todos los órganos son donables.

#### **Donante 4**

Donante inglés del hospital Son Dureta (Islas Baleares), de 29 años de grupo 0+. Todos los órganos son donables con la excepción del páncreas debido a una diabetes (antecedentes patológicos).

#### **Donante 5**

Donante del hospital clínico de Valladolid de 58 años, son donables el hígado y los riñones, los pulmones no son donables por la radiografía de tórax, el corazón por la ecocordio, el páncreas no es donable por edad.

#### **Donante 6**

Donante del Marqués de Valcedilla (Cantabria) de 59 años, son donables los riñones y los pulmones, el hígado no es donable por hepatopatía, el corazón por la ecocordio, el páncreas por edad.

#### **Donante 7**

Donante de 78 años de grupo A-. Menos el hígado y los riñones todos los demás órganos no son donables por edad.

#### **4.6.2. Evaluación Formativa**

Las primeras pruebas se realizan con expertos en el proceso de evaluación de los órganos para detectar posibles errores en la simulación. No se detectan errores de concepto, pero si errores de funcionalidad, como por ejemplo, cuando no cogen el fax sigue sonando indefinidamente, en lugar de parar, la idea es que suene para indicar que hay un fax pero a los 10 segundos deje de sonar y tengas el fax disponible para consultarlo.

Además, el ejemplo de fax que se ha recogido es incorrecto, puesto que es el fax que se envía a los hospitales trasplantadores para confirmarles el grupo sanguíneo del donante en lugar de ser el fax que recibimos con los datos del donante.

Se detecta la necesidad de volver a evaluar los órganos una vez evaluados por si te das cuenta de que te has equivocado.

Se modifican los textos de las conversaciones, las instrucciones de introducción a los capítulos para adaptarlos a términos más correctos.

### 4.6.3. Fase 1 – Mantenimiento Evolutivo

La evaluación formativa crea la necesidad de planificar una nueva versión de esta simulación, esta nueva versión tiene cambios bastantes significativos que ayudarán al jugador a comprender mejor el proceso de evaluación de donantes.

Se mejorará el aprendizaje si en lugar de lanzar una escena de error al no evaluar correctamente los donantes y mandarte de nuevo al principio de la simulación con otro donante, el jugador se ve relanzado al inicio de la simulación, con el mismo donante y tiene que volver a iniciar el proceso. Además se incluirán bloqueos en los órganos, estos bloqueos son fundamentales para que el jugador comprenda ciertos elementos de gran importancia en el proceso, como por ejemplo el hecho de que falte la serología de un donante implica el bloqueo de todos los órganos, lo cual significa que el jugador no podrá comenzar la evaluación de estos hasta que no detecte que le falta algo en la hoja de donante y la solicite. Cada donante tendrá una trampa incluida que bloqueará uno o varios órganos. Las trampas actuales no bloquean los órganos, solo muestran el error en la evaluación.

Por lo tanto se incluirán las siguientes trampas:

- Donante 1: Se oculta la serología y el HTLV debido a su país de origen. Bloqueamos todos los órganos.
- Donante2: Ocultamos la RX Tórax y todos los datos que indican que los pulmones no son donables y bloqueamos los pulmones hasta que se solicite.
- Donante3: Falta los antecedentes familiares y personales de diabetes. Bloquea la evaluación del páncreas.
- Donante 4: Falta la edad del paciente. Bloqueará la evaluación del páncreas, hígado y riñones. Te deja evaluar el corazón y los pulmones porque no son donables por causas clínicas independiente de la edad.
- Donante 5: Falta la serología del paciente. Te bloquea todos los órganos.
- Donante 6: Se ocultan la ecografía abdominal y los datos analíticos para la evaluación de los riñones y el hígado. El resto de órganos no son donables por edad por lo que no se bloquean.

Otra de las ampliaciones será ampliar la bolsa de donantes disponibles.

Y para simular mejor la escenografía real con la que se encuentran los enfermeros durante este proceso, sería necesario incluir la entrada aleatoria de llamadas de

consulta, en cualquier punto del proceso, estas llamadas pueden ser relativas al proceso actual, a un proceso que aún no haya comenzado, a un proceso anterior o bien llamadas de consulta ajenas al proceso de trasplante, como por ejemplo cual es el procedimiento a seguir para hacerse donante. Esta ampliación es aplicable a las tres simulaciones extra hospitalarias.

#### 4.7. Distribución de los órganos

El proceso de distribución de órganos es bastante tedioso para el jugador, teniendo el jugador que mirar múltiples documentos para saber realmente donde tiene que distribuir órganos, la primera versión tan sólo distribuye el corazón porque la distribución de los órganos es similar en todos los casos. Se declara una variable corazón para establecer los distintos estados de juego:

VALOR CORAZON	ESTADO
2	No distribuido
3	Distribuyéndose
4	Distribuido
5	Aceptado
6	Rechazo
7	Rechazo por error
8	Rechazo por edad

Los estados 5, 6, 7 y 8 son estados finales de juego donde los 3 últimos son rechazos, es decir que el jugador tendrá que volver a distribuir el corazón desde el principio. El estado 6, no implica que el corazón haya sido distribuido erróneamente, sino que el hospital lo ha rechazado por razones propias. El estado 7 significa que se ha distribuido mal el corazón porque ese hospital no tiene receptores compatibles. El estado 8, finalmente, ocurre cuando intentamos distribuir un corazón adulto a un hospital trasplantador infantil o al revés.

Para distribuir el corazón correctamente los pasos a seguir son los siguientes:

- Examinamos la Hoja de Donante.
- En función de esta Hoja de Donante, lo primero que haremos será mirar si hay receptores en Urgencia 0 para este grupo sanguíneo.
- Si hay receptores en Urgencia 0, se ofertarán a este hospital.

- Si no hay receptores, se mirará el turno local, si el hospital es trasplantador y además tiene receptores en lista de espera, el hospital se quedará con el donante.
- Si no hay receptores, se mirará el turno sectorial si es que existe, si no hay receptores en lista de espera se mirará el turno de comunidad.
- Para las comunidades que no sean trasplantadoras, miraremos la correspondencia de hospitales para saber a qué comunidad, zona corresponde ofertas ese hospital.
- Si no hay receptores, se mirará el turno de comunidad, si no hay receptores en lista de espera se mirará el turno de zona.
- Si no hay receptores, se mirará el turno general.

Hay que tener en cuenta que en todos estos casos el hospital puede rechazar el órgano ofertado, en tal caso se repetirá el proceso y se ofertará al siguiente hospital que corresponda.

Para lograr que el donante de cada simulación se seleccione al azar se utiliza el siguiente algoritmo basado en 4 iteraciones:

- Inicio : Donante = 0
- Primera iteración: Donante = Donante + 1 (50% posibilidades)
- Segunda iteración: Donante = Donante + 2 (50% posibilidades)
- Tercera iteración: Donante = Donante + 4 (50% posibilidades)
- Cuarta iteración: Donante = Donante + 8 (50% posibilidades)

De esta manera logramos 15 valores diferentes, que agruparemos de la siguiente manera: Donante 1 (0-2), Donante 2 (3-5), Donante 3 (6-8), Donante 4 (9-11), Donante 5 (12-15), teniendo por tanto el donante 5 un poco más de probabilidades de salir.

Una vez el jugador haya decidido dónde considera que hay que distribuir el corazón, accederá al mapa de distribución desde el cual podrá arrastrar el corazón hasta la comunidad, y seleccionar posteriormente a qué hospital trasplantador de corazón se distribuye.



Figura 29 Mapa de Distribución de órganos. Se arrastrará el corazón que aparece a la izquierda de la pantalla a la comunidad donde va a distribuirse.

Cuando se selecciona el hospital correcto, hay un 20% de probabilidades de que éste rechace el órgano por razones ajenas a la ONT, en este caso el jugador tendrá que volver que distribuir este mismo donante pero a otro hospital no pudiendo volver a ofertar al que acaba de rechazar el corazón. Esta funcionalidad se logra gracias al flag *nombre\_hospital\_rechazado*. Además, para evitar que el jugador entre en un flujo indefinido en el cual siempre se rechace el corazón, se utiliza el flag: *rechazarcorazon*, que si está activo, significa que al menos una vez se ha rechazado, por lo que la siguiente iteración para este donante se aceptará.

*Has logrado distribuir el corazón ...*

*Para este donante, la distribución correcta es el CUN de Navarra por turno general.*



**Educa@nt**

Figura 30 Final con éxito distribución

Cuando por el contrario se selecciona un hospital distinto al correcto (sólo hay una distribución correcta), la simulación te deja igualmente terminar el proceso pero al final de este te indica que no has distribuido correctamente el corazón y te relanza al principio de la simulación donde tienes que comenzar de nuevo.



<b>Lista Espera (00:01:23)</b>	No se ha comprobado la Lista de Espera para el donante3.
<b>Urgencias 0 (00:01:23)</b>	No se han comprobado las urgencias 0 para el donante3
<b>Turno General (00:01:23)</b>	No se ha comprobado el turno general para el donante3.
<b>Criterios de Distribución (00:01:23)</b>	No se han mirado los criterios de distribución para el donante3.
<b>Turno Distribución (00:01:23)</b>	No se ha consultado el turno de distribución para el donante3
<b>Correspondencia Hospitales (00:01:23)</b>	No se ha consultado la correspondencia de hospitales para el donante3.

Figura 32 Informe evaluación de la simulación de distribución de corazón

#### 4.7.1. Casos de Uso

##### Donante 1

La distribución correcta es la siguiente: es un varón de grupo sanguíneo AB+, 75 kilos. Lo primero que tendríamos que mirar son las urgencias 0, como si hay una urgencia 0 para este grupo sanguíneo deberíamos parar aquí el proceso de búsqueda y el corazón iría para el hospital CHUAC de Galicia. Hay un 20% de posibilidades de que lo rechacen, por lo que si lo rechazan la siguiente opción correcta es: En primer lugar miramos el turno local, como es del hospital de Galdakao, miramos si hay algún receptor en País Vasco, como no hay, miramos el turno sectorial, País Vasco y Logroño van al hospital de Valdecilla por turno Sectorial, tampoco tiene grupo AB en espera, por lo que pasamos a turno de zona Norte, cuyo orden es el hospital de Valdecilla que no tiene, lo cual ya sabíamos por el turno sectorial, vamos al segundo la Clínica universitaria de Navarra, que si tiene receptores, por lo que la segunda opción correcta sería esta.

##### Donante 2

La distribución correcta es la siguiente: es un varón de grupo sanguíneo A+, 85 kilos. Lo primero que tendríamos que mirar son las urgencias 0, no hay compatibles, lo siguiente entonces sería mirar el turno local ,como es de Navarra, no hay receptores por lo que vamos a mirar el turno de Zona Norte, hospital de Valdecilla que no tiene receptores compatibles, la clínica Universitaria de Navarra tampoco, por lo que la opción correcta es el hospital CHUAC de Galicia... si lo rechaza que hay un 20% de posibilidades la opción, la segunda opción correcta sería por turno general, y el primero que si tiene A+ es el hospital Gregorio Marañón.



de posibilidades de que lo rechacen, por lo que si esto ocurre la siguiente opción correcta es por turno local el hospital Gregorio Marañón infantil.

#### **4.7.2. Evaluación Formativa**

La primera evaluación formativa del proceso detecta errores de comprensión así como que faltan criterios a la hora de distribuir los órganos. En primer lugar hay que seguir los criterios de distribución reales para el año 2010, por lo que hay que modificar el flujo que se había establecido que había supuesto que si un donante en grupo 0+ siempre se distribuirá a un receptor 0+. Las urgencias 0 admiten diferentes grupos sanguíneos. Además no se había tenido en cuenta el turno sectorial por lo que es necesario revisar cada uno de los casos de uso para confirmar la correcta distribución.

Se ordenan correctamente las listas de espera cardíaca para tener los hospitales cada uno en su comunidad.

Se cambia el funcionamiento de las llamadas, una vez se llama para comunicar el donante, el coordinador de trasplantes procede a llamar al responsable y luego nos llamará a nosotros para decirnos el resultado.

Se añaden además todos los documentos al inventario para que desde el mapa de distribución se pueda acceder a esto.

Y el cambio más importante es de concepto, se había creado esta simulación bajo la suposición de que no hay distribución mala siempre y cuando los grupos sanguíneos sean compatibles, sin embargo, el experto detecta en este concepto un error grave, puesto que si hay distribución mala, de hecho sólo hay una buena distribución que es la correcta el resto serán erróneas. Además cuando el jugador se equivoque en una distribución volverá a comenzar de 0 con el mismo donante, en vez de cargarle un donante distinto.

#### **4.7.3. Fase 1 – Mantenimiento Evolutivo**

Es necesario ampliar los casos de distribución para incluir casos más complejos e incluso ampliarlos a distintos órganos donde el jugador deba también decidir en función del diagnóstico del receptor a qué hospital debe ofertar o no. En el momento en que se incluya la decisión de distribución en función del diagnóstico se tendrá que ampliar la distribución a los diferentes órganos, puesto que cada órgano

tiene unos diagnósticos concretos que le hacen necesitar unos órganos con unas características concretas.

Además se tendrán en cuenta en las versiones futuras las excepciones concretas del proceso, como es por ejemplo Cataluña, donde los órganos no se ofertan a hospital como en el resto de España, sino al Organización Catalana de Trasplantes (OCATI) que es quien gestiona las ofertas hacia los distintos hospitales.

#### **4.8. Logística de Transporte de órganos**

El procedimiento de transporte de órganos organizado por la Organización Nacional de Trasplantes tampoco está sistematizado en un documento o en un manual. Hay una parte documentada en el libro “El Modelo Español de Donación y Trasplantes” pero no tiene en cuenta algunos factores fundamentales como por ejemplo si el equipo receptor se desplaza para la extracción o no. La parte de este procedimiento que implica el juego constante de llamadas telefónicas entre el enfermero de la ONT y el personal implicado en el proceso no es fácil de documentar. Mediante esta simulación el jugador podrá comprender la importancia de mantener a todo el mundo al tanto del estado del proceso así como la importancia de cuadrar las horas de trasplante para que coincidan los equipos.

El transporte de los órganos depende de los siguientes factores, del órgano a transportar, del tiempo de isquemia de éste, de la distancia a recorrer y del equipo trasplantador.

Para el corazón el tiempo máximo permitido de transporte son 3 horas, si incluimos el tiempo que se tarda en clampar y en trasplantar se obtiene un máximo de 4 horas. Para el corazón siempre se desplazan en avión y siempre es el equipo receptor quien se desplaza a extraer el órgano aunque el equipo donante sea trasplantador de corazón.

Para el hígado el tiempo de clampaje más el trayecto y el trasplante tendrán un máximo de 6 horas. En función de la distancia entre el hospital donante y hospital receptor se recomendará ir por carretera o directamente se decidirá ir por avión. Por carretera se recomendará en los casos en los que la distancia sea menor de 250km, aunque en ocasiones a pesar de ser esta la distancia, el hospital receptor puede solicitar que se lleve el órgano en avión. Se preguntará al hospital donante si puede realizar él la extracción, casi siempre dicen que sí.

Los pulmones funcionan igual que el hígado, pero con un tiempo de isquemia de 3 horas, es decir un total de 4 horas como para el corazón, y con la diferencia de que cuando los pulmones van a destinos diferentes, un solo equipo se desplazará y extraerá los dos pulmones.

Los riñones siempre se desplazan por carretera a sus centros de referencia. Cuando son riñones en Canarias se transportan con un vuelo regular de iberia, gracias a un convenio que hay con ellos. En estos casos aun así hay que enviar un fax a iberia y a los aeropuertos implicados notificándoles el transporte.

En el desarrollo de la simulación se han detectado los siguientes estados de juego:

ESTADOS	DESCRIPCIÓN
0	Estado inicial de juego
1	Hoja Donante revisada
2	Primera llamada realizada (H. donante)
3	Segunda llamada realizada (Hígado)
4	Tercera llamada realizada (Corazón)
5	Tercera llamada realizada (Pulmones)
6	Si las horas no cuadran (segunda llamada realizada Hosp Donante)
7	Llamadas para confirmar la hora de extracción.
11-18	Uniones realizada
19-23	Llamadas para comunicar salidas
24	Comienza la extracción
30	Validez órganos
31-37	Llamadas para comunicar validez órganos
38	Clampaje comenzado
39-45	Llamadas para comunicar clampaje
46	Salida
47-53	Llamadas para comunicar salida

Para la selección al azar de los casos de uso, se utiliza el mismo algoritmo utilizado para la distribución de órganos.



Figura 34 Opciones de llamadas a los distintos hospitales implicados en el proceso

El jugador deberá seguir el siguiente flujo de juego:

1. Detectar quien va a realizar la extracción.
2. Una vez decidido si la extracción es local o no se le comunica a los equipos afectados si bien extraen por ellos o por el contrario tienen que desplazarse ellos hasta el hospital donante.

Página 1 de 4  
ONT

Nº GesONT 6666666		Nº Anual	Nº SIJUL 666666666
Dia.....07/03/2010.....		Hora.....16.30.....	
Llamada.....Dr Perez.....		LA CANDELARIA (CANARIAS)	
Coordinador.....Cent. 6666666.....		Tfno.....666.66.66.....	

Sexo.....VARON.....	ORGANOS Y TEJIDOS QUE SE DONAN: <input type="checkbox"/> RR <input type="checkbox"/> H. REGIONAL(MALAGA) <input type="checkbox"/> C. CPH(MADRID) <input type="checkbox"/> PUL. CPH(MADRID) <input type="checkbox"/> PAN <input type="checkbox"/> NT Tejidos: Córneas..... Huesos..... H.CLAMPAJE.....	DIAGNÓSTICO ME	Hora
Edad.....28.....		Exploración Clínica.....Si.....	
G.S.....0+..... FAX <input type="checkbox"/>		EEG.....Si.....	
Peso.....104.....		Gamma.....	
Talla.....185.....		Arterio.....	
Perímetro Torácico.....106.....		Eco Doppler.....	
Perímetro Abdominal.....100.....		P.Evocados.....	
Dcho <input type="checkbox"/> 72cm <input type="checkbox"/>		Otros.....	
Izqo <input type="checkbox"/> 25cm <input type="checkbox"/>		C. Familiar.....Si.....	
<input type="checkbox"/> 28cm <input type="checkbox"/>		C. Judicial.....Si.....	
		Origen: España <input type="checkbox"/> o <input type="checkbox"/>	

Figura 35 Hoja de Donante

3. Arrastraremos los órganos hasta el medio de transporte correcto

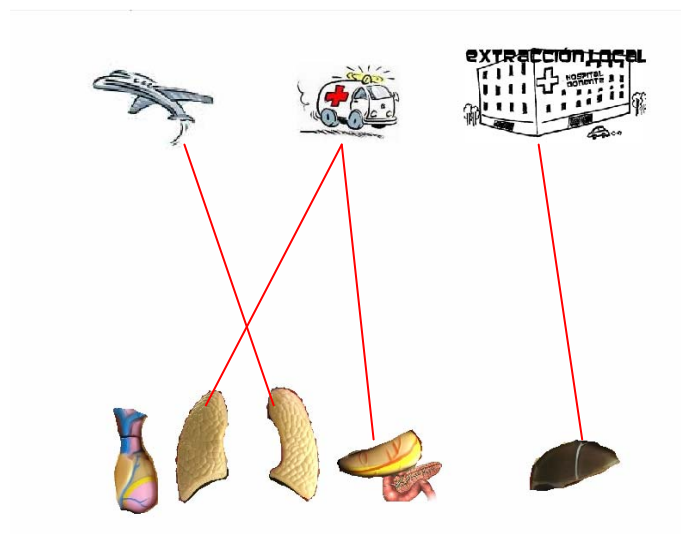


Figura 36 Escena de unión de órganos con medio de transportes

### 4.8.1. Casos de Uso

#### Donante 1

Donante del Clínico de Málaga, se donan el páncreas-riñón al Carlos Haya de Málaga, el hígado va al hospital Virgen de Arrixaca en Murcia, y el corazón hospital al Virgen de Rocío en Sevilla. El páncreas-riñón se transporta por carretera, por lo que nos olvidamos de él. El Hígado podría ir por carretera o por avión puesto que la distancia es de 407 km (unas 3 horas y media de trayecto) más el trasplante más el clampaje harían unas 5 horas y pico, así que se irá con avión, como el Clínico no trasplanta, lo extrae el Regional de Málaga y se manda el hígado por avión. Para el corazón, que va a Virgen de Rocío en Sevilla la distancia son 219 km, es decir dos horas, se debería ir con avión.

#### Donante 2

Donante del 12 de Octubre del cual se donan todos los órganos. Los riñones se quedan en el 12 de Octubre por lo que no hay que organizar transportes. Los pulmones se distribuyen de la siguiente manera, el pulmón derecho se queda en el 12 de Octubre y el izquierdo se va al Juan Canalejo de La Coruña. El 12 de Octubre realiza la extracción y el otro pulmón se envía por avión a Coruña, no se desplaza el equipo. El corazón se va a La Fe de Valencia, en este caso, la distancia es de 350km, se irá en avión, se desplaza el equipo receptor desde Valencia.

#### Donante 3

Donante de La Candelaria, en Canarias. Todos los órganos se trasladan por avión. Para el Hígado se traslada en avión regular de iberia. El corazón y Pulmones van al hospital Puerta de Hierro de Madrid y se traslada en avión. Se desplaza el equipo receptor a Canarias.

#### Donante4

Donante del central de Asturias. Los riñones y el corazón se van a Valdecilla (distancia 207 km), como el equipo receptor del corazón se desplaza hasta Asturias para la extracción, podrían llevarse los riñones. El Hígado va a Cruces en Bilbao, la distancia es 304 km, por lo que en principio nos desplazaríamos por carretera pero en un porcentaje de las ocasiones el equipo solicitará ir en avión.

## **Donante5**

Donante del hospital Marques de Valdecilla. Los riñones y los pulmones se van a Valdecilla. El Hígado va al Clínico de Zaragoza, la distancia es 397 km, por lo que se desplazarán en avión, el corazón al hospital Santa Creu de Barcelona, 693 km en avión.

### **4.8.2. Evaluación Formativa**

La primera versión de la simulación de transportes está desarrollada bajo unos criterios erróneos.

Lo más importante no es el medio por el que se transporta o la distancia, porque al final casi siempre se viaja por avión sino el control horario y ser capaz de cuadrar las horas. Es decir tienes que cuadrar las horas desde que se comunica el donante, hasta que se informa de la validez del órgano hasta que comienza el clampaje.

### **4.8.3. Fase 1 – Mantenimiento evolutivo**

Las mejoras necesarias aplicadas a esta simulación hacen referencia a la gestión de las llamadas concurrentes. Dentro de las limitaciones que tiene la herramienta, podremos simular que se desarrollan dos o tres procesos de forma simultánea pudiendo entrar llamadas tanto de uno u de otro de los procesos, pero las acciones se desarrollan secuencialmente por lo que no es factible la concurrencia de llamadas.

Además será necesario también añadir la gestión de los aeropuertos, tanto privados como públicos por medio de convenio.

## 5. Despliegue de la aplicación en Moodle

Para facilitar el acceso de los usuarios al material didáctico y a las simulaciones desarrolladas, se habilita una página web <http://educaont.ont.es> desde donde se gestionará el alta de los jugadores y estos podrán acceder a los cursos desde cualquier navegador.

The screenshot shows a Moodle course page titled "Sistema de Educación Online de la Organización Nacional de Trasplantes". The page layout includes a main menu on the left with links to "Foro de Discusión general", "Glosario ONT", and "Wikipedia ONT". The central content area is titled "Cursos disponibles" and lists several courses with their respective teachers:

- Diagnóstico de Muerte Encefálica**: Teachers: Marta Garcia Martinez, Itziar Martinez, Baltasar Fernandez Manjon, Admin User, Luis Gallardo Hoyos.
- Evaluación de Donantes**: Aprende como funciona el proceso de evaluación de donantes. Teachers: Marta Garcia Martinez, Itziar Martinez, Baltasar Fernandez Manjon.
- Simulación Evaluación de Donantes**: Teachers: Marta Garcia Martinez, Itziar Martinez, Admin User.
- Distribución de órganos**: Aprende a distribuir los órganos. Teachers: Marta Garcia Martinez, Itziar Martinez, Baltasar Fernandez Manjon, Luis Gallardo Hoyos.
- Simulación Distribución Órganos**: Teachers: Marta Garcia Martinez, Itziar Martinez, Luis Gallardo Hoyos, Baltasar Fernandez Manjon.
- Logística de Transportes**: Aprende cómo funciona la logística de transportes de la Organización Nacional de Trasplantes. Teachers: Marta Garcia Martinez, Itziar Martinez, Luis Gallardo Hoyos, Baltasar Fernandez Manjon.
- Simulación Logística de los Transportes**: Teachers: Marta Garcia Martinez, Itziar Martinez, Luis Gallardo Hoyos, Baltasar Fernandez Manjon.

On the right side, there is a language selector set to "Español - España (es\_es)", a logo for "ONT Educa@nt", and a calendar for June 2010.

Figura 37 Pagina web educ@nt

El despliegue de las simulaciones en la plataforma Moodle (Moodle, 2010) es muy sencillo, siendo capaz cualquier profesor de actualizar la simulación en cualquier momento desde cualquier lugar siempre y cuando tenga acceso a un ordenador con internet. Además Moodle está preparado para mostrar al profesor de las simulaciones los resultados de cada uno de los alumnos.

The screenshot shows a Moodle course page for 'Simulación Evaluación de Donantes'. The browser address bar shows 'http://educant.ont.es/course/view.php?id=2'. The page header includes 'Educ@nt ▶ CF102' and 'Ud. está en el sistema como Blanca Borro. (Salir)'. The main content area displays the course name 'Simulación del proceso de evaluación de donantes' and a report link 'View reports for 4 attempts'. Below this, the 'Contents' section lists 'eAdventure course'. The page is in 'Normal' mode, with options for 'Preview' and 'Start a new attempt'. The left sidebar contains navigation menus for 'Personas', 'Actividades', 'Search Forums', 'Administración', and 'Categorías de cursos'. The right sidebar features 'Noticias', 'Upcoming Events', and 'Actividad reciente' sections.

Figura 38 Despliegue objetos educativos en Moodle

## 6. Resultados

Una vez desarrolladas las 3 principales simulaciones referentes al proceso de coordinación extra hospitalaria. Se organizó una sesión práctica en la que todos los enfermeros de la ONT pudieron realizar las simulaciones.

Debido a la falta de tiempo del personal de la ONT, únicos expertos en el proceso de coordinación extra hospitalaria. Estos jugadores no necesitan formación previa respecto al proceso, simplemente necesitan que les tutelen con respecto al uso de la herramienta <e-adventure>, por eso el soporte fue exclusivamente técnico. Una vez comprendido el funcionamiento de las simulaciones se les dio acceso libre a estas para que pudieran practicar tanto como pudieran o quisieran y durante el tiempo que necesitaran, teniendo siempre la posibilidad de consultar dudas al desarrollador de las simulaciones o al enfermero experto en la implantación.

Tras completar los distintos protocolos representados por las simulaciones, todos los jugadores completaron un primer formulario en donde se les consultó sobre su opinión con respecto a las simulaciones, si éstas reflejaban o no la idea general del proceso.

En total, el número de formularios rellenados fue 20. Todas las preguntas excepto la primera tienen un formato de 7 posibles respuestas, siendo 1 “poco” y 7 “mucho”.

Tabla 1 Cuestionario valoración de la simulaciones

Pregunta #	Texto
P1.1	Edad
P1.2	¿Tienes alguna experiencia previa con simulaciones o videojuegos?
P1.3	<i>En referencia a la primera simulación:</i> ¿Refleja en general el proceso de evaluación de donantes?
P1.4	<i>En referencia a la segunda simulación:</i> ¿Refleja en general el proceso de distribución del corazón?
P1.5	<i>En referencia a la tercera simulación:</i> ¿Refleja en general el proceso de logística de transportes?
P1.6	¿Consideras que esta simulación puede suponer un buen complemento para aprender el proceso de evaluación de donantes gracias al "learning by doing" (aprender interactuando con el entorno)?
P1.7	¿Consideras adecuado para una mejor comprensión del proceso la utilización de

	hojas de donante reales (con los datos personales ofuscados), así como imágenes reales en las distintas escenas?
--	--

La tabla 2 refleja los resultados estadísticos obtenidos de los formularios, al ser un número muy reducido de usuarios los resultados no son demasiado significativos.

**Tabla 2 Análisis estadístico del cuestionario 1**

<b>Pregunta</b>	<b>Media</b>	<b>Mediana</b>	<b>Moda</b>
Edad	41,85	40	34
¿Tienes alguna experiencia previa con simulaciones o videojuegos?	4,1	4	3
<i>En referencia a la primera simulación:</i> ¿Refleja en general el proceso de evaluación de donantes?	5,9	6	6
<i>En referencia a la segunda simulación:</i> ¿Refleja en general el proceso de distribución del corazón?	5,6	6	6
<i>En referencia a la tercera simulación:</i> ¿Refleja en general el proceso de logística de transportes?	5	5	5
¿Consideras que esta simulación puede suponer un buen complemento para aprender el proceso de evaluación de donantes gracias al "learning by doing" (aprender interactuando con el entorno)?	6	6	6
¿Consideras adecuado para una mejor comprensión del proceso la utilización de hojas de donante reales (con los datos personales ofuscados), así como imágenes reales en las distintas escenas?	6,05	6	6

Cómo podemos observar, la mayoría de los enfermeros de la ONT carecen de mucha experiencia en lo que se refiera a videojuegos o simulaciones. La primera y la segunda simulación obtuvieron una buena puntuación. La tercera simulación no obtuvo tan buena puntuación al estar pendientes algunas modificaciones que los usuarios consideran primordiales para que se refleje correctamente la logística de los transportes. Estas modificaciones consisten en la adición a la funcionalidad de la simulación de conversaciones concurrentes, opción no desarrollable debido a las limitaciones de la

herramienta donde las acciones se desarrollan secuencialmente y la adición de la gestión de los aeropuertos, pendiente de formalizar por escrito el procedimiento.

Todos los usuarios consideran que esta simulación puede suponer un buen complemento para los sistemas de formación de la ONT gracias al llamado aprendizaje con el entorno o “*learning by doing*” ya que las simulaciones están enfocadas a no permitir al usuario terminar la simulación hasta no haber comprendido firmemente el proceso.

Y finalmente podemos observar que el uso de imágenes reales tales como el uso de un fax real, con los datos ofuscados, o el hecho de que la escena principal de las simulaciones sea la sala real de coordinación es altamente valorado por los expertos.

Para evaluar la usabilidad de la herramienta <e-Adventure> y de las simulaciones desarrolladas, se realizó otra encuesta cuyas preguntas se basaron en los cuestionarios de usabilidad de IBM (Lewis, 1993).

Este formulario lo han rellenado usuarios no expertos en el proceso de donación y trasplante, y todos los asistentes a la IX Reunión de la Red/Consejo Iberoamericano, donde tras la presentación formal de la plataforma de educación online de la ONT, se invitó a los asistentes a acceder a esta y evaluar la usabilidad.

La cabecera del formulario advierte al usuario de cuál es la finalidad del cuestionario e intentar prevenirle de rellenar las respuestas al azar.

“Este cuestionario da al jugador la oportunidad de expresar su satisfacción con la usabilidad de las simulaciones. Tus respuestas me ayudarán a comprender que aspectos del sistema debo mejorar y cuales te han satisfecho.”

**Tabla 3 Cuestionario de Usabilidad de las simulaciones**

<b>Pregunta #</b>	<b>Texto</b>
P2.1	En general, estoy contento con lo fácil de usar que es la herramienta
P2.2	Me siento a gusto con la herramienta
P2.3	Es sencillo aprender a utilizar la herramienta
P2.4	La herramienta me señala los errores y me indica cómo resolverlos
P2.5	La información aportada por la herramienta es clara
P2.6	Es sencillo localizar la información que necesito
P2.7	La información es fácil de comprender
P2.8	La información es efectiva para ayudarme a finalizar la simulación

P2.9	La organización de la información en la pantalla es clara
P2.10	La interfaz es amigable
P2.11	Me gusta utilizar la interfaz de la herramienta
P2.12	La herramienta tiene todas las funciones y capacidades que espero tener.
P2.13	En general, estoy satisfecho con la herramienta

Todas las preguntas excepto la primera tienen un formato de 7 posibles respuestas, siendo 1 “Completamente de acuerdo” y 7 “Completamente en desacuerdo”.

Los resultados los podemos ver en la siguiente tabla:

**Tabla 4 Resultados estadísticos del segundo cuestionario**

<b>Texto</b>	<b>Media</b>	<b>Mediana</b>	<b>Moda</b>
En general, estoy contento con lo fácil de usar que es la herramienta	2,2	2	1
Me siento a gusto con la herramienta	2,2	2	2
Es sencillo aprender a utilizar la herramienta	2,1	2	2
La herramienta me señala los errores y me indica cómo resolverlos	2,63	3	3
La información aportada por la herramienta es clara	2,53	2	3
Es sencillo localizar la información que necesito	2,53	3	3
La información es fácil de comprender	2,13	2	2
La información es efectiva para ayudarme a finalizar la simulación	2,5	2	2
La organización de la información en la pantalla es clara	1,93	2	1
La interfaz es amigable	1,7	2	2
Me gusta utilizar la interfaz de la herramienta	2,1	2	2
La herramienta tiene todas las funciones y capacidades que espero tener.	2,5	3	3
En general, estoy satisfecho con la herramienta	2,06	2	3

De estos valores podemos observar que la opinión de los usuarios es bastante buena siendo la media, mediana y moda de los valores siempre por debajo de 4. Analizando más en detalle las respuestas podemos ver cuáles son las preguntas que mejor puntuación han obtenido y cuáles son las peor puntuadas:

**Tabla 5 Porcentaje de resultados de las 6 primeras preguntas**

	<b>P2.1</b>	<b>P2.2</b>	<b>P2.3</b>	<b>P2.4</b>	<b>P2.5</b>	<b>P2.6</b>

<b>1 Totalmente de acuerdo</b>	33%	13%	30%	20%	20%	13%
<b>2</b>	23%	57%	37%	10%	30%	33%
<b>3</b>	33%	27%	27%	43%	33%	40%
<b>4</b>	10%	3%	7%	23%	10%	13%
<b>5</b>	0%	0%	0%	0%	7%	0%
<b>6</b>	0%	0%	0%	0%	0%	0%
<b>7 Totalmente en desacuerdo</b>	0%	0%	0%	0%	0%	0%

La tabla 5 indica que no ha habido ninguna puntuación superior a 5 en las 4 primeras preguntas, ni en la 6. Un 7% de las respuestas relativas a la quinta pregunta “la información aportada por la herramienta es clara” es relativamente baja, esto es probablemente debido a la gran cantidad de información que aporta alguna de las simulaciones, que hace que la información sea confusa. El 57% de las personas han puntuado con un 2 a la pregunta “Me siento a gusto con la herramienta”, lo cual significa que la herramienta es relativamente amigable.

Tabla 6 Porcentaje de resultados de las 6 primeras preguntas

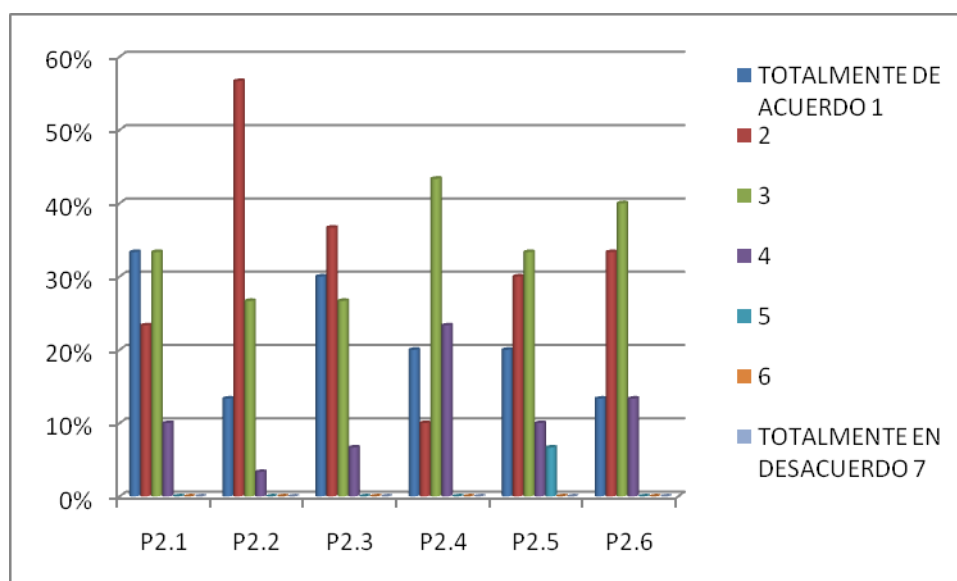
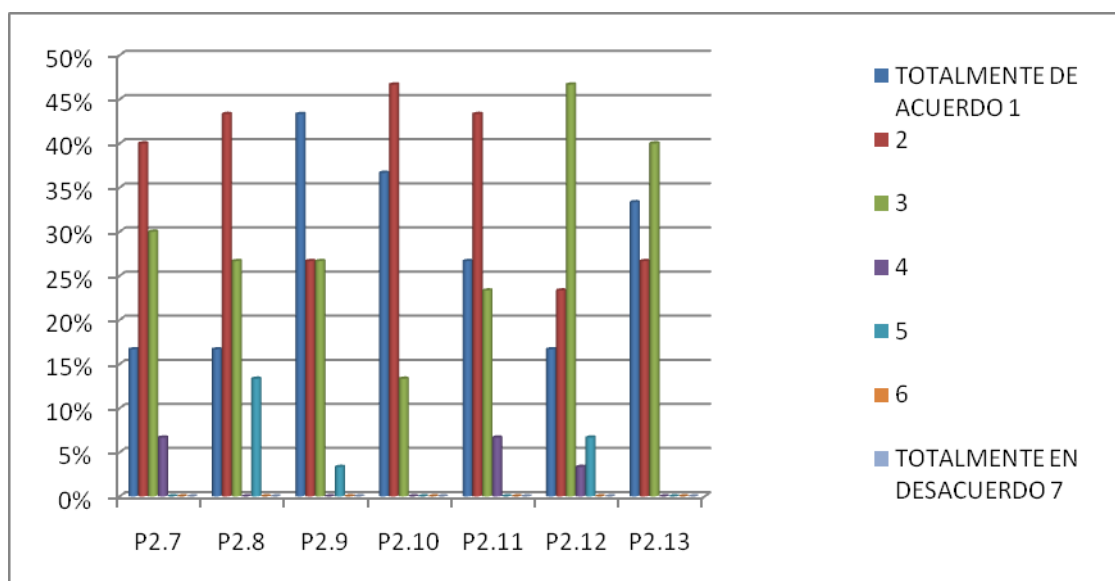


Tabla 7 Porcentaje de resultados de las 7 últimas preguntas

	P2.7	P2.8	P2.9	P2.10	P2.11	P2.12	P2.13
<b>1 Totalmente de acuerdo</b>	17%	17%	43%	37%	27%	17%	33%
<b>2</b>	40%	43%	27%	47%	43%	23%	27%
<b>3</b>	30%	27%	27%	13%	23%	47%	40%
<b>4</b>	7%	0%	0%	0%	7%	3%	0%
<b>5</b>	0%	13%	3%	0%	0%	7%	0%
<b>6</b>	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
<b>7 Totalmente en desacuerdo</b>	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Las últimas 7 preguntas obtienen peores puntuaciones, apareciendo el valor 5 en un 13% de las ocasiones para la pregunta: “La información es efectiva para ayudarme a finalizar la simulación”, el resto de porcentajes no son tan significativos, pero al igual que opinaban que la información no era clara es relativamente coherente que consideren por tanto que la herramienta no es efectiva.

Tabla 8 Porcentaje de resultados de las 7 últimas preguntas



Queda pendiente realizar el mismo formulario sobre los usuarios que vayan a asistir a un curso de formación, así mismo se desarrollará un formulario que evaluará los

conocimientos del proceso de donación y trasplante previos a la realización de simulaciones y posterior. Estos formularios evaluarán la efectividad de las simulaciones.

## 7. Conclusiones y Trabajo Futuro

### 7.1. Conclusiones

La aplicación de técnicas de simulación de bajo coste en un sistema de e-learning en la Organización Nacional de Trasplantes es un proyecto muy ambicioso, con un gran alcance, que está empezando a mostrar los primeros resultados. De hecho los aspectos de aplicación de simulaciones se han tenido que realizar a la vez que se ha diseñado y realizado un primer despliegue de la plataforma.

Consideramos que la principal aportación de este trabajo ha sido, no tanto las simulaciones concretas realizadas como la contribución a la sistematización de los protocolos ya existentes en la ONT, así como la formalización de otros protocolos que se aplicaban pero que no estaban formalizados y, por tanto, suponían un conocimiento implícito utilizado por el personal experto en el proceso de gestión de los trasplantes.

A partir de las especificaciones pre-existentes en la ONT se han desarrollado prototipos rápidos de las simulaciones de estos procesos utilizando la herramienta de autoría de juegos y simulaciones de aventura <e-Adventure>. Estas simulaciones se han ejemplificado sobre algunos protocolos concretos, en los que se ha tratado de abordar casos significativos de los dos principales entornos del trasplante. Es decir, tanto protocolos de gestión propiamente dicha en la ONT como protocolos clínicos implicados en el proceso de donación de órganos que se ejecutan en hospitales.

Estas simulaciones representan el proceso de coordinación de trasplantes dividido en fases, la primera fase desarrollada es el diagnóstico de muerte encefálica, que permite decidir si un posible donante puede llegar o no a ser un donante real. Las siguientes etapas se desarrollan dentro de la Organización Nacional de Trasplantes y comienzan tras la detección del posible donante. La segunda fase consiste en la correcta evaluación de un donante, determinar que órganos son donables y cuáles son las causas de no donación del resto de órganos. La tercera fase es la distribución de los órganos entre los distintos hospitales. Esta simulación representa un protocolo muy estricto pero complejo y poco conocido incluso por el personal implicado en los trasplantes pero externo a la ONT. Finalmente, la última fase consiste en la Logística de los transportes, una vez se ha decidido que órganos son donables, y a que hospitales se han asignado se

tiene que decidir cómo los transportamos y cuadrar los horarios de todos los hospitales implicados en el proceso.

Para el correcto desarrollo de las simulaciones ha sido necesario identificar y definir previamente casos de uso representativos, probados y relevantes. Estos casos o ejemplos no existían previamente ya que no se habían considerado tan relevantes para la formación presencial y se han obtenido a partir de donantes reales. Debido a los problemas éticos y morales que podría acarrear el hecho de utilizar datos reales de donantes, se ha conservado la causalidad de estos ejemplos pero ocultando toda referencia personal y o de situación (e.g. modificando fechas u origen), es decir se ha anonimizado todo el proceso para evitar que se puedan relacionar cualquiera de los casos de ejemplo con los donantes reales.

La herramienta <e-Adventure> es una herramienta de autoría en la que no es necesario tener conocimientos de programación ni unos conocimientos muy avanzados de informática para poder desarrollar prototipos y que permite una muy sencilla modificación de las simulaciones previamente creadas. Por tanto, esta herramienta ha permitido la activa y continúa colaboración por parte de los expertos, pudiendo ellos mismos modificar y actualizar las simulaciones sin necesidad de ayuda técnica.

En este trabajo además del propio desarrollo de las simulaciones se realizó una evaluación formativa por parte del personal experto de la ONT y se ha comenzado un periodo de pruebas de las simulaciones. Tanto en la evaluación formativa como en el periodo de pruebas se detectaron diversos errores que se han corregido para mejorar las simulaciones (y en varios casos la propia representación de los procedimientos).

Estas simulaciones tienen un valor añadido, ya que no sólo representan los procedimientos a través de simulaciones basadas en juegos de aventura sino que añaden parámetros habitualmente no recogidos en los documentos, como son los errores típicos que no suelen estar representados en los procedimientos. Las simulaciones permiten añadir estos errores típicos por medio de trampas de modo que los alumnos pueden practicar con ellos y recibir las indicaciones sobre cómo corregirlos.

Como se ha mencionado este trabajo ha permitido el paso de conocimiento implícito a conocimiento explícito y representativo a través de simulaciones. Al ejecutar las simulaciones los expertos detectan más fácilmente el conocimiento erróneo o que no

estaba explicitado en la descripción de los protocolos empleados como guía para las simulaciones.

Los resultados obtenidos a través de encuestas de validación y usabilidad de las simulaciones ha demostrado que el nivel de satisfacción por parte de los usuarios expertos en los referente a él paralelismo entre las simulaciones y los protocolos que reflejan es bastante elevado.

El proyecto “Aplicación de técnicas de simulación de bajo coste en un sistema de e-learning en la Organización Nacional de Trasplantes” es un proyecto en continua evolución que permite a todos los interesados en conocer el proceso de coordinación de trasplante acceder a través de un navegador web y realizar tantas pruebas cómo sean necesarias hasta llegar a alcanzar el nivel de conocimiento deseados.

Es un proyecto de amplia repercusión habiendo sido ya presentado en la IX Reunión de la Red/Consejo Iberoamericano, donde asisten todos los expertos del proceso de trasplante de España, Centroamérica y Sudamérica.

## **7.2. Limitaciones y Mejoras**

La herramienta <e-Adventure> utilizada para el desarrollo de las aventuras es una herramienta también en desarrollo continuo y presenta todavía algunas limitaciones que dan lugar a mejoras futuras de estas representaciones paralelas a la mejora en sí de la herramienta. La última versión añadió la opción de arrastrar objetos por la pantalla lo cual mejoro mucho la usabilidad y mejor comprensión por parte de los usuarios de ciertas escenas. Queda sin embargo pendiente mejorar la funcionalidad que permite seleccionar un número aleatoriamente, ya que en la versión actual de la herramienta permite lanzar un evento aleatorio y en función del resultado realizar una acción u otra, se detecta la necesidad de ampliar este aspecto de la herramienta puesto que será necesario ampliar la bolsa de donantes bastante para mejorar la representatividad del protocolo.

Otras de las mejoras necesarias son las cargas de las escenas intermedias, en el proceso de coordinación de trasplantes es necesario consultar continuamente la documentación disponible para poder tomar correctamente las decisiones, en ocasiones algunas de las escenas intermedias cargadas, necesitan ser visualizadas tanto en orden ascendente como descendente, es decir que el usuario necesita tener la capacidad de estando en la diapositiva 5 poder volver a consultar la 1 para comparar valores por ejemplo. Esta

funcionalidad no la presenta actualmente la herramienta y supone una limitación a la hora de desarrollar alguna de las simulaciones (aunque ya está prevista su implantación en la versión 2.0 donde estas escenas se comportaran ya como un libro y de dispondrá de visualización tanto ascendente como descendente).

Al desarrollar la simulación del protocolo de donación y trasplante, es necesario que el jugador introduzca valores como, por ejemplo, la causa de rechazo de los órganos. Sin embargo esta funcionalidad no la permite la herramienta <e-Adventure> y de momento solo se puede simular dando al usuario un conjunto de razones entre las que pueda seleccionar. Esta nueva funcionalidad acercaría la simulación a la realidad del proceso ya que la causa de rechazo de los órganos son muchísimas y muy diferentes y, por tanto, sería idóneo que el jugador pudiera introducir un texto con sus razones (igual dicha entrada se podría incluir en el informe de evaluación del juego).

Hay que estudiar el problema del tamaño de los juegos, ya que cuando se introducen videos de alta calidad el tamaño de la simulación se eleva demasiado y resulta lento cargarlas desde un navegador. Para poder reducir el tamaño de las simulaciones es necesario disminuir la calidad de los videos lo cual, en ocasiones, podría llegar a ser un inconveniente.

Se necesita, por último, una herramienta que permita realizar una firma digital sencilla de las simulaciones producidas que permita exportar los objetos educativos directamente con la firma de la ONT.

### **7.3. Trabajo Futuro**

La planificación y puesta en marcha del gestor de e-learning en la ONT (<http://educaont.ont.es>) abre el campo a nuevos proyectos. El primero es la incorporación de nuevos contenidos educativos en el gestor tanto basados en simulaciones como información de referencia que permita abordar el proceso formativo como un todo.

Otro de los proyectos más ambiciosos es proporcionar mecanismos colaborativos para acceso exclusivo del personal experto en el proceso de trasplante. El objetivo de estas herramientas (e.g. wiki) será la edición, definición y sistematización colaborativa de procedimientos. Cualquier persona interesada podrá publicar sus protocolos y compartirlos con el resto de los usuarios expertos que podrán ampliarlos, mejorarlos y comentarlos. De esta manera se logrará la una mayor homogeneización de las

especificaciones ya existentes evitando, en gran medida, tanto los errores como el conocimiento no formalmente representado.

Otro de los caminos a explorar es el uso de herramientas de modelado educativo como LAMS. La herramienta LAMS (Learning Activity Management System) (Fernández-Manjón, 2009) es uno de los proyectos que se están desarrollando dentro del Centro de Excelencia de e-Learning de la Universidad de Macquarie en Australia (MELCOE) dirigido por James Dalziel. El objetivo de LAMS es proporcionar una herramienta informática que diseñe y automatice actividades educativas, como son actividades individuales de los alumnos o actividades colaborativas desarrolladas por grupos de alumnos. Puede utilizarse en colaboración con otros sistemas de gestión como son Moodle, Sakai y Blackboard, que permitirá utilizar directamente LAMS desde la plataforma *educ@nt* como un recurso disponible más. LAMS es una herramienta de software libre. La herramienta LAMS proporciona una solución completa que puede ser utilizada no sólo de apoyo y refuerzo a las clases presenciales sino también como una herramienta de soporte para un curso totalmente online, en este caso será *educ@nt*.

Los responsables de la herramienta <e-Adventure> están trabajando para lograr la integración con LAMS (e-Adventure, 2010), que permitirá que los juegos sean utilizados como una actividad más en el diseño de una secuencia de aprendizaje, y que permitirá que la información que <e-Adventure> recoge de la interacción del alumno se pueda utilizar en estas secuencias. Estos datos intercambiados con LAMS durante el desarrollo del juego permiten realizar un control automático de flujo y además los informes de evaluación se adjuntarán a la parte de monitoreo de LAMS y al portfolio de informes de actividad.

## Bibliografía

Acedos, R. M. (2008). *El modelo español de Coordinación y Trasplantes* (2ª Edición ed.). Aula Médica Ediciones.

Aldrich, C. (2005). *Learning by Doing: A comprehensive Guide to Simulations , Computer Games and Pedagogy in e-Learning and Other Educational Experiences*. Pfeiffer .

Baltasar Fernandez-Manjón, J. L.-O.-G. (2009). *Estandarización y Modelado Educativo. Informe nº20*. Instituto Superior de Formación y Recursos en Red para el Profesorado (ISFTIC) del Ministerio de Educación, Política Social y Deporte (MEPSYD) de España.

Baltasar Fernández-Manjón, P. M.-G.-O. (2009). *Uso de estándares aplicados a Tic*.

Carlson, E. (2009). *Video Games: Key to the Future of Healthcare?* Obtenido de Pharmaexec: <http://pharmaexec.findpharma.com/pharmexec>

Dawson MD, S. (2006). *Procedural Simulation: A Primer*. *Radiology* .

de la Rosa, G. (2008). *BenchMarking en el proceso de donación*.

e-Adventure. (2010). *eAdventure*. Obtenido de [http://e-adventure.e-ucm.es/news.php?lang=en\\_en\\_utf8&number=102](http://e-adventure.e-ucm.es/news.php?lang=en_en_utf8&number=102)

FERNÁNDEZ-MANJÓN. B, M.-G. P.-O. *Uso de Estándares aplicados a TIC en la educación*. . En <.-U. R. Group.

Grace Huang, M. R. (2007). *Virtual Patient Simulation at U.S and Canadian Medical School*. *Educational Strategies - Academic Medicine* , Vol 82. Nº 5.

*Grupo de Investigacion UCM*. (s.f). Obtenido de <http://e-adventure.e-ucm.es>: <http://e-adventure.e-ucm.es>

IMS. (s.f). *IMS Global Learning Consortium, Content Packaging Specification*. . Obtenido de <http://www.imsglobal.org/content/packaging/>

Ivor, K. (s.f.). *Wellsphere*. Recuperado el 2009, de <http://www.wellsphere.com/general-medicine-article/medical-video-games-provide-great-training-for-healthcare-professionals/702634>

Lewis, J. R. (1993). *IBM Computer Usability Satisfaction Questionnaires Psychometric Evaluation and Instructions for Use*.

Lopez-Navidad.A, K. F. (2008). *El donante de órganos y tejidos: Evaluación y manejo*. Springer-Verlag Ibérica.

Moodle. (2010). *Moodle*. Obtenido de <http://moodle.org/>

Moreno Ger P, B. C. (2008). Online Learning and Clinical Procedures: Rapid Development and Effective Deployment of Game-Like Interactive Simulations. *Lect Notes Comput Sci, Transactions on Edutainment I* , 5080:2.

Moreno Ger Pablo, B. D. (2009). *Digital games in eLearning Environment: Current Uses and Emerging Tools*. *Simulation & Gaming* 40-5.

Moreno Ger Pablo, J. T. *Application of a low cost web-based simulation to improve students' practical skills in medical education*.

RCIDT. (2010). *RCIDT*. Obtenido de RCIDT: <http://www.transplant-observatory.org/rcidt/default.aspx>

Rich, E. (1983). *Users are individuals: individualizing user models*. . Department of Computer Sciences, The University of Texas. 18,199-214.

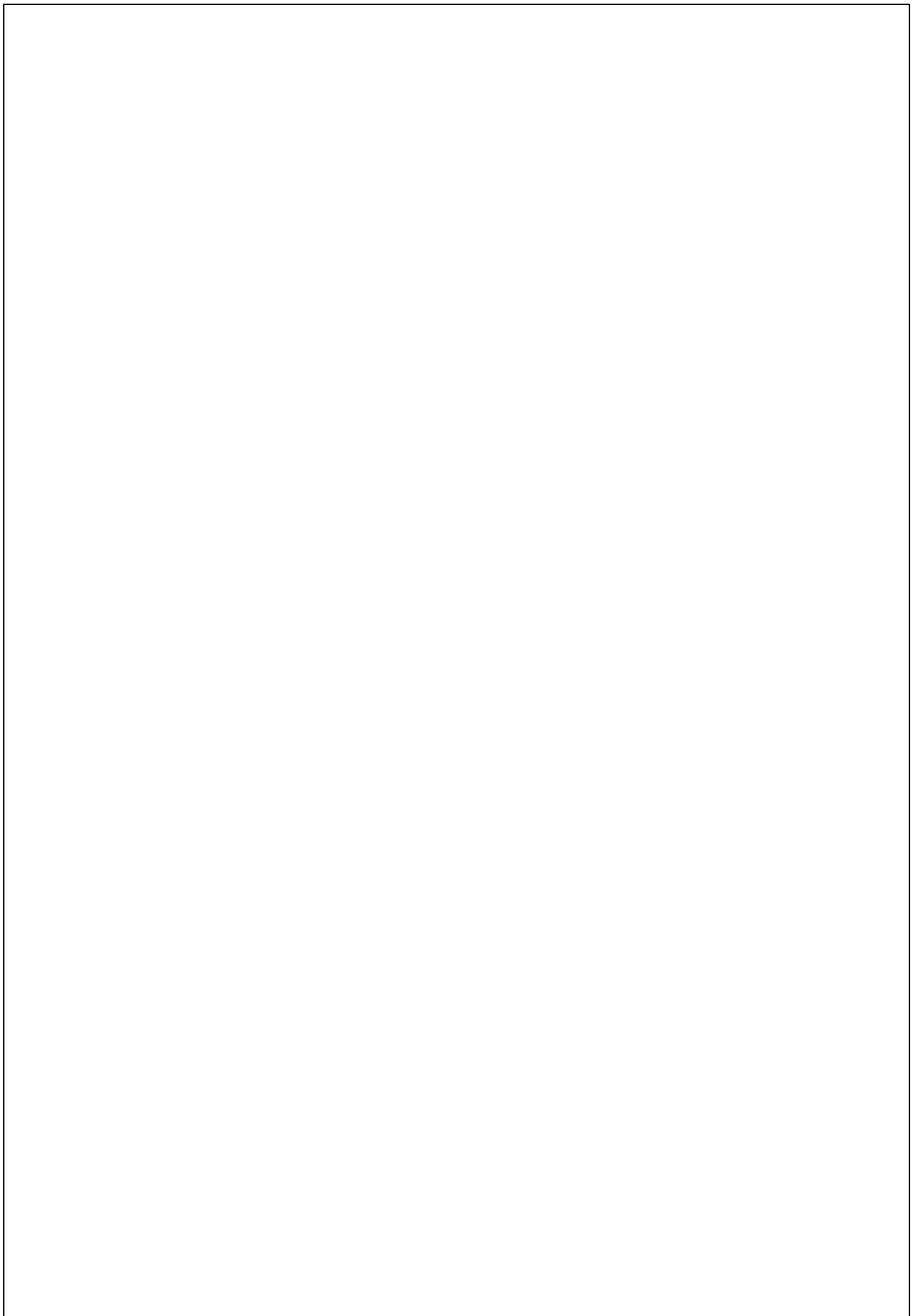
SCORM. (s.f.). *SCORM*. Obtenido de <http://es.wikipedia.org/wiki/SCORM>

Torrente. J, L. M. (s.f.). Implementing accessibility in educational videogames with e-Adventure. *<e-UCM> Research Group* .

Trasplantes, O. N. (2010). *Educ@nt*. Obtenido de <http://educaont.ont.es>

Trasplantes, O. N. (s.f.). *Organización Nacional de Trasplantes*. Obtenido de <http://www.ont.es>

Williamson Shaffer David, S. K. (2004). Video games and the future of learning. *University of Wisconsin-Madison and Academic Advanced Distributed Learning Co-Laboratory* .



## Anexo A- Requisitos Evaluación Donante. Datos clínicos y evaluación del donante

Existen una serie de datos clínicos a partir de los cuales podremos hacer una evaluación y una valoración del donante en su conjunto.

Los datos que han de ser recogidos son:

Causa de Muerte: Es imprescindible conocer cuál ha sido la causa de muerte del donante. También tenemos que conocer la fecha y hora en la cual ingresó, así como el tiempo que lleva Intubado.

Diagnóstico de Muerte Encefálica: Tendremos que conocer y dejar reflejado mediante qué procedimientos ha sido realizado el diagnóstico de M.E.

Consentimiento Familiar y/o Judicial: Tendremos que confirmar que ya está firmado el consentimiento familiar y/o judicial en caso de ser necesario.

DIAGNÓSTICO ME	Hora
Exploración Clínica.....	.....
EEG.....	.....
Gamma.....	.....
Arterio.....	.....
Eco Doppler.....	.....
P Evocados.....	.....
Otros.....	.....
C. Familiar.....	.....
C. Judicial.....	.....
Origen: <input type="checkbox"/> España <input type="checkbox"/> .....	.....

Figura 39 Diagnóstico de Muerte encefálica

Origen del Donante: Es necesario conocer el País de origen del donante o ha estado en países que tengan riesgo de transmitir enfermedades infecciosas y sea necesario realizar serologías específicas.

Medidas Antropométricas: Serán imprescindibles para poder realizar la oferta y selección de posibles receptores

- Sexo
- Edad
- Grupo Sanguíneo
- Peso

- Talla
- Perímetro Torácico
- Perímetro Abdominal
- Medidas pulmonares (en caso de tratarse de un donante pulmonar)

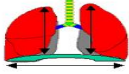
Sexo.....
Edad.....
G.S..... FAX <input type="checkbox"/>
Peso.....
Talla.....
Perímetro Torácico.....
Perímetro Abdominal.....
Dcho  Izqo

Figura 40 Medidas antropométricas

Antecedentes Personales: Tendremos que evaluar los antecedentes personales y hábitos tóxicos, para la posterior evaluación de los órganos

ANTECEDENTES PERSONALES			
ADICIONES	TABACO	Cantidad	Tiempo
	ALCOHOL	Cantidad	Tiempo
	OTROS		
HTA			
DIABETES		ANT. FAMILIARES	
CIRUGÍA PREVIA			
OTRAS PATOLOGÍAS			

Figura 41 Antecedentes personales

Pruebas instrumentales: Necesitaremos el resultado de las siguiente pruebas instrumentales para evaluar los diferentes órganos.

- RX Tórax: Es imprescindible para descartar cualquier tipo de patología pulmonar y necesaria para poder evaluar los pulmones en el caso de tratarse de un donante pulmonar.
- ECG: no es una prueba imprescindible, pero sí necesaria para la valoración cardiaca.
- Eco-Abdominal: será necesaria para hacer una valoración de los órganos abdominales, así como para descartar patologías

En algunas ocasiones es necesario realizar otras pruebas instrumentales complementarias para así poder evaluar otros órganos, o en algunos casos descartar alguna otra patología.

- Eco-cardiograma en el caso de tratarse de donantes cardiacos.
- TAC

Situación Clínica: Para poder conocer la situación clínica y hemodinámica del donante durante su mantenimiento, debemos conocer una serie de datos:

Temperatura: Será necesario conocer la evolución de la temperatura para así

poder descartar procesos infecciosos activos. Tendremos que conocer también si lleva algún tipo de tratamiento antibiótico y desde cuando, si se le han realizado estudios microbiológicos (hemocultivos, urocultivos, cultivos de broncoaspirado, LCR, etc) y si en el caso de tener resultados positivos a gérmenes, si existe un antibiograma que confirme cuál es el tratamiento antibiótico eficaz, para poder confirmar que es el adecuado.

En el caso de ser donantes a priori pulmonares deberemos también conocer la existencia de secreciones bronquiales y su aspecto en caso de ser así.

Tª actual	FIEBRE.....
	ANTIBIOTICOS.....
	HEMOCULTIVOS.....
	UROCULTIVOS.....
	Cult.BAS....( <b>Secreciones:</b> <b>SI</b> <b>NO</b> ).....
	OTROS.....

Figura 42 Temperatura, Hemocultivos...

Hemodinámica: Habrá que realizar una valoración hemodinámica, teniendo en cuenta la Tensión Arterial y la evolución de esta durante el ingreso (periodos de hipotensión prolongados).

Conocer si ha tenido alguna parada cardiorrespiratoria y en el caso de haber sido así, el momento en el que tuvo lugar, la duración, el tiempo y el tipo de reanimación.

Drogas vasoactivas, es necesario conocer la dosis y el tiempo de perfusión.

Otras medicaciones como Insulina, será necesario conocerlo en el caso de valorar el páncreas.

También será importante conocer si se le han realizado transfusiones y poder valorar si es preciso, si está hemodiluido.

T.A.	Hipotensión	SI	TAS mínima.....	Tiempo.....
PVC	FC	NO		
P.C.	NO / SI	Tiempo.....	RCP : Básica	Tiempo : .....
Drogas :			RCP : Avanzada	
DOPAMINA				
DOBUTAMINA				
NORADRENALINA				
DIURESIS :			DESMOPRESINA.....	
INSULINA:			( Perusión continua SI No )	
Transfusiones : (Fecha / Cantidad)				

Figura 43 Hemodinámica

Estudios Analíticos: Para poder valorar los órganos es necesario conocer los datos analíticos. Es recomendable que tengamos los últimos realizados y en los casos que sea necesario, por alteración de estos o días de ingreso, tendremos que poder conocer la evolución analítica.

Es imprescindible conocer la serología.

En el siguiente cuadro se ven los datos analíticos básicos que son necesarios para poder evaluar el funcionamiento de los diferentes órganos:

H.	DATOS ANALÍTICOS		Hora
GOT.....	NA.....	HTO.....	PH.....
GPT.....	K.....	HB.....	PO <sub>2</sub> .....
GGT.....	Creat.....		PCO <sub>2</sub> .....
BD.....	Urea.....		CO <sub>2</sub> H.....
BT.....	CL.....	Leuc.....	FI <sub>O</sub> <sub>2</sub> .....
PT.....	Glucosa.....	Neut.....	EB.....
Albúmina.....	Colesterol.....	Linf.....	Sat O <sub>2</sub> .....
FA.....	Amilasa.....	Basóf.....	
LDH.....		Eosin.....	HIV.....( )
CPK.....		Monoc.....	Ag HBS.....( )
CPK- MB.....			Ac HBc ( )
			Ac HBS ( )
Troponina.....		Plaq.....	CMV.....( )
		Ac. Prot.....	Ac VHC.....( )
		INR.....	
Proteinuria.....		Fibrinógeno.....	
Sedimento.....		APTT.....	Sólo obligado para donantes (mujeres) en edad fértil
OBSERVACIONES.....			Gravindex.....( )
			BHCG.....( )

Figura 44 Datos analíticos

Una vez que el donante en su conjunto es considerado como potencial donante, cerciorándonos que no existe ninguna causa de contraindicación, podremos pasar a valorar los diferentes órganos de una forma independiente de manera morfológica y funcional:

**HÍGADO:** Necesitaremos valorar los antecedentes de hábitos tóxicos, ecografía o TAC abdominal, datos analíticos (Ez. Hepáticas).

**CORAZÓN:** Necesitaremos valorar la edad, los antecedentes (HTA, etc), eco cardiograma, datos analíticos (Ez. Cardiacas), si ha sufrido alguna PCR (duración, tipo y tiempo de RCP, etc.), drogas vasoactivas (dosis y tiempo de perfusión).

**PULMONES:** Necesitaremos valorar la edad, antecedentes de hábitos tóxicos, Rx Tórax, datos analíticos (Gasometría Arterial realizada con FiO2 al 100% + 5 Peep durante 5min y siempre que la pO2 sea >300mmHg)

**PÁNCREAS:** Necesitaremos valorar la edad, los antecedentes de hábitos tóxicos y de diabetes, tanto propia como en antecedentes familiares, ecografía abdominal, si ha precisado insulina durante su mantenimiento y datos analíticos (amilasa).

**INTESTINO:** Será necesario conocer los mismos datos clínicos que en el resto de órganos abdominales, teniendo en cuenta que es un órgano muy sensible a periodos de isquemia o hipoperfusión, por eso será importante también conocer si el donante ha sufrido alguna PCR o se ha mantenido hipotenso durante periodos de tiempo prolongados.

**RIÑONES:** La distribución renal se hace a nivel local, pero será necesario en el caso que la ONT tenga que participar en su distribución, tener en cuenta una serie de aspectos:

<b>Tipaje HLA</b> .....		
<b>RIÑÓN QUE SE OFERTA:</b> <input type="checkbox"/> R DCHO <input type="checkbox"/> R IZDO		
Tº Isquemia caliente.....	Comienzo de Perfusión.....	
Extracción MOG.....		
Solución de Perfusión .....	Collins.....	EuroCollins..... M400..... WC.....
<b>ANATOMÍA RENAL</b>	<b>R DCHO</b>	<b>R IZDO</b>
Número de Arterias.....	_____	_____
Número de Venas.....	_____	_____
Uréter.....	_____	_____
Parque arterial.....	_____	_____
Parque venoso.....	_____	_____
<b>BIOPSIA RENAL</b>	<b>R DCHO</b>	<b>R IZDO</b>
.....	_____	_____
.....	_____	_____
.....	_____	_____

**Figura 45 Datos renales**

El HLA del donante, la hora de clampaje (si la conocemos en ese momento) y en el caso de estar extraídos, el aspecto macroscópico y/o el resultado de la biopsia si han sido

biopsiados. Será importante conocer la función renal del donante tanto durante el mantenimiento como la previa, si es posible.

## **Anexo B- Coordinación extra hospitalaria en los proceso de donación y trasplante**

La Oficina Central de la Organización Nacional de Trasplantes, coordina los procesos de donación en todo el Estado, (por delegación de las Comunidades Autónomas), a excepción de Cataluña, que tiene su propia Oficina de Coordinación de 24 horas, ocupándose de la gestión de los donantes de su comunidad además de tener delegadas las funciones de Coordinación e intercambio de órganos con otros países.

Los Objetivos de esta coordinación son:

Valoración y aprovechamiento máximo de todos los órganos

- Correcta distribución de órganos basada en los Criterios Clínicos establecidos por los equipos de trasplantes, y en los Criterios Territoriales, marcados por la Comisión Permanente de Trasplantes del Consejo Interterritorial del Sistema Nacional de Salud. Siendo garantes de su cumplimiento y transparencia
- Coordinación de todos los equipos y otros profesionales no sanitarios, en el menor tiempo posible, para asegurar la eficacia y viabilidad de los órganos, y su posterior implante en las mejores condiciones.

El proceso de Donación comienza cuando el Coordinador Hospitalario detecta en una Unidad de Críticos la existencia de un posible donante de órganos, verifica la muerte encefálica y realiza los procedimientos necesarios para la correcta valoración de los órganos. Comunica la muerte a la familia y realiza la consulta a la familia sobre la voluntad del fallecido con respecto a la donación y en los casos que sea necesario, los trámites para la autorización judicial. (Figura 45)

La comunicación del posible donante a la Oficina de Coordinación, es aconsejable se realice lo antes posible, una vez realizado el diagnóstico legal de muerte, con el fin de disponer del tiempo suficiente para organizar las ofertas y los desplazamientos que fueran necesarios.

En el momento de la 1ª llamada se facilitan los datos básicos, clínicos analíticos y antropométricos del donante que van a facilitar la valoración de la posible utilización de los órganos, así como el establecimiento de la compatibilidad donante/receptor.

## COORDINACION EXTRAHOSPITALARIA

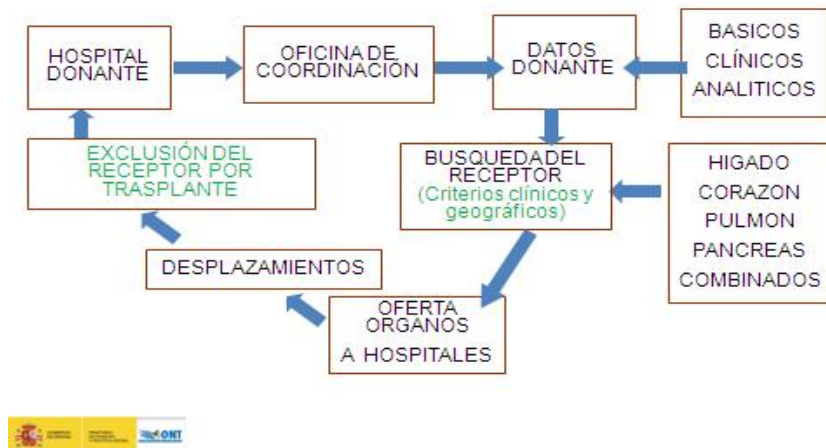


Figura 46 Proceso de coordinación extra hospitalaria

## **Anexo C- Criterios de distribución**

### CRITERIOS DE DISTRIBUCIÓN

- Criterios territoriales.
- Criterios clínicos.

Todas las actividades de distribución de órganos son llevadas a cabo en la oficina central de la ONT, observando con rigurosa escrupulosidad los criterios de distribución, tanto territoriales/geográficos, como clínicos.

Todas las alarmas de coordinación de extracción o intercambio de órganos son convenientemente archivadas y quedan a la disposición del Comité de Conflictos y Transparencia de la Comisión de Trasplantes del Consejo Interterritorial del Sistema Nacional de Salud, que periódicamente emite un informe en relación con esta actividad de la ONT.

A continuación se describen los criterios de distribución aprobados para el año 2010.

### CRITERIOS TERRITORIALES

Los criterios territoriales de distribución de órganos para trasplantes son decididos por los representantes de las distintas CCAA (Coordinadores Autonómicos de trasplante) y aprobados en la Sede del Consejo Interterritorial.

Con vistas a una mejor coordinación de esfuerzos y mayor aprovechamiento se ha dividido el territorio español en seis zonas, que posibilitan una más racional adjudicación de donantes y órganos a los equipos trasplantadores, con prioridad geográfica local, reduciendo de forma significativa los costes y los esfuerzos de los profesionales del trasplante.

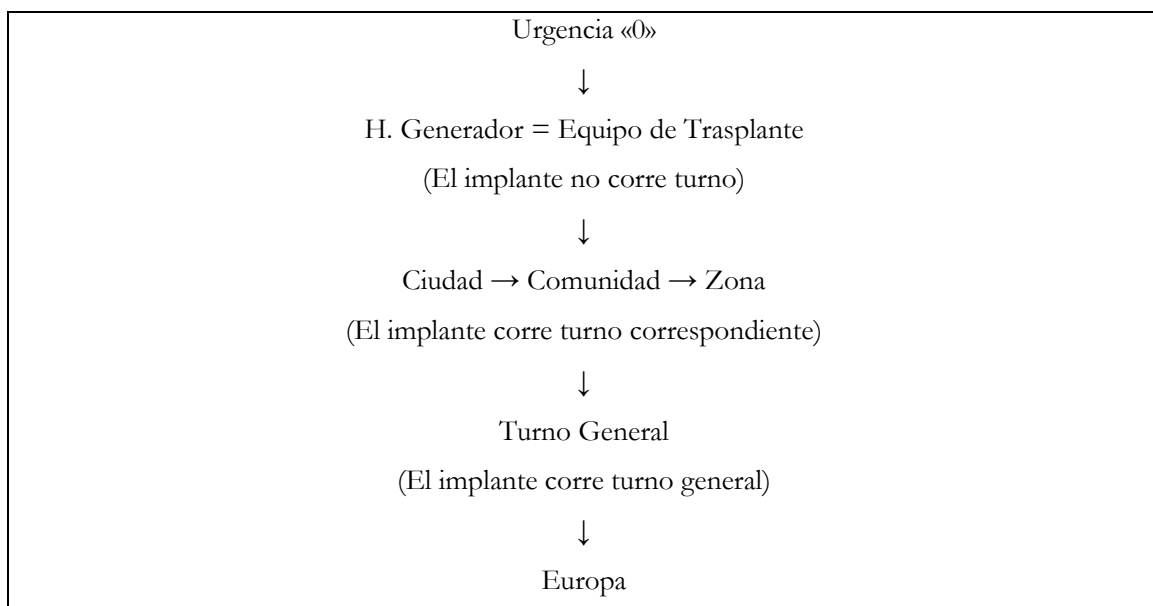
Así, España queda dividida en 6 zonas:



Figura 47 Mapa de zonas

- Zona I: Galicia, Asturias, Cantabria, País Vasco, Navarra, La Rioja, Norte de Castilla-León (León, Palencia, Valladolid: Hospital Rio Hortega).
- Zona II: Cataluña, Baleares.
- Zona III: Comunidad Valenciana.
- Zona IV: Madrid, Extremadura, Murcia, Aragón, Castilla-La Mancha, Sur de Castilla-León (Burgos, Salamanca, Zamora, Ávila, Segovia, Soria, Valladolid: Hospital Clínico Valladolid).
- Zona V: Andalucía, Ceuta y Melilla.
- Zona VI: Canarias.

La distribución de ofertas de órganos según criterios territoriales se llevará a cabo con arreglo al siguiente esquema general:



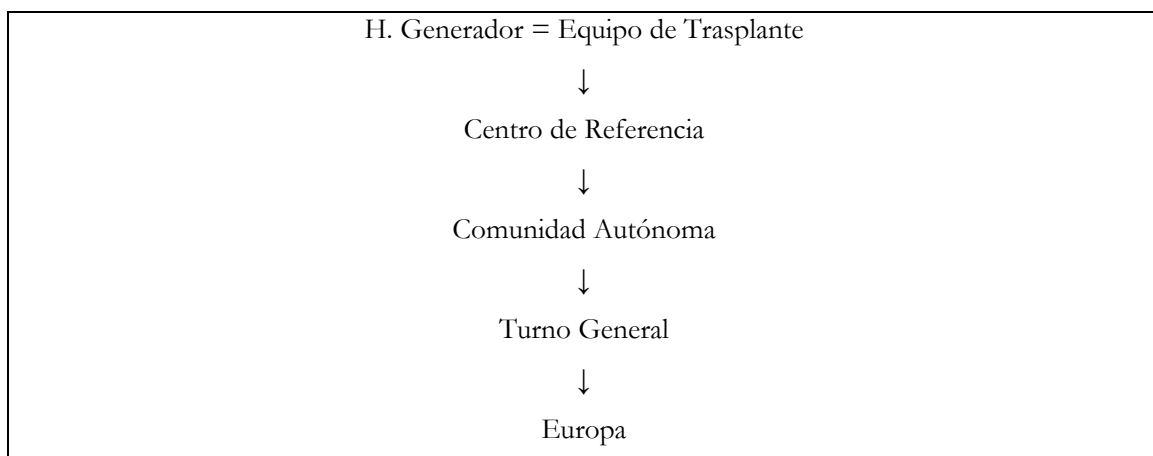
Las ofertas de Europa, se realizarán simultáneamente a los equipos con receptor adecuado, adjudicándose al primer equipo que acepte.



Figura 48 Turnos

En el contexto del trasplante pancreático, cada centro de trasplante es de referencia para su CCAA y/o para otras CCAA, en base a acuerdos preestablecidos. Esto significa que los páncreas generados en el área cubierta por el centro de referencia son automáticamente asignados a dicho centro. Esta particularidad del trasplante de páncreas conlleva que los criterios geográficos de distribución no sean completamente superponibles a los aplicados a otros órganos.

La distribución de ofertas de páncreas, según criterios territoriales, se llevará a cabo con arreglo al siguiente esquema:



CRITERIOS CLÍNICOS

Estos criterios son establecidos y revisados anualmente por todos los equipos de trasplante de cada órgano y representantes de la ONT. A continuación se describen los criterios clínicos aprobados para el año 2010 para cada uno de los órganos.

## **Anexo D- Logística de los Transportes**

Una vez aceptados los órganos por los diferentes equipos y según la disponibilidad de cada uno de ellos para desplazarse, se fijará la hora de extracción de acuerdo con el coordinador del hospital donante.

Para el desplazamiento de los equipos, la logística, variará en función de la distancia entre el hospital donante y hospital receptor, si se envía el órgano extraído o se desplazan los equipos a extraerlo.

Los medios utilizados para el desplazamientos de los equipos/órganos, está condicionado por la distancia y los tiempos de isquemia.

Atendiendo a las variables anteriores, se diferencian cuatro tipos básicos de desplazamientos:

a) Locales: Son todos aquellos operativos en los que el hospital donante y el hospital receptor se encuentran en la misma ciudad o en su área de influencia.

En estos operativos son los propios coordinadores del hospital receptor los que se encargan de la organización del desplazamiento en función de los acuerdos que cada comunidad autónoma tenga. El personal de enfermería de la ONT actúa como interlocutor entre los dos hospitales, informando al coordinador del hospital receptor de la evolución del proceso para la correcta preparación del receptor.

b) Distancias cortas: La distancia entre el hospital donante y el hospital receptor es menor de 250-300 km y los equipos se trasladan de manera preferente en automóvil o medio aéreo cuando el tiempo de isquemia del órgano a trasplantar lo requiera.

El uso de helicópteros es mucho más restringido puesto que está supeditado a las condiciones atmosféricas y al horario. Para su utilización se requerirá la colaboración, cuando sea necesario, de las autoridades aéreas militares y civiles para el uso de helipuertos y bases de aterrizaje. En caso de ser necesaria, se requerirá la colaboración de los Cuerpos de Seguridad del Estado para acompañar y abrir camino a los equipos durante el traslado hasta el hospital.

c) Largas distancias: Entendemos como largas distancias todos aquellos operativos en los que el tiempo de isquemia del órgano, requiere la utilización de aviones privados para su traslado.

En el traslado de un equipo en avión hay que tener en cuenta que se necesita un tiempo mínimo de 2 horas para que el avión despegue de su base (aviso a la tripulación, preparación del vuelo, repostar...). Además, es preciso informar del operativo a los centros de coordinación de los aeropuertos implicados para que los faciliten. Se informa al coordinador del hospital donante de la hora aproximada de llegada y del número de personas que viajan para que pueda organizar el medio de transporte hasta el hospital. No todos los aeropuertos están operativos las 24 h del día, por lo que muchas veces es necesario solicitar la prolongación de su horario operativo o incluso la apertura de los mismos.

Es muy importante la información constante entre el hospital donante, la ONT y el hospital receptor, para el perfecto engranaje de todo el proceso, evitando esperas innecesarias que aumentarían el tiempo de isquemia del órgano.

d) Envío de órganos en vuelos regulares: Existe un acuerdo de cooperación por el que se autoriza y se define el procedimiento para el envío de neveras con órganos para trasplante a través de vuelos regulares. La colaboración de la compañía Iberia con la ONT ha sido imprescindible y fructífera.

El uso de vuelos regulares habitualmente es utilizado para el traslado de Riñones, puesto que el tiempo de isquemia nos lo permite, cuando la distancia por carretera es larga y coincide que los hospitales de origen y destino disponen de un aeropuerto cercano.

También hacemos uso de ellos para el traslado de Hígados desde hospitales de la CCAA de Canarias que se envían extraídos cuando el hospital implantador vaya a ser un hospital de la península, siempre y cuando coincida con el horario de vuelos regulares.

Confirmada la llegada de todos los equipos implicados e iniciada la extracción, desde la ONT se mantiene informado al coordinador del hospital trasplantador de tres circunstancias muy importantes:

- la validez del órgano
- la hora de clampaje

- la de salida del hospital donante, con la hora prevista de llegada al hospital o aeropuerto, para que se inicie la preparación de receptor y disponga el medio de transporte necesario.

Una vez concluido el trasplante, el coordinador del hospital implantador informa del receptor a la oficina de la ONT y se procede a su exclusión de la lista de espera.

## GESTIÓN RENAL

La gestión de las listas de espera renales de cada centro de trasplante es local y por tanto no precisa de la intervención de la oficina de coordinación de la ONT para llevarse a cabo, excepto en aquellas ocasiones en las que las características especiales del donante (VHC+, VHB+, edad, tamaño...), la falta de receptor adecuado o cualquier otra causa, impide la realización del trasplante en el hospital que le corresponde.

Desde la ONT se realizan las ofertas necesarias a los centros de trasplante para la localización de los posibles receptores

## **Anexo E- Diagnóstico de Muerte encefálica**

### CONCEPTO Y DEFINICIÓN

El concepto de muerte siguiendo criterios neurológicos o Muerte Encefálica (ME), se define como el cese irreversible en las funciones de todas las estructuras neurológicas intracraneales tanto de los hemisferios cerebrales como del troncoencéfalo. Cualquier patología intracraneal grave se acompaña de un incremento en la presión intracraneal (PIC), que provoca una disminución en la presión de perfusión cerebral (PPC). La disminución progresiva de la PPC y del flujo sanguíneo cerebral (FSC) impide mantener la oxigenación y el metabolismo cerebral adecuado. Cuando finalmente la PIC se eleva por encima de la tensión arterial sistólica (TAS) del paciente, cesa definitivamente el FSC, se instaura la parada circulatoria cerebral y se produce la ME. La etiología más frecuente de ME son ictus isquémico/hemorragico, hemorragia subaracnoidea, traumatismo craneoencefálico, encefalopatía anóxica postparada cardíaca, y tumores del sistema nervioso central (SNC). En nuestro medio, la causa más frecuente es la hemorragia cerebral intraparenquimatosa de origen hipertensivo. La patología neurológica que provoca ME tiene en la inmensa mayoría de los casos, una localización supratentorial. El diagnóstico de ME se basa en una exploración neurológica exhaustiva que debe ser realizada por médicos expertos en el manejo de pacientes neurocríticos. Además del diagnóstico exclusivamente clínico, existen una serie de pruebas instrumentales que pueden ser obligatorias en algunos casos y que varían en cada país. La legislación española, define perfectamente las circunstancias clínicas que obligan a utilizar el diagnóstico instrumental. La declaración de ME es un diagnóstico de gran responsabilidad, con trascendencia médica, ética y legal ya que permite retirar todas las medidas artificiales de soporte incluyendo la desconexión de la ventilación mecánica (VM), o realizar la extracción de órganos para trasplante. En la actualidad, más del 95% de los trasplantes que se realizan en España se hacen con órganos procedentes de donantes en muerte encefálica. Estos datos, similares a los de muchos otros países, demuestran la importancia de la ME como entidad generadora de órganos para trasplante y la convierten en una de las piezas indispensables del proceso donación-trasplante. Un correcto y amplio conocimiento clínico sobre la ME, y de los métodos diagnósticos instrumentales que pueden ser utilizados en su confirmación, es uno de los factores que pueden contribuir a incrementar el número de donantes.

## DIAGNÓSTICO CLÍNICO

La exploración neurológica del paciente con sospecha de ME tiene que ser realizada por médicos expertos en la valoración de pacientes con patología neurológica crítica. Esta exploración debe ser sistemática, completa y extremadamente rigurosa. Dada la importancia clínico-legal del diagnóstico, todos los hallazgos obtenidos, así como la hora de la exploración deberán ser reflejados adecuadamente en la historia clínica. Para realizar el diagnóstico clínico de ME han de cumplirse las siguientes condiciones:

### 1. Coma estructural, de etiología conocida y carácter irreversible

Es imprescindible conocer la causa del coma mediante la historia clínica y/o documentación por neuroimagen con TC craneal que demuestre la presencia de lesión estructural, grave y catastrófica en el SNC para descartar, causas metabólicas o tóxicas de coma que puedan ser potencialmente reversibles.

### 2. Precondiciones clínicas

Antes de iniciar la exploración neurológica, hay que comprobar que el paciente se encuentra en unas condiciones clínicas adecuadas que no depriman o alteren los hallazgos de la exploración clínica. Estos prerequisites considerados básicos en todos los protocolos internacionales son:

- Estabilidad cardiocirculatoria.
- Oxigenación y ventilación adecuadas.
- Ausencia de hipotermia grave.

La homeostasis térmica depende de la activación del hipotálamo anterior, que es el integrador común de la información aferente y eferente. En situaciones de ME al perderse la función de este centro termorregulador se produce una hipotermia espontánea y progresiva. Los criterios de la Academia Americana de Neurología y en la legislación Española, se acepta como válida una temperatura superior a 32° C. Entre 28° y 20° C, la propia hipotermia hace que el paciente puede estar comatoso, y con abolición de reflejos troncoencefálicos provocando una situación neurológica similar a la ME. Aunque se acepta como válida una temperatura > a 32° C, es preferible mantener una temperatura siempre > 35°, para evitar los efectos clínicos indeseables de la propia hipotermia, y para facilitar la

realización del test de apnea, ya que si el paciente está hipotérmico se produce muy poco CO<sub>2</sub> lo que dificulta alcanzar los niveles de PaCO<sub>2</sub> > a 60 mm de Hg.

Ausencia de alteraciones metabólicas:

Hay que descartar alteraciones metabólicas importantes de tipo hidroelectrolítico, ácidobase o endocrinológicas tales como, hipofosfatemia grave, encefalopatía hepática, coma hipoglucémico o coma hipotiroideo.

Ausencia de intoxicaciones: Las intoxicaciones por drogas o tóxicos depresores del SNC pueden provocar graves errores en la valoración neurológica del paciente comatoso, por lo que es obligatorio descartar la presencia de dichas sustancias, mediante una exhaustiva historia clínica y determinaciones analíticas en sangre y orina.

Ausencia de fármacos depresores del sistema nervioso central: En el tratamiento de los pacientes neurológicos graves, ingresados en las Unidades de Cuidados Intensivos se utilizan rutinariamente benzodiacepinas, propofol, mórficos y barbitúricos; todos ellos, son fármacos depresores del SNC, que enmascaran e impiden realizar la exploración neurológica. Los barbitúricos a dosis elevadas y mantenidas, llegan a producir coma profundo sin respuesta a estímulos algésicos, ausencia de reflejos troncoencefálicos y electroencefalograma (EEG) sin actividad bioeléctrica cerebral. En el momento de la exploración, hay que comprobar que no exista interferencia farmacológica por barbitúricos u otros fármacos que nos enmascare la situación neurológica real del paciente.

### 3. Exploración neurológica

El diagnóstico clínico de ME se basa en tres pilares fundamentales:

- Coma profundo arreactivo.
- Ausencia de reflejos troncoencefálicos.
- Apnea.

Coma profundo arreactivo:

El paciente tiene que encontrarse en coma profundo y arreactivo con hipotonía muscular generalizada. La estimulación algésica será realizada fundamentalmente en el territorio de los nervios craneales (trigémino), provocando dolor intenso a nivel supraorbitario, labio superior o en la articulación temporomandibular.

No puede existir ningún tipo de respuesta motora o vegetativa, así como tampoco respuestas o actitudes motoras en descerebración ni decorticación.

Ausencia de reflejos troncoencefálicos:

La exploración debe ser bilateral y se debe constatar la ausencia de todos los reflejos.

*Reflejo fotomotor:* Se realiza estimulación con un foco de luz potente, observándose en condiciones normales una contracción pupilar. En ME las pupilas pueden ser redondas, ovales o discóricas y de tamaño medio o midriáticas, desde 4 a 9 mm, pero siempre son arreactivas a la luz. No debe existir tampoco respuesta consensual. Vía aferente, nervio óptico. Vía eferente, nervio motor ocular común. Nivel anatómico explorado: mesencéfalo.

*Reflejo corneal:* Se realiza estimulación corneal con una gasa o torunda de algodón, observándose en condiciones normales una contracción palpebral y lagrimeo. En ME no existe ningún tipo de respuesta. Vía aferente, nervio trigémino. Vía eferente, nervio facial. Nivel anatómico: protuberancia.

*Reflejo oculocefálico:* Manteniendo abiertos los ojos del paciente, se realizan giros rápidos de la cabeza en sentido horizontal, observándose una desviación ocular conjunta opuesta al lado del movimiento, volviendo los ojos posteriormente de forma espontánea a su posición de reposo. En ME no existe ningún tipo de movimiento ocular. Vía aferente, nervio auditivo. Vía eferente, nervio motor ocular común y motor ocular externo. Nivel anatómico: unión bulbo-protuberancial.

*Reflejo oculoestibular:* Con la cabeza a 30°, se inyecta en el conducto auditivo externo 50 cc de suero frío, manteniendo abiertos los ojos del paciente durante 1 minuto y observando en condiciones normales un nistagmo de componente lento hacia el oído irrigado y componente rápido que se aleja del conducto irrigado. El nistagmo es regular, rítmico y permanece menos de 2-3 minutos. En ME no existe ningún tipo de movimiento ocular. Vía aferente, nervio auditivo. Vía eferente, nervio motor ocular común y nervio motor ocular externo. Nivel anatómico, unión bulbo-protuberancial.

*Reflejo nauseoso:* Estimulando el velo del paladar blando, úvula y orofaringe, se observa la aparición de náuseas. En ME no existe ningún tipo de respuesta. Vía aferente, nervio glossofaríngeo. Vía eferente, nervio vago. Nivel anatómico, bulbo.

*Reflejo tusígeno:* Se introduce una sonda a través del tubo endotraqueal, provocando estimulación de la tráquea, observándose en condiciones normales la aparición de tos. En ME no existe ningún tipo de respuesta. Vía aferente, nervio glossofaríngeo y nervio vago. Vía eferente, nervio vago. Nivel anatómico, bulbo. En lactantes y neonatos la exploración neurológica es más difícil de obtener debido a la propia inmadurez cerebral, por lo que se recomienda repetirla insistentemente y explorar también otros reflejos propios de la edad como el *Reflejo de succión*.

*Test de Atropina:* Explora farmacológicamente la actividad del nervio vago y de sus núcleos troncoencefálicos. Se administran 0,04 mg/kg de sulfato de Atropina iv comprobándose la frecuencia cardíaca pre y postinyección. En ME, la frecuencia cardíaca no debe superar el 10% de la frecuencia cardíaca basal. No administrar la atropina por la misma vía venosa donde se están infundiendo catecolaminas ya que esto puede producir taquicardia y darnos un resultado falso.

*Test de Apnea:* Cronológicamente, debe ser realizado al final de toda la exploración y su objetivo es demostrar la ausencia de respiración espontánea. Inicialmente se realiza una hiperoxigenación y se modifican los parámetros del respirador para conseguir una normoventilación. Extraer una gasometría arterial para documentar la PaCO<sub>2</sub> y desconectar al paciente del respirador, introduciendo una cánula hasta la tráquea con oxígeno a 6 litros por minuto para conseguir una oxigenación por difusión a través de la membrana alveolo-capilar y evitar hipoxia que pudiera provocar asistolia. Durante el tiempo de desconexión de la VM, el médico observará detenidamente tórax y abdomen comprobando que no exista ningún tipo de movimiento respiratorio. El tiempo de desconexión es variable y estará en función del nivel previo de PaCO<sub>2</sub> y de la temperatura del paciente. Cada minuto de desconexión, la PaCO<sub>2</sub> se eleva 2-3 mmHg. Nuestro objetivo es demostrar que el paciente no respira cuando el centro respiratorio está máximamente estimulado por hipercapnia y acidosis. Al finalizar el test de Apnea, se realiza una gasometría arterial para constatar que la PaCO<sub>2</sub> es superior a 60 mm de Hg. En pacientes con patología pulmonar y grandes requerimientos de oxigenoterapia y PEEP, el test clásico descrito previamente, puede provocar un colapso alveolar. En estos casos y cuando el sujeto es considerado como donante pulmonar, no se recomienda realizar el Test clásico, ya que se produce una despresurización en la vía aérea y aumento del colapso alveolar. En esta situación se debe realizar siempre el Test de Apnea con CPAP, aplicada mediante válvulas específicas en la salida espiratoria del Tubo en T o mediante «ventilación en modo CPAP»

en el respirador. La mayoría de los nuevos ventiladores permiten esta modalidad de ventilación y además tienen la ventaja de poder visualizar en la pantalla las curvas de presión, flujo y volumen generados. La CPAP utilizada será como norma general de 10 cm de H<sub>2</sub>O, aunque puede ser más elevada según las necesidades del caso. Se puede igualmente considerar el realizar una «hipercapnia permisiva» previa, para disminuir el tiempo de desconexión de la ventilación mecánica. En líneas generales hay que saber adaptar el Test de Apnea, a las condiciones respiratorias del paciente valorando adecuadamente la utilización de sus diferentes opciones.

Actividad motora espinal: La ME provoca una desconexión aguda de la médula espinal con respecto a todas las estructuras neurológicas intracraneales, pudiendo observarse la recuperación de algunas de sus funciones reflejas o automáticas. La actividad motora de origen medular puede no estar presente, aparecer inmediatamente o evidenciarse pasadas varias horas después de declarar el diagnóstico de ME. En ocasiones, se observa una mayor intensidad de actividad espinal cuanto más tiempo transcurre desde el diagnóstico, lo que vendría justificado por la recuperación de la funcionalidad autónoma medular liberada de las influencias encefálicas. La actividad motora de origen medular tanto refleja como espontánea, es un hecho observado con relativa frecuencia, por lo que es muy importante saber reconocerla y diferenciarla de las respuestas motoras de origen encefálico. En ME puede existir actividad motora de origen medular tanto espontánea como refleja. La variedad de reflejos que pueden observarse es muy amplia, y entre los más frecuentes hay que destacar los reflejos cutáneo-abdominales, cremastérico, reflejo plantar flexor, extensor, de retirada y reflejos tónico-cervicales. En el reflejo cervico-flexor del brazo se observa una contracción de los músculos flexores del brazo que suele separarse unos centímetros de la cama, cuando se realiza una flexión rápida y forzada del cuello. Existen también reflejos cervico-flexor de la cadera y reflejo cervicoabdominal, obteniéndose en estos casos flexión de la cadera y contracción de la musculatura abdominal. También puede observarse actividad motora espontánea, especialmente mioclonias espinales y actividades tónicas en miembros superiores que provocan situaciones posturales más o menos estereotipadas. En ocasiones, se pueden ver movimientos complejos como el «signo de Lázaro» con elevación y aproximación de ambos brazos y que en su presentación más espectacular, se acompaña de flexión del tronco hasta la sedestación. Todas estas situaciones, sin duda muy inquietantes, requieren ser ampliamente conocidas para informar adecuadamente y tranquilizar al personal sanitario no experto. Para evitar ansiedad y dudas a la familia, se recomienda administrar un bloqueante neuromuscular. Periodo de observación: El periodo de

observación es variable en cada país. Cuando el diagnóstico de ME se realiza sólo mediante exploración neurológica, la Academia Americana de Neurología y en la normativa española, se recomiendan periodos de observación de 6 horas si hay daño estructural y de 24 horas si la causa del coma es una encefalopatía anóxica postparada cardíaca. Estos periodos de observación son modificables a juicio clínico dependiendo de la etiología y la gravedad del agente causal. Si se realizan pruebas diagnósticas instrumentales, el periodo de observación puede acortarse a juicio médico. Muerte troncoencefálica «aislada»: Es una entidad poco frecuente que aparece cuando la causa del coma es una patología de localización puramente infratentorial. En estos casos, está preservada la circulación cerebral anterior a través de las arterias carótidas internas pudiendo persistir durante varios días esta situación, si el paciente es portador de un drenaje de LCR. Para el diagnóstico de ME, además de la exploración clínica es necesario realizar un EEG u otra prueba diagnóstica que demuestre la ausencia de función de los hemisferios cerebrales.

#### PRUEBAS DIAGNÓSTICAS INSTRUMENTALES

Las pruebas instrumentales para el diagnóstico de ME, pueden clasificarse en dos tipos, electrofisiológicas y aquellas que directa o indirectamente estudian la circulación cerebral. Un resumen del diagnóstico clínico y de los métodos diagnósticos instrumentales puede verse en la tabla 8.1. Electroencefalograma: El electroencefalograma (EEG) es un método diagnóstico sencillo, rápido, no invasivo y fácil de realizar a pie de cama, por lo que es el más utilizado en el diagnóstico instrumental de la ME. El EEG sólo estudia la actividad bioeléctrica de la corteza cerebral en la convexidad de los hemisferios cerebrales, pero no de la corteza de la base ni de la profundidad de los hemisferios, ni por supuesto del troncoencéfalo; por lo tanto, la asociación «EEG plano, igual a muerte encefálica» muy difundida en la sociedad e incluso entre personal sanitario no experto, es un grave error. La principal limitación del EEG es su interferencia por fármacos depresores del SNC por lo que en pacientes que reciben este tipo de tratamiento o están en coma barbitúrico, el EEG no puede utilizarse para realizar el diagnóstico de ME. BIS (Bispectral Index Scale): El Bispectral Index Scale o Índice Biespectral (BIS) es un parámetro que surge del análisis matemático complejo, multivariante (latencia, amplitud, bicoherencia) y del biespectro, extraídos del EEG. El biespectro, junto con los fractales y la teoría del caos se utilizan en análisis matemáticos empleados para el estudio de fenómenos sometidos a dinámicas de tipo no lineal. El BIS, fue utilizado inicialmente en quirófano para controlar el grado de hipnosis anestésica, y actualmente se utiliza en las UCIs para monitorizar el nivel de

sedación. El BIS tiene una escala de valores de 0 a 100. Un BIS de 100 corresponde a un individuo despierto, con un nivel de conciencia normal, mientras que un valor BIS de 0 indica ausencia de actividad eléctrica cerebral. Valores entre 40 y 60 indican un grado adecuado de sedación. El BIS es un método no invasivo, que se registra mediante la colocación en la frente de un sensor compuesto por varios electrodos. Además del valor BIS, el monitor registra también la Tasa de Supresión (TS), que es el % de EEG «plano» en el último minuto. Coincidiendo con el empeoramiento clínico y el aumento de la PIC, se constata un descenso progresivo del BIS. Los valores BIS caen a 0 inmediatamente después de aparecer la tormenta simpática catecolamínica, previa a la parada circulatoria cerebral. Una vez confirmado el diagnóstico de ME, el BIS es 0 y la TS 100. Puede haber BIS de 0, y presencia de reflejo tusígeno, ya que cuando la etiología de la ME es un proceso supratentorial, puede existir un espacio de tiempo variable, entre la parada circulatoria supratentorial y por lo tanto, la ausencia de actividad eléctrica cerebral, y la pérdida de reflejos troncoencefálicos. Algunas limitaciones del BIS son la presencia de falsos negativos por hiperpulsatilidad cardíaca y contaminación electromiográfica. Las señales del EEG se recogen en una banda de 0,5-30 Hz, mientras que las señales del EMG se encuentran en una banda de 30-300 Hz, lo que justifica que la actividad electromiográfica pueda artefactar los resultados sobreestimando los valores BIS. En estos casos, es necesario administrar un bloqueante neuromuscular, para obtener un valor BIS sin interferencias. La ventaja fundamental del BIS con respecto al EEG convencional es su monitorización continua en tiempo real. Valores de BIS de 0 y tasa de supresión de 100 deben ser considerados como una especie de «semáforo en rojo» que nos alerta sobre la situación del paciente y nos ayuda a decidir el momento de iniciar el diagnóstico de ME. Al ser un estudio regional de la actividad eléctrica, obviamente, no puede ser utilizado exclusivamente como test confirmatorio de ME.

Potenciales evocados: Los potenciales evocados (PE) son la respuesta del SNC a un estímulo externo. La estimulación de diversas vías sensitivas provoca o «evoca» una señal eléctrica cortical de muy pequeño voltaje. Según el estímulo sensorial provocado podemos obtener PE visuales (PEV), PE auditivos troncoencefálicos (PEAT) y PE somestésicos (PES). Los PEAT se obtienen estimulando la vía auditiva, aplicando ruido en forma de «clic» de 100 decibelios y en un número de 1.000-2.000 estímulos en cada oído. El estímulo recorre la vía auditiva desde el VIII par craneal hasta la corteza cerebral auditiva, registrándose la actividad eléctrica evocada en los 10 primeros milisegundos y generándose en este recorrido siete ondas que se corresponden con diferentes estructuras neurológicas. En ME desaparecen todas las respuestas evocadas de

origen encefálico, persistiendo únicamente las generadas a nivel extracraneal. Los PES se obtienen aplicando estímulos eléctricos repetitivos sobre distintos nervios, mediano, peroneal o tibial posterior. Se estudian los PE generados en los diferentes niveles de la vía sensitiva: nervio periférico, raíz espinal, columna posterior de la médula, lemnisco medio, tálamo contralateral y corteza sensitiva del lóbulo parietal contralateral. Para el diagnóstico de ME, se utilizan los PES del nervio mediano; en esta situación sólo persisten las ondas generadas en el plexo braquial y médula espinal, desapareciendo las ondas generadas a nivel intracraneal.

Entre las ventajas de los PE hay que destacar que es una técnica no invasiva, que permite monitorizar y seguir la evolución clínica del paciente. Salvo casos muy excepcionales los PE no son abolidos por fármacos depresores del SNC. Doppler transcraneal (DTC): Para el estudio de la circulación cerebral se emplea un flujómetro bidireccional basado en el principio Doppler que emite señales pulsadas de 2 Mhz de frecuencia. Estas señales, son reflejadas por los hematíes de la sangre en las arterias cerebrales y determinan un cambio en la frecuencia de acuerdo a la velocidad de flujo. Las modificaciones de la frecuencia son recogidas y procesadas por un analizador espectral, generando una curva de morfología típica llamada sonograma. La sonda del DTC puede atravesar la barrera ósea del cráneo en áreas donde el hueso es más delgado; a estas zonas de máxima transparencia se les denomina ventanas óseas. Se utilizan 3 ventanas:

- Ventana temporal: Situada por encima del arco zigomático, a nivel de la escama del temporal entre la órbita y el pabellón auricular. A través de esta ventana se explora toda la circulación anterior: Arteria cerebral media (ACM), Arteria carótida interna (ACI), Arteria cerebral anterior (ACA) y Arteria cerebral posterior (ACP).
- Ventana orbitaria: A través de la órbita se sonoriza la arteria oftálmica y el sifón carotídeo.
- Ventana occipital: A través del foramen mágnum, se explora las arterias vertebrales (AV) y la arteria basilar (AB).

La identificación de las arterias sonorizadas se basa en tres criterios:

1. Profundidad a la que se obtiene el sonograma.
2. Dirección anterógrada o retrógrada del flujo sonorizado.

3. Respuestas hemodinámicas obtenidas a la compresión en el cuello de la ACI homolateral y contralateral.

En el estudio de las arterias intracraneales se valora la morfología del sonograma, pico de velocidad sistólica (VS), velocidad diastólica final (VD), la amplitud pulsátil del flujo o velocidad media (VM), el Índice de Pulsatilidad de Gosling (IP) y el Índice de Resistencia de Pourcelot (IR) . Estos últimos nos indican la resistencia al FSC y se encuentran siempre elevados cuando aumenta la PIC. DTC y Diagnóstico de Muerte Encefálica: Cuando en un paciente con lesión intracraneal existe un aumento incontrolado de la PIC y paralelamente la presión de perfusión cerebral va disminuyendo, se produce progresivamente un cese del FSC y la parada circulatoria cerebral. En este proceso se pueden distinguir 4 etapas:

1. La PIC supera a la tensión arterial diastólica y la velocidad al final de la diástole es cero pero persiste el flujo durante la sístole. Esta primera etapa no se corresponde todavía con una parada circulatoria completa.

2. Sonograma con Flujo reverberante, Flujo oscilante bifásico o patrón de Flujo diastólico invertido: Se caracteriza por la presencia de flujo anterógrado en sístole, acompañado de un flujo diastólico retrógrado o invertido. Este patrón aparece cuando la PIC es  $\geq$  a la tensión arterial sistólica, produciéndose el cese de la perfusión cerebral.

3. Espigas sistólicas o espículas sistólicas: En este tipo de patrón se registran únicamente pequeñas ondas sistólicas anterógradas, cortas, puntiagudas y sin obtenerse flujo durante el resto de la sístole ni en la diástole.

4. Ausencia de sonograma: No se detecta señal alguna en el DTC. Esta situación aparece en casos muy evolucionados de ME. Para aceptarlo como válido debe ser confirmado por el mismo explorador que previamente haya observado presencia de FSC.

En estos casos, cuando desaparecen las señales intracraneales, se puede realizar el diagnóstico de ME con el estudio de las arterias extracraneales (ACI extracraneal, arteria carótida común y arterias vertebrales), ya que también se puede objetivar el patrón de flujo oscilante. Para el diagnóstico de la parada circulatoria cerebral en la ME, se recomienda realizar dos exploraciones Doppler separadas al menos de un intervalo de 30 minutos, utilizar el equipo adecuado y que el explorador sea experto en la técnica. El DTC es una técnica no invasiva que se puede realizar «a pie de cama», permite el control evolutivo del paciente y no tiene interferencia con fármacos depresores del NC. Su mayor inconveniente

es la «mala ventana sónica», que impide el paso de los ultrasonidos hasta en un 10% de la población. Aunque es una técnica con un altísimo grado de sensibilidad y especificidad se han descrito «falsos negativos» en «cráneos abiertos» por drenaje ventricular o craniectomía descompresiva donde a pesar de cumplir los criterios clínicos de ME, persiste flujo en alguna de las arterias intracraneales estudiadas. Arteriografía cerebral: Ha sido considerada el «patrón oro» para demostrar la ausencia de FSC y diagnosticar la muerte encefálica. Además de la clásica arteriografía de cuatro vasos con cateterización selectiva de las dos ACI y las dos AV, se puede realizar una arteriografía cerebral de troncos supra-aórticos. En esta técnica, la punta del catéter se sitúa a nivel de la aorta ascendente donde se inyecta el contraste, evitando de este modo cambios artificiales en las presiones intraarteriales que pudieran modificar las condiciones reales del FSC. Doppler Transcraneal de Arteria Cerebral Media. Patrón de flujo diastólico invertido (A) y de «espigas sistólicas» (B), característicos de Muerte Encefálica. A B Igualmente se pueden realizar angiografías por sustracción digital (ASD). La ASD proporciona una mejor sensibilidad de contraste, lo que permite el empleo de concentraciones mucho más bajas. Las radiografías aumentadas en forma digital, son menos detalladas que las imágenes de los angiogramas convencionales, pero las complicaciones son menos frecuentes ya que no es necesario realizar la cateterización selectiva de las arterias carótidas y vertebrales. Para el diagnóstico de ME la ASD puede realizarse inyectando el contraste tanto por vía intraarterial como por vía endovenosa. Angiogammagrafía cerebral con Tc99- HMPAO: Dentro de los estudios con isótopos para diagnosticar la ME, el más utilizado es el Tc99-HMPAO (hexametilpropilaminaoxima), por su menor coste y mayor disponibilidad en los Servicios de Medicina Nuclear. Técnica: Se realiza un control de calidad in vitro para comprobar que el radiofármaco utilizado tiene al menos un 85% de formas lipofílicas y garantizar la calidad de la técnica. A través de un catéter venoso central se inyecta el Tc99-HMPAO, utilizando una dosis de 20 mCi en adultos y al menos 5 mCi en niños. Fase angiogramagráfica: Se realiza en proyección anterior, obteniendo una imagen por segundo durante el primer minuto postinyección. En la fase inicial de angiograma isotópico, se estudia el FSC observándose actividad en ambas arterias carótidas que van progresando hacia la base del cráneo, polígono de Willis y finalmente arteria cerebral media y arteria cerebral anterior. A los cinco minutos de la fase anterior, y en proyección anterior, lateral derecha e izquierda se obtienen las imágenes estáticas o planares. El diagnóstico de ME se realiza en base a dos criterios: 1. Ausencia de perfusión a través de las arterias carótidas internas durante la fase angiogramagráfica. 2. Ausencia completa de captación del

radiotrazador en los hemisferios cerebrales y en la fosa posterior, conociéndose esta imagen como el signo del «cráneo hueco». La angiogramagrafía cerebral es una técnica con sensibilidad y especificidad del 100%, no tiene interferencia con fármacos depresores del SNC y es poco invasiva pero es una técnica de uso limitado ya que no puede realizarse en todos los hospitales. Tomografía Axial Computerizada (TC): Desde hace algunos años se realiza el diagnóstico de ME mediante angio-TC helicoidal con inyección de contraste en dos fases. Los criterios diagnósticos utilizados son la ausencia de contraste en arteria basilar, arterias ericallosas y terminales del córtex, venas profundas, senos sagital superior y seno recto junto con una visibilidad realzada de la vena oftálmica superior. Esta angiografía mediante TC en dos fases tiene un elevado número de falsos negativos y por lo tanto la baja sensibilidad, que según los diferentes estudios oscila alrededor del 60%. En la actualidad se puede realizar el diagnóstico de ME con Angio-TC y estudio de perfusión cerebral mediante TC Multicorte con una gran sensibilidad y seguridad diagnóstica.

Nosotros realizamos la técnica en un TC de 64 cortes y utilizamos el siguiente protocolo radiológico: TC de perfusión: Se adquiere un volumen de tejido cerebral a nivel del polígono de Willis y se valora su comportamiento secuencialmente tras la administración de contraste iv. Se realiza el postprocesado habitual en la consola de trabajo analizando la variación en el tiempo del flujo y volumen sanguíneo cerebral, así como del tiempo de tránsito medio circulatorio y del time to pick. Angiografía con TC: Posteriormente al TC de perfusión se realiza una angiografía de troncos supraórticos y arterias cerebrales tras la inyección de 80 mL (300 mg/mL a una velocidad de 3,5 mL/s) de contraste no iónico, mediante inyector automático. Se adquiere un volumen de tejido desde el cayado aórtico hasta el vértex que se reconstruye posteriormente con un espesor de corte de 0,5 mm. Estos TC de alta resolución, permiten realizar arteriografías completas tanto de la circulación anterior a través de arterias carótidas internas, como de la circulación posterior a través de arterias vertebrales y basilar. Con estos TC multicorte se obtiene una excelente definición de imagen y se pueden realizar reconstrucciones tridimensionales del árbol vascular. En ME se documenta la ausencia completa de circulación intracraneal. En nuestra experiencia y con la técnica descrita la angiografía mediante TC tiene una sensibilidad del 88% y especificidad del 100%. El angioTC puede demostrar el cese de flujo sanguíneo cerebral, de igual forma que hasta ahora se hacía por arteriografía convencional, siendo esta técnica más barata, rápida, menos invasiva, y con una mayor disponibilidad. Índice Biespectral con cuatro electrodos de plata, que se sitúa sobre la frente y la región temporal por encima del arco cigomático del paciente.