

# Modelado y Simulación de un Proceso de Atención Sanitaria: Aplicación al Proceso de Post-Transplante Hepático

C.L. Parra\*, J.M. Framiñón\*\*, M. Montes\*, P. Pérez\*, A. Bernardos\*, M.J. Tamayo\*

\* Hospitales Universitarios Virgen del Rocío de Sevilla

\*\* Grupo de Organización Industrial, Escuela Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla

## RESUMEN

Las instituciones de gestión sanitaria deben proporcionar una medicina de alta calidad con costes controlados<sup>1</sup>. Una parte de nuestro trabajo como miembros de la Red Temática de Investigación Cooperativa "Nuevos modelos de prestación de servicios sanitarios utilizando telemedicina" se ha centrado en la aplicación del modelado y simulación de los procesos asistenciales a la gestión sanitaria. En este artículo se explica una metodología de modelado y simulación de procesos asistenciales para facilitar la gestión sanitaria. La metodología empleada ayuda al análisis de los procesos actuales y a la toma de decisiones en

cuanto a alcanzar el objetivo genérico del aumento de la calidad de la asistencia sanitaria, mediante la aplicación de nuevas tecnologías sanitarias, y a alcanzar objetivos específicos como la reducción de listas de espera, el aumento de la comodidad del paciente o la reducción de estancias hospitalarias etc.

El modelado y simulación de los procesos se ha utilizado para detectar puntos débiles y cuellos de botella del proceso actual y ayudar a seleccionar la mejor solución al aplicar telemedicina. Para facilitar la comprensión se ha descrito paralelamente un ejemplo de la aplicación de esta metodología a un proceso concreto de asistencia sanitaria.

## Palabras clave:

Simulación, Modelado, Proceso asistencial

## INTRODUCCIÓN

La situación actual de los sistemas de atención sanitaria se caracterizan por dos tendencias opuestas: el incremento de los costes que produce el progreso técnico sobre los tratamientos médicos y por otro lado la limitación en los presupuestos que obliga a recortar gastos. Las instituciones de gestión sanitaria deben manejar ambas tendencias para proporcionar una medicina de alta calidad con costes controlados. Se pueden utilizar dos enfoques para resolver este problema de optimización: garantía de calidad sistemática y reingeniería de procesos<sup>1</sup>. Una parte de nuestro trabajo como miembros de la Red Temática de Investigación Cooperativa "Nuevos modelos de prestación de servicios sanitarios utilizando telemedicina" se ha centrado en la aplicación de este último enfoque, ya que la reingeniería de procesos permite optimizar una organización

examinando y rediseñando sus procesos de organizativos.

Aplicando el modelado y simulación a los procesos asistenciales se pretende facilitar la gestión sanitaria. La metodología empleada ayuda al análisis de los procesos y a la toma de decisiones en cuanto a implantar cambios radicales con el objetivo genérico del aumento de la calidad de la asistencia sanitaria, mediante la aplicación de nuevas tecnologías sanitarias que permitan como objetivos específicos la reducción de listas de espera, el aumento de la comodidad del paciente, reducción de estancias hospitalarias etc. El modelado y simulación de los procesos se han utilizado para detectar puntos débiles y cuellos de botella del proceso actual y ayudar a seleccionar la mejor solución en la aplicación de telemedicina.

Teniendo en cuenta estos objetivos, describimos en este artículo la forma en la que hemos desarrollado el trabajo de modelado y simulación de los procesos sanitarios de

# Especial: Investigación en Servicios de Salud

nuestra organización. Durante años han aparecido, información sobre metodologías de modelado y simulación (el proceso de aplicar una técnica de modelado y simulación), como aplicar con éxito de la simulación y como evitar los obstáculos de la simulación<sup>2</sup>. En este documento se intenta combinar toda esta información en un conjunto de pasos y guías particularizadas para procesos de asistencia sanitaria tales que los modeladores que simulen por primera vez, al aplicar la metodología de simulación tengan una alta tasa de éxito.

Esta guía se ha ilustrado con un ejemplo de aplicación del modelado de procesos a un proceso de atención sanitaria. Se ha utilizado el Modelo del Proceso de Post-trasplante Hepático, utilizando la herramienta de modelado y simulación ARIS Toolset<sup>®</sup>. Las características de los trasplantes en general<sup>3</sup>, y del Post-trasplante Hepático en particular, hacen de este proceso un paradigma de asistencia interdisciplinar, adquiriendo especial relevancia su "gestión como proceso asistencial", lo cual permitirá acercarlo a los principios de: la continuidad asistencial y la reorganización de la asistencia, orientándola hacia las expectativas del paciente. Esto último debe convertirse en el eje fundamental del Sistema Sanitario en general, y de los trasplantes en particular, con una visión global, independientemente del Hospital donde éstos se realicen.

La reingeniería de los Procesos asistenciales es novedosa en su orientación al ámbito sanitario y a los trasplantes en particular, por lo que carecíamos de referentes previos que nos sirvieran de orientación.

## DISEÑO DEL MODELO

La estrategia de modelado supone la toma de decisiones en cuanto a cómo se debería representar el proceso según las capacidades y los elementos que proporciona la herramienta de simulación elegida<sup>2</sup>. Nuestro trabajo en el proceso de diseño de los modelos ha seguido los siguientes pasos:

- 1.- Definición del objeto del modelado del proceso.
- 2.- Selección de la técnica de modelado
- 3.- Determinación de las entidades que deberían representar a los elementos del sistema.
- 4.- Determinación del nivel de detalle necesario para describir los componentes del proceso.
- 5.- Determinación del nivel de datos disponible (Qué datos son necesarios y Cómo manipularlos).
- 6.- Descripción del proceso y Construcción del modelo.
- 7.- Simulación del modelo.
- 8.- Verificación y Validación del modelo.
- 9.- Análisis de resultados de simulación.

### Definición del objeto del modelado del proceso

El objeto de un proceso es la persona o estructura organizativa sobre los que la salida del proceso tiene impacto y, por tanto, a los que el proceso aporta valor añadido.

Pueden ser los pacientes, familiares, profesionales de otros servicios o de otro nivel asistencial, otras organizaciones,...

El objeto de nuestros modelos son los pacientes. En el ejemplo particular del modelo de proceso de Post-trasplante Hepático, los objetos han sido pacientes a los que se les ha sido realizado un trasplante hepático una vez que la intervención quirúrgica ha finalizado con éxito. La particularidad del trasplante, cuyo mecanismo regulador es fundamentalmente la donación y, por tanto, la disponibilidad de órganos dificulta la simulación del proceso completo, ya que al obtener los límites de entrada del proceso hay que distinguir entre la entrada de pacientes a la Unidad de Trasplante Hepático y la puesta en marcha del proceso de Trasplante que depende de la existencia de un donante de hígado.

### Selección de la técnica de modelado

De todas las posibilidades de modelado que proporciona ARIS Toolset<sup>®</sup>, hemos seleccionado la Cadena de Procesos Guiada por Eventos extendida (CPEe) para representar los modelos de los procesos, y el Modelo de Instanciación de proceso para definir cuándo y con qué frecuencia se lanzan procesos al ejecutar una simulación. Ambas pertenecen a la vista de control de la casa de ARIS. Los Organigramas y Calendario de Turnos de la vista de organización se han seleccionado para representación de los recursos humanos.

Algunos de los elementos de un proceso son dinámicos por naturaleza, ya que se mueven a través del proceso provocando que otras entidades actúen sobre ellos en respuesta a alguna señal. Otros elementos son estáticos por naturaleza, ya que esperan a que otras entidades o recursos dinámicos actúen sobre ellos y los empujen a través del sistema. El modelador, considerando la complejidad, tamaño y nivel de detalle del modelo decide qué elementos deberían conducir el modelo. Se pueden clasificar los modelos como modelos conducidos por partes (entidades) o recursos (máquinas, recursos humanos). En los modelos conducidos por partes, las partes son dinámicas y se mueven de un recurso a otro cuando los recursos están disponibles. Por otro lado, en los modelos conducidos por recursos, los recursos recogen las partes que quieren para servirlos y enviarlos al próximo recurso tras completar su labor. Es posible realizar modelos híbridos con ambas características.

En este caso se ha adoptado la realización de un modelo híbrido, ya que los pacientes pasan de un recurso a otro a lo largo del proceso, y de igual forma un recurso disponible puede moverse a donde se encuentre un paciente para realizar alguna tarea.

### Determinación de las entidades que deberían representar a los elementos del sistema

Cada herramienta de simulación dispone de sus propios tipos de entidades para que el modelador los utilice para

representar los componentes del sistema real. A menudo, es posible modelar un elemento de un elemento de un proceso particular de más de una forma y no existe una sola manera correcta de representación de ese elemento en la herramienta de simulación.

- **Límites del proceso:** Se trata de delimitar dónde empieza y dónde termina la secuencia de actividades relacionadas con el proceso.

- Límites de entrada. Es el momento de entrada del paciente en el proceso. Al utilizar la herramienta ARIS Toolset®, quedarán representados por los eventos iniciales del modelo, a los que se asociará un modelo de instanciación, que permita modelar la llegada de los pacientes al proceso.

- Límites finales. Es el momento de salida del paciente del proceso. Puede producirse en cualquier momento del proceso asistencial. Quedarán representados por los eventos de finalización del proceso.

- **Objeto:** Como ya se ha comentado en el apartado 2.1., es imprescindible tener claramente definido el objeto del proceso para centrar el modelado de forma que permita de adecuar al máximo posible las actividades a sus necesidades y expectativas. En ARIS Toolset®, el objeto del proceso se representa mediante una instancia del proceso. Las instancias son los procesos concretos, claramente identificables, que transcurren por una ruta determinada recibiendo una atención concreta<sup>4</sup>. En el caso concreto del proceso de Post-trasplante Hepático, el objeto del proceso es un paciente trasplantado de hígado.

- **Componentes del proceso:**

- Recursos humanos: Son las Unidades o profesionales que contribuyen al desarrollo del proceso, realizando o permitiendo alguna actividad. Se han representado en la vista organizativa de ARIS como un Organigrama, agrupados en Unidades Funcionales, representados por Unidades Organizativas.

Cada Unidad está compuestas por Facultativos Especialistas, Enfermería, Auxiliares de Enfermería o Administrativos que realizan en cada etapa del proceso una función concreta (así definimos un Facultativo de Guardia, Facultativo de Consulta Externa,... para poder diferenciar los diferentes calendarios de turnos que se establecen para el personal sanitario, aunque estemos siempre refiriéndonos a una misma persona, y la suma de los tiempos de dichos calendarios es el turno completo de esa persona) y se representarán por el objeto Puesto.

Se ha considerado el Puesto Paciente para contabilizar el tiempo total de estancia del paciente en una etapa del proceso, en el caso en el que el paciente permanece en dicha etapa más tiempo del que le están realizando atenciones concretas. Lo correcto sería utilizar un bucle que represente la atención, pero esto no es posible debido a que el tiempo de estancia en dichas

etapas es desconocido a priori y conforme aumenta la estancia disminuye la probabilidad de permanencia.

La titulación que posee y es necesaria para desempeñar ese trabajo se representará en el Organigrama del proceso por el objeto Tipo de Persona.

Tipo de Puesto: el cargo que ejerce una persona en un momento determinado, como es el caso de Director de la Unidad, Jefe de Sección o Supervisor de Enfermería se representará por el objeto.

El Organigrama de la Unidad Funcional de Trasplante Hepático al realizar el proceso de atención a un paciente trasplantado se representa en la Figura 1.

- Recursos materiales: Son los elementos de entrada al proceso, pudiendo agruparse en: Fungibles o Inventariables (equipamiento y mobiliario). En los modelos se utilizarán los objetos Medios de Producción para representar por ejemplo los dispositivos electrónicos y Recurso General para representar elementos como las Camas de una Unidad.

- Unidades de soporte: Son aquellas unidades responsables de los procesos de soporte. Ofrecen al proceso operativo las entradas o recursos necesarios para la consecución de sus objetivos. Dotan de recursos, y apoyo logístico o administrativo a los procesos operativos y se comportan como proveedores del proceso operativo y aparecerán como tales en los diagramas que definen a aquéllos. Incluiremos en esta categoría elementos como Laboratorio de Radiología o de Anatomía Patológica. Se representarán mediante el objeto Persona Externa.

- Datos: Para la representación de la información intercambiada, se ha utilizado el objeto Documento.

A cada documento se le ha asociado un documento Word en el que se especifican los datos que contiene siguiendo la estructura propuesta en el pre-estándar europeo 13606 publicado por Comité Técnico CT251 de la CEN<sup>5</sup>.

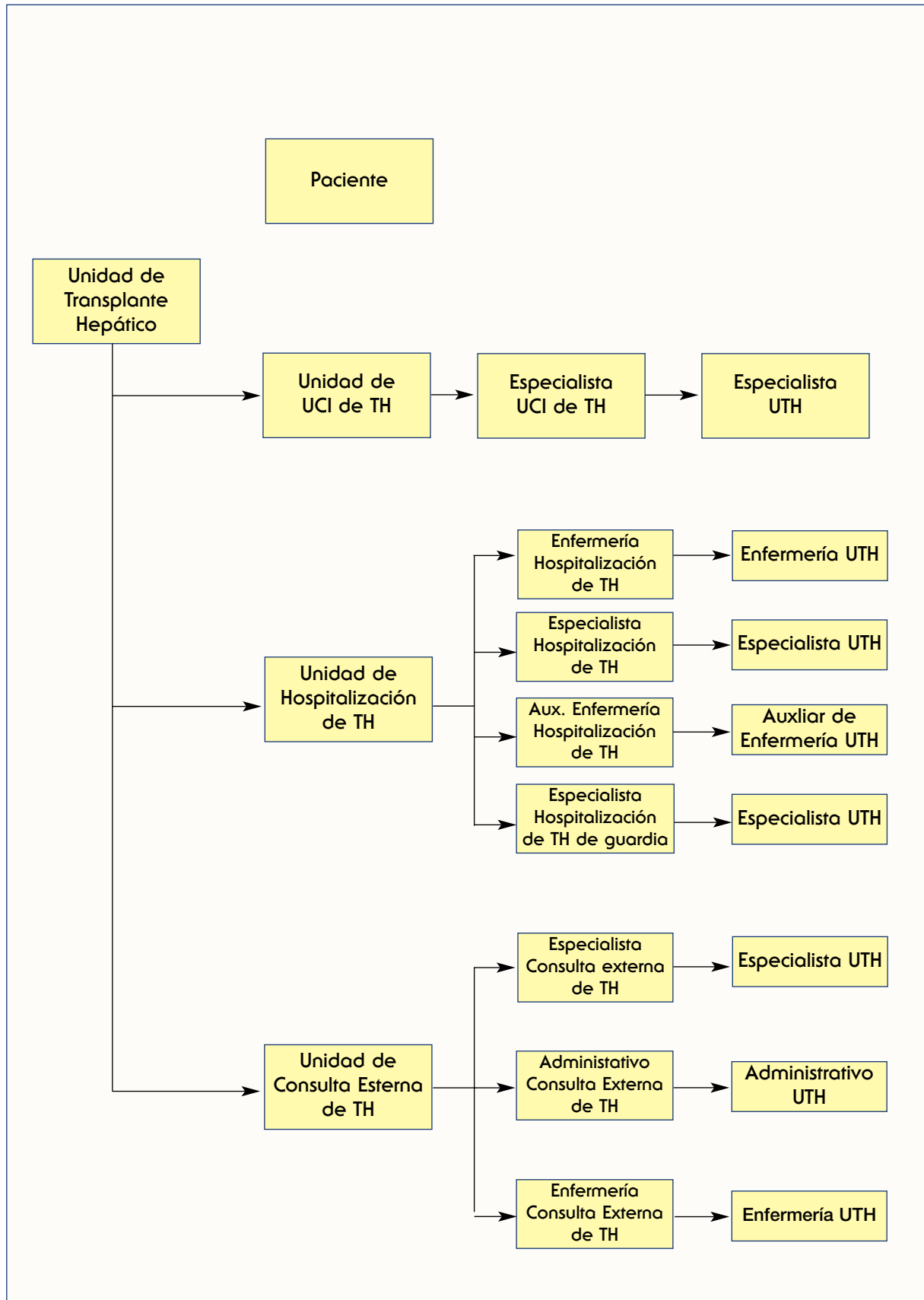
Atributo Descriptivo (MRE): Objeto que permite controlar el flujo de datos de control según operadores de ramificación. De esta forma se puede dirigir el flujo por un camino concreto, a partir de ciertas condiciones, utilizando atributos tanto numéricos como lógicos y se facilita el modelado de bucles que se ejecuten un número determinado de veces.

En la Tabla 1 se muestran los elementos de ARIS Toolset, utilizados en el modelo del proceso de Post-trasplante Hepático.

## Determinación del nivel de detalle necesario para describir los componentes del modelo

El nivel de detalle de un modelo depende principalmente de los objetivos del estudio. No siempre es fácil eliminar los detalles innecesarios ya que los usuarios podrían cuestionarse la validación del modelo si los componentes no están modelados en detalle. Se recomienda añadir el

# Especial: Investigación en Servicios de Salud



# Especial: Investigación en Servicios de Salud

TABLA 1

ELEMENTOS DE ARIS UTILIZADOS EN EL MODELADO DEL PROCESO POST-TRASPLANTE HEPÁTICO		
Característica	Definición	Objeto de ARIS
Destinatarios del proceso	Pacientes sometidos a operación satisfactoria de Post-trasplante Hepático	Instancia del proceso: Puesto: Paciente
Límites del proceso	Límites de entrada	Paciente intervenido de trasplante de hígado
	Límites finales	Exitus: Muerte del paciente Necesidad de un retrasplante: el paciente vuelve a ingresar en la lista de espera activa a la espera de la disponibilidad de un hígado
Componentes del proceso	Recursos humanos	Personas que intervienen en la realización del proceso
	Medios de producción	Elementos materiales necesarios para la realización del proceso, relevantes para la simulación
	Recursos materiales	Recursos propios del hospital relevantes para la simulación
	Unidades soporte	Incluye los diferentes laboratorios en los que se realizarán las pruebas a los pacientes: lab. radiológico, lab. de rutina, etc.

detalle al modelo en los primeros escenarios y después, comparando los beneficios de la información adicional con los costes de su inclusión, abstraer cuando no sea necesario ese nivel de detalle. Para cada caja negra que se utilice para representar un componente del sistema, el modelador debería detallar las razones por las que va a utilizar dicha caja negra en el modelo.

El nivel de profundidad adoptado para los modelos ha sido de 3 ó 4 niveles. En diversas situaciones durante la construcción del modelo ha surgido la cuestión de si es necesario llegar a ese nivel de detalle. Las razones argumentadas para la no profundización en una tarea incluyen la percepción de indiferencia ante la medida de las salidas de los componentes, es decir, si se considera que el modelado de esa parte del modelo no va a aportar detalles significantes para los objetivos marcados, falta de adecuación a los objetivos del estudio, carencia de datos y costes de modelado.

En el modelo del Post-trasplante Hepático se ha llegado al tercer nivel de detalle. De todas las funciones que conlleva el proceso de Post-trasplante Hepático se ha profundizado en aquellas que resultan más susceptibles de ser mejoradas mediante la aplicación de Telemedicina, que es el objeto del proyecto. Funciones como la Atención del paciente en UCI se ha representado como una caja negra debido a que supone un proceso soporte muy complejo y la reducción de estancias en UCI no es un objetivo que se plantee en el ámbito del proyecto.

## Determinación del Nivel de Datos Disponible, Qué datos son necesarios y Cómo manipularlos

Las actividades de recopilación de datos pueden llevar mucho tiempo en la realización de los modelos y es importante que el modelador participe en la planificación de recopilación de los datos para el estudio. El modelador debería examinar todos los datos disponibles, conocer

# Especial: Investigación en Servicios de Salud

cómo y cuándo se recogieron y comprobar si el nivel de datos disponible es el adecuado. Sólo si no hay suficientes datos disponibles o existe desacuerdo en las estimaciones entre los expertos del proceso será necesario recopilar más datos, siempre considerando lo necesarios que podrían ser los datos que faltan para el estudio. La recopilación de datos más detallada debería realizarse después de que el modelo de simulación se haya utilizado para verificar qué datos son cruciales en el estudio.

Para la obtención de datos en el modelado de los procesos se ha optado por la utilización de las bases de datos disponibles en cada Unidad, si las hubiera, y la base de datos del Sistema de Información del Hospital. Para organizar y analizar estos datos nos hemos ayudado de las herramientas Microsoft Excel, MicroStrategy7 que soporta al Cuadro de Mandos del Hospital y el software SPSS versión 12.0 de estadística.

Para el caso del modelado del Post-trasplante Hepático se han utilizado los datos disponibles en la base de datos de Access creada en la propia Unidad de Trasplante Hepático y la base de datos de citas del Sistema de Información Aurora del Hospital, ya que la ausencia de consenso existente entre diferentes equipos de trasplante de distintos hospitales en algunas de las fases del proceso ha impedido el aprovechamiento de experiencias y datos de otros hospitales.

## Descripción del proceso y Construcción del modelo

En esta fase, el modelador describe en detalle la lógica operativa del sistema y realiza la recolección de datos y las tareas de análisis.

En este proyecto, se ha optado por la construcción del modelo de forma simultánea a la descripción del mismo por parte del Grupo de Usuarios para obtener una realimentación continua del modelo. Esto es posible gracias a que han llevado a cabo distintas reuniones, en las que los miembros del Grupo de Usuarios explicaron a los miembros del Grupo de Modelado el trabajo que desarrollan y las actividades más importantes que se llevan a cabo a lo largo de este proceso asistencial. A través de esta descripción exhaustiva se va obteniendo una representación del proceso consensuada por todos los integrantes del proceso. De esta forma, el modelo principal se dibuja de manera provisional en las primeras sesiones de trabajo, para que la descripción de entradas y salidas del proceso, así como su definición funcional, se visualicen claramente y estén, a su vez, en consonancia con la representación gráfica de las actividades del proceso. En las sucesivas entrevistas se van modelando los subprocesos, completando y añadiendo elementos al modelo principal. Es decir, el Grupo de Modelado trabaja en una versión en construcción de los modelos que es validada por los miembros del Grupo de Validación y que se guarda (Validación del Modelo Conceptual), creando una nueva versión en construcción para seguir trabajando sobre ella, así se garantiza

que no se pierden datos de las versiones validadas. Además una vez que se comienza el proceso análisis de los datos necesarios para la simulación, el modelo sufre modificaciones, ya que se va adaptando el modelo gracias a los conocimientos adquiridos a partir de este análisis.

Para la realización del modelo del Post-trasplante Hepático el grupo de Modelado ha mantenido diversas reuniones con el Grupo de Usuarios formado por el Dr. Ángel Bernardos Rodríguez (Coordinador de la Unidad de Trasplante Hepático) y la Dra. María Jesús Tamayo López (Facultativo especialista de la Unidad de Trasplante Hepático). Este trabajo se ha realizado entre los meses de febrero y noviembre de 2004.

Esta fase se divide a su vez en cuatro pasos que se detallan a continuación:

### PASO 1. Especificar la filosofía operativa del proceso

La filosofía operativa describe la forma en la que la dirección ejecuta o pretende ejecutar el proceso. Los asuntos a considerar son el número de cambios de turnos al día, la duración de cada cambio, los descansos programados de trabajadores y máquinas, los tiempos de preparación, etc.

En este caso los expertos del dominio describieron el calendario de turnos de cada recurso humano involucrado (Figura 2), detallando el número de turnos de cada puesto, la duración de los turnos, su periodicidad y el número de profesionales de cada turno y puesto.

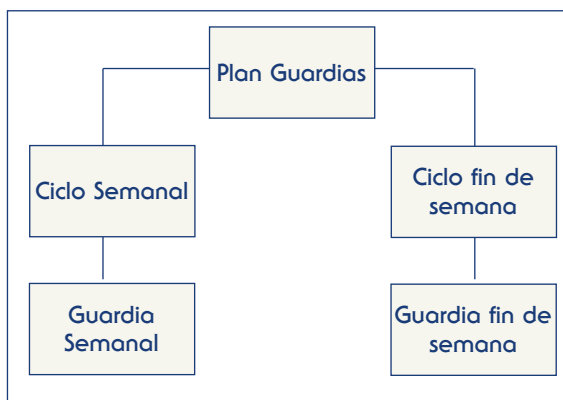


Figura 2. Calendario de Turnos de las guardias de los facultativos especialistas de la Ud. de Trasplante Hepático.

### PASO 2. Describir el proceso en detalle

Se tienen que especificar en detalle el flujo del proceso y la descripción lógica de cómo fluyen las entidades al moverse a través del sistema, a la vez que la asignación de prioridades de las entidades que compiten por los recursos y viceversa.

El proceso de Post-trasplante Hepático ha quedado dividido en 5 subprocesos según se muestra en la Tabla 2 y se representa en la Figura 3.

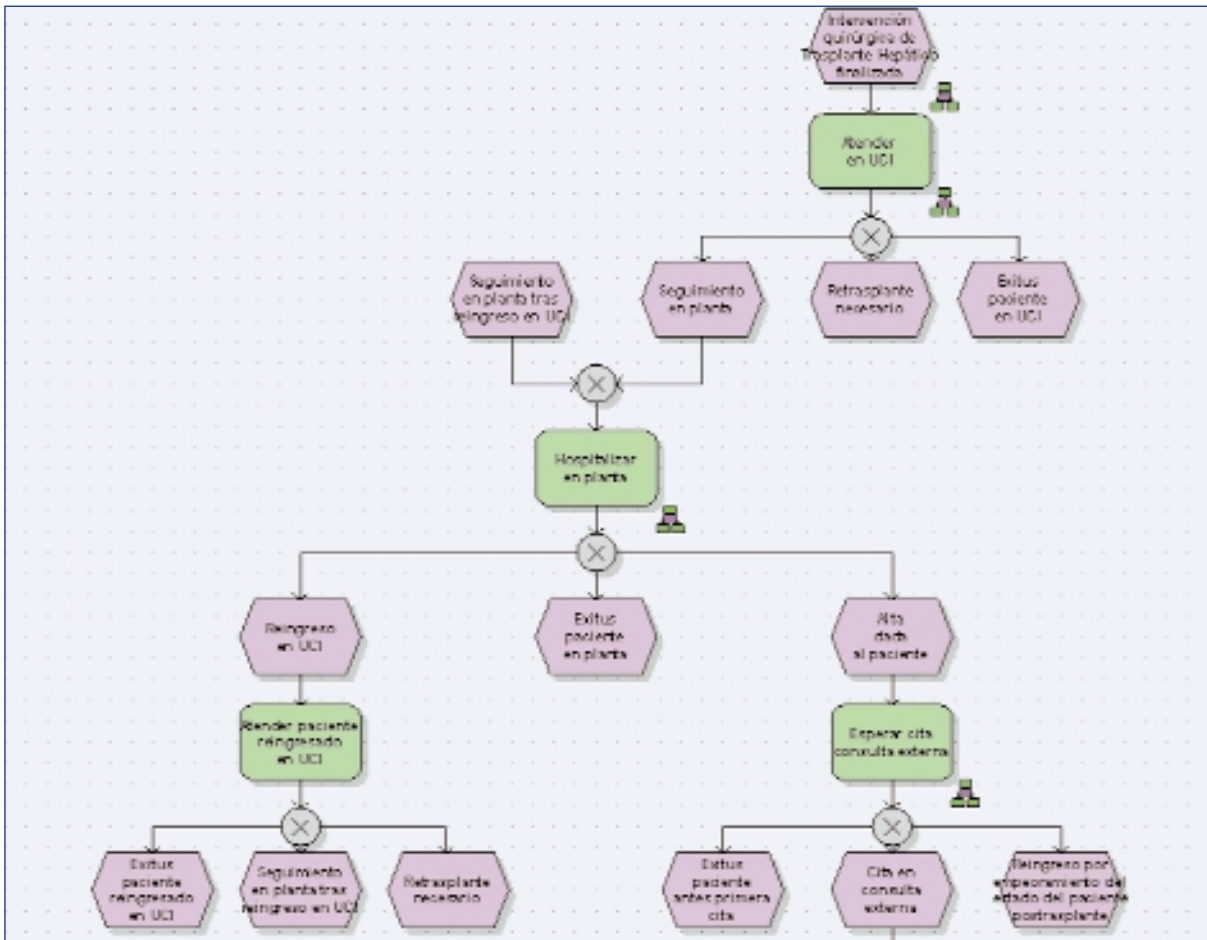


Figura 3. Parte del Modelo principal del proceso de Post-trasplante Hepático.

### PASO 3. OBTENER ESPECIFICACIONES DE OPERACIÓN

Las especificaciones de operación incluyen los datos de cada operación en el modelo, incluyendo: el tiempo de procesado, la distribución de los periodos de inactividad, tiempo de preparación, capacidad, etc.

Para la obtención de las especificaciones de operación, se ha procedido siguiendo los siguientes pasos:

- Establecer una lista de parámetros: Describir los parámetros necesarios para correr la simulación. Estos parámetros surgen a partir del análisis completo del modelo ARIS del proceso.
- Organizar las Bases de Datos disponibles:
- Recopilar la información disponible procedente de todas las fuentes y realizar un análisis exhaustivo de toda la información aportada por cada una de ellas.
- Organizar la información disponible, describiendo cada una de las tablas y definiendo a su vez todos los campos de cada una de dichas tablas para. Comparar y completar las distintas fuentes con el objeto de obtener la máxima fiabilidad posible.

- Seleccionar los campos de interés para el modelo y crear una base de datos nueva a partir de dichos campos. A esta base se le realizaran las consultas necesarias para la obtención de los parámetros definidos, descartando los registros que no pertenecen al intervalo de tiempo que se va a simular.
- Estimar las probabilidades de ocurrencia de los Eventos y de los Atributos MRE: Determinar cada una de las probabilidades asignadas a las conexiones unidas a los eventos que implican la bifurcación del modelo. En el caso de existencia de atributos MRE para condicionar dichas bifurcaciones, hay que determinar la probabilidad de asignación de los mismos. Se describen todas las operaciones y/o formulas aplicadas y todo el proceso que lleva a la determinación de estas probabilidades.
- Estimación de los tiempos de tratamiento de las funciones: No suele haber demasiada información disponible para estimar los tiempos de tratamiento de las funciones por lo que, cuando no existen datos disponibles, se ha recurrido a obtener los datos mediante

# Especial: Investigación en Servicios de Salud

TABLA 2

## SUBPROCESOS EN QUE SE DIVIDE EL PROCESO ASISTENCIAL POST-TRASPLANTE HEPÁTICO

Subproceso	Definición	CPE en ARIS
Estancia del paciente en UCI	Atención que recibe el paciente durante su estancia en la Unidad de Cuidos Intensivos	Atender en UCI
Estancia del paciente hospitalizado en planta	Atención al paciente en planta tras el alta de la UCI	Hospitalizar en planta
Espera del paciente a primera cita en consulta externa	Espera del paciente hasta su primera visita al especialista en consulta externa tras el alta	Esperar cita consulta externa
Seguimiento de la evolución del paciente tras el alta	Atención del paciente por el especialista en la consulta	Seguir evolución paciente en consulta externa
Reingreso del paciente en el Hospital	Atención del paciente en la Unidad por empeoramiento de su estado	Atender paciente reingresado en planta
Espera del paciente a cita en consulta externa	Espera del paciente a cita en consulta externa tras reingreso	Esperar siguiente cita consulta externa

entrevistas con los profesionales que han realizado estas funciones durante el tiempo suficiente para que dicha estimación sea fiable. Se determinan los estadísticos necesarios y se representa el histograma de los mismos (Figura 4). A veces es conveniente tomar una muestra representativa de la población eliminando los datos cuya frecuencia no es relevante, y es necesario recalcular los estadísticos definidos. De cualquier forma se establece la función de distribución que mejor representa el tiempo de cada una de las funciones.

Para comprobar si el tiempo de ejecución de una función se adecuaba a alguna de las distribuciones de probabilidad siguientes: Normal, Uniforme, Poisson o Exponencial (permitidas por ARIS Toolset®), se les aplicó la Prueba de Kolmogorov-Smirnov, proporcionada por la aplicación estadística SPSS.

### PASO 4. Analizar los datos de entrada

Los datos de entrada deben analizarse y probarse con racionalidad, esto incluye la identificación de patrones en los datos, si los hubiera, y su incorporación como parte de la generación de los datos de entrada. Deberían adecuarse los datos actuales a distribuciones teóricas y utilizarse en el modelo si fuera posible.

El análisis de datos de entrada de un modelo nos permite definir el Modelo de Instanciación del mismo (Figura 5). En nuestro caso de estudio, se estimó el número medio

de pacientes sometidos a una intervención de Post-trasplante Hepático al año. El Número de Instancias del proceso es de 45 anuales, repartidas aleatoriamente, ya que el donante de hígado puede surgir en cualquier momento del año.

### Simulación del modelo

La simulación con ARIS® ofrece cuatro tipos diferentes de animación para visualizar resultados de simulación, lo cual sirve para proporcionar una primera información incluso si la simulación aun sigue corriendo. La animación permite seguir visualmente el desarrollo de los procesos bajo diferentes puntos de vista. De esta forma, se pueden constatar cuellos de botella y puntos débiles graves durante la ejecución de la simulación, sin necesidad de analizar antes de analizar pormenorizadamente las estadísticas de simulación.

Además los resultados de simulación se recogen en las estadísticas acumulativas, (Figura 6) que son de tipos de objetos específicos, es decir, hay estadísticas separadas para funciones, eventos, recursos de personal, etc. Cada estadística contiene todos los objetos simulados actualmente del tipo de objeto correspondiente, junto con todos los indicadores clave de actuación surgidos durante la simulación. Los indicadores clave de actuación son acumulativos, ya que, son sumados durante el curso de la simulación. Un típico indicador clave de actuación para funciones son los tiempos totales de proceso. Las estadísti-



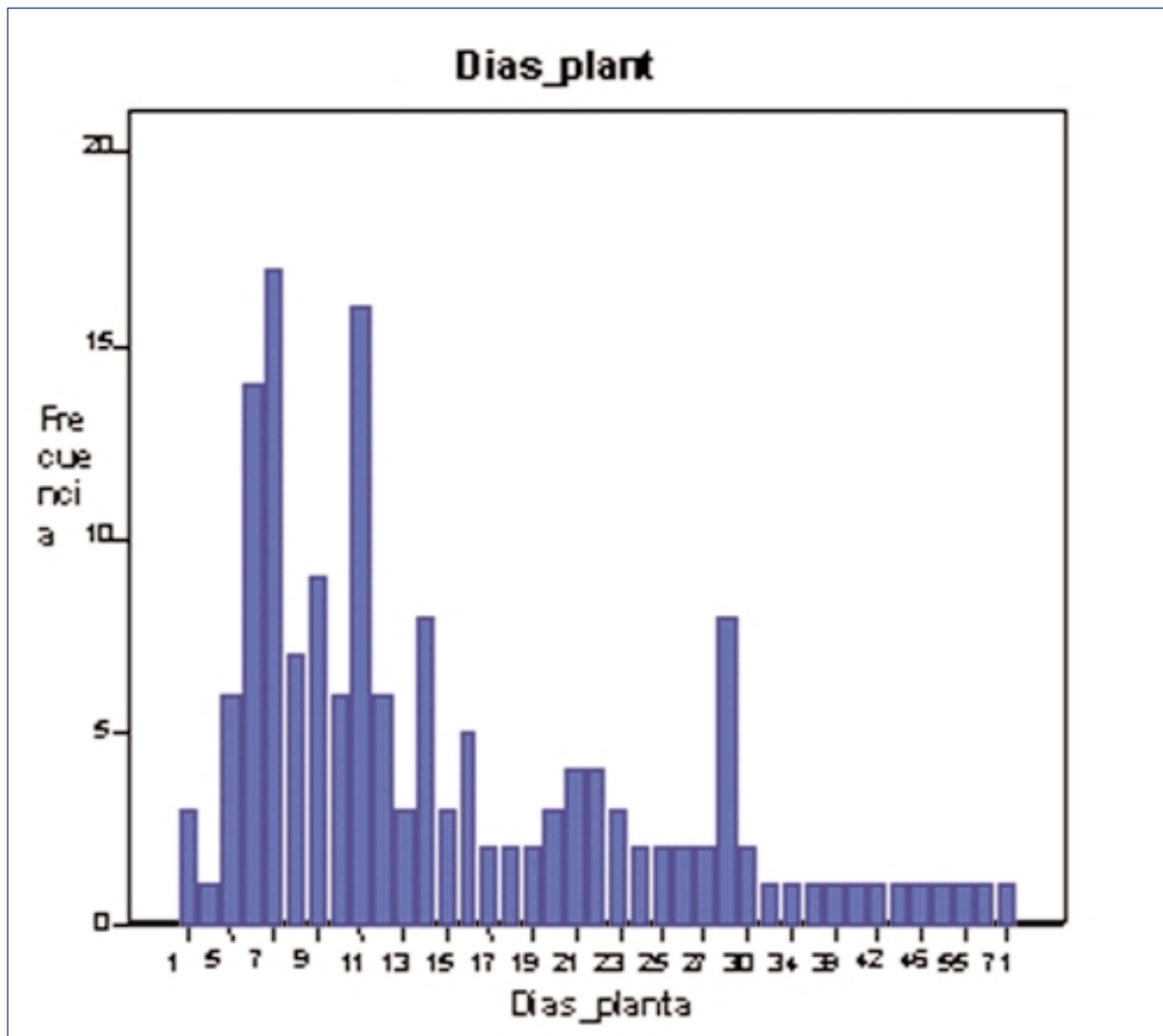


Figura 4. Histograma del tiempo de estancia de los pacientes en planta.

	Trasplantes realizados [Español-España alfabetización tradicional]
Inicio rel. del intervalo	0000:00:00:00
Duración del intervalo	0365:00:00:00
Número de instancias de proceso	45
Distribución	Repartición por igual
Repetir cíclicamente	<input checked="" type="checkbox"/> Repetir cíclicamente
Periodo	0365:00:00:00

Figura 5. Modelo de Instanciación del proceso Post-trasplante Hepático

# Especial: Investigación en Servicios de Salud

ARIS [Estadísticas acumulativas]

	Número procesado	Suma de los tiempos de espera dinámicos	Suma de los tiempos de tratamiento	Suma de los períodos de adaptación	Suma
Esperar siguiente	0	00:00:00.00	00:12:00:01.23	00:00:00:00.00	00:00:00:01
Esperar cita o	39	00:00:00.00.00	06:52:20:57.57	00:00:00:00.00	00:00:00:01
Visitar especial	35	00:17:20:35.03	00:00:11:21.25	00:00:00:00.00	00:00:00:01
Solicitar analít	39	00:00:00.00.00	00:00:00:00.00	00:00:00:00.00	00:00:00:01
Registrar temp	90	00:00:00.00.00	00:00:00:00.00	00:00:00:00.00	00:00:00:01
Seguir evolución	0	02:00:20:30.10	42:05:19:51.1	00:00:00:00.00	00:00:00:01
Registrar medi	44	00:00:00.00.00	00:00:00:00.00	00:00:00:00.00	00:00:00:01
Atender en UC	0	01:29:07:29.99	30:34:18:35.49	00:00:00:00.00	00:00:00:01
Visitar especial	0	00:00:00.00.00	00:00:00:00.00	00:00:00:00.00	00:00:00:01
Esperar cita c	20	00:00:00.00.00	01:13:21:35.20	00:00:00:00.00	00:00:00:01
Monitorizar pa	48	00:00:00.00.00	00:00:00:00.00	00:00:00:00.00	00:00:00:01
Esperar cita pr	514	00:00:00.00.00	54:20:17:11.38	00:00:00:00.00	00:00:00:01
Visitar especial	42	00:04:11:28.03	00:00:00:00.00	00:00:00:00.00	00:00:00:01
Dar alta de UC	164	00:00:00.00.00	00:01:23:32:01	00:00:00:00.00	00:00:00:01
Solicitar analít	2,104	00:00:10:46.51	00:05:02:25.41	00:00:00:00.00	00:00:00:01
Monitorizar pa	42	00:00:00.00.00	00:00:00:00.00	00:00:00:00.00	00:00:00:01
Visitar especial	0	00:00:00.00.00	00:00:00:00.00	00:00:00:00.00	00:00:00:01
Establecer st	100	00:00:00.00.00	00:00:00:00.00	00:00:00:00.00	00:00:00:01
Registrar temp	39	00:00:00.00.00	00:00:00:00.00	00:00:00:00.00	00:00:00:01
Permanecer pa	45	00:00:00.00.00	04:72:12:49.27	00:00:00:00.00	00:00:00:01
Monitorizar pa	0	00:00:00.00.00	00:00:00:00.00	00:00:00:00.00	00:00:00:01
Completar ata	40	00:00:00.00.00	00:00:00:00.00	00:00:00:00.00	00:00:00:01
Solicitar analít	44	00:00:00.00.00	00:00:00:00.00	00:00:00:00.00	00:00:00:01
Completar ata	39	00:00:00.00.00	00:00:00:00.00	00:00:00:00.00	00:00:00:01
Permanecer pa	43	00:00:00.00.00	03:00:05:17.29	00:00:00:00.00	00:00:00:01
Visitar especial	175	01:15:06:22.58	00:00:00:00.00	00:00:00:00.00	00:00:00:01
Visitar especial	0	00:00:00.00.00	00:00:00:00.00	00:00:00:00.00	00:00:00:01
Esperar cita c	29	00:00:00.00.00	01:55:01:11:00	00:00:00:00.00	00:00:00:01
Registrar medi	41	00:00:00.00.00	00:00:00:00.00	00:00:00:00.00	00:00:00:01
Visitar especial	36	00:13:15:56.00	00:00:00:00.00	00:00:00:00.00	00:00:00:01

Figura 6. Resultados de simulación.

cas acumulativas pueden presentarse en forma de tabla o de gráfico y se actualizan constantemente durante la simulación, de este modo los últimos indicadores clave de actuación están siempre disponibles.

## Verificación y Validación del Modelo.

La Verificación es simplemente la aseguración de que la ejecución del modelo ocurre tal y como el analista espera<sup>7</sup>. En este caso se comprobó que el modelo se comportaba según lo esperado variando parámetros como el personal disponible, la entrada de pacientes, etc.

La Validación es básicamente la aseguración de que el modelo se ejecuta tal y como espera un cliente. Esto incluye la comparación de los datos actuales analizados con los datos de salida del modelo cuando este se ejecuta bajo las mismas condiciones en la que se han obtenido los datos actuales.

Un procedimiento de validación riguroso para el modelo conceptual como se discutió aquí, es tan importante como la verificación y validación operativa del modelo porque, al realizarse antes, salva y dirige al equipo de proyecto en la dirección adecuada antes de que se pierda mucho tiempo de estudio.

La animación del modelo se presentó los miembros del grupo de validación del Post-trasplante Hepático. Consideraron que la representación del proceso era correcta. Comparando los datos históricos con los datos de simulación tras correr el programa 15 veces, se consideró válido el modelo del proceso de Post-trasplante Hepático.

## Análisis de Resultados

Tras la simulación<sup>6</sup> se procede a analizar los resultados. Después de hacer todas las simulaciones los parámetros objetivos tendrán diferentes resultados para cada escenario y han de ser evaluados, por ejemplo los tiempos de espera nos indican los cuellos de botella en el proceso.

En nuestro caso se han analizado:

- Para los procesos: Suma de los tiempos de tratamiento, de espera de tiempos dinámicos, y número de carpetas de proceso: Número de pacientes que están en un momento dado en el proceso.
- Para los eventos: Número de activación (numero de pacientes que han activado un evento).
- Para las funciones: Tiempos de espera dinámico (tiempo que se produce cuando la carpeta del proceso de la función se ha liberado para su tratamiento pero no

están disponibles los recursos necesarios para procesar la función), de tratamiento (Período requerido para ejecutar la función).

El análisis de los resultados de la simulación, en el caso del proceso estudiado nos ha llevado a la conclusión, por ejemplo, de que a medida que transcurre el tiempo, disminuye el tiempo empleado en la atención especializada proporcionada en las visitas a consultas externas, debido fundamentalmente a que los pacientes únicamente salen del proceso cuando mueren o cuando se les debe realizar un trasplante. Este hecho hace que el número de pacientes dados de alta aumente cada año. Este es la etapa del proceso en la que podría ser más beneficiosa la aplicación de telemedicina, ya que permitiría el control remoto del estado de los pacientes y por lo tanto la reducción de las visitas a consulta externa cuando el facultativo determine que es estrictamente necesario.

## CONCLUSIONES

### Distribución del Tiempo Empleado en las Actividades

El desarrollo completo del modelo de trasplante hepático ha durado unos 9 meses. En total cada grupo de trabajo mantuvo una media de 20 reuniones hasta llegar a un modelo que representase la descripción completa del proceso. Entre las diversas reuniones normalmente semanales o quincenales el grupo de modelado procede a añadir y/o modificar el modelo según lo acordado en dicha reunión en lo que se suele emplear 2 ó 3 días (dedicando unas 4 horas/día). En el momento en el que se comenzaron a analizar los datos para simulación, en lo que se suele emplear una media de 15 horas semanales, surgieron dudas y la necesidad de adaptación del modelo que llevan a una media de 10 reuniones hasta la validación del modelo.

En esta estimación se ha tenido en cuenta que en la época estival se encuentran dificultades para avanzar en el trabajo debido a que no es fácil hacer coincidir a los miembros de los grupos.

### Dificultades

Entre las dificultades planteadas en la realización del modelo se puede destacar:

- La poca disponibilidad de los médicos a la hora de establecer las reuniones para la descripción del proceso y la validación de los modelos, así como para responder a las dudas que se iban planteando. Esto produce una ralentización excesiva del desarrollo del modelo y provoca la complicación del trabajo del Grupo de modelación.
- La utilización de un vocabulario especializado por parte de los especialistas del dominio y escasamente consensuado y la dificultad para la abstracción a la hora de describir los procesos de forma concreta, han llevado a desaprovechar parte del tiempo disponible

para las reuniones. Esta dificultad se ha ido subsanando a través de la experiencia adquirida por el Grupo de modeladores a la hora de extraer la información a los médicos y por el Grupo de usuarios al describir los procesos cada vez de forma más concreta.

- La falta de datos para la simulación y la ausencia de consenso a la hora de organizarlos provoca un excesivo esfuerzo en la adaptación de los mismos al modelo y viceversa - Por ejemplo, en los casos en los que el tiempo de ejecución de una función no se adecuaba a ninguna de las distribuciones que permite ARIS, se planteó como solución su descomposición en cuartiles. De este modo, cada función a la que no sea posible asignar un tiempo de tratamiento mediante una de las distribuciones comentadas se divide en cuatro funciones, cada una de las cuales con una probabilidad de ocurrir el 25 % y lleva asignada una distribución de tiempo de tratamiento uniforme.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Fondo de Investigación Sanitaria, Instituto de Salud Carlos III, como parte del proyecto "Nuevos modelos de prestación de servicios sanitarios utilizando telemedicina" de la Red Temática de Investigación Cooperativa sobre Investigación en Servicios en Salud Basados en Telemedicina (Referencia G03/117).

## BIBLIOGRAFÍA

1. Bott, Oliver J., Terstappen, Arnold, y Pretschner, Diatrich P. *Modeling, Simulating, and Visualizing Information System Artifacts in Healthcare - A General Approach to Analysis and Design* -, 2000. Intitute für Medizinische Informatik
2. Ulgen, Onur M., Black, Jonh J., Johnsonbaugh, Betty, y Klungle, Ruger. *Simulation methodology - A practitioner's perspective*, 2004. Production Modeling Corporation
3. **Consejería de Salud**. *Proceso Asistencial Integrado; Trasplante Hepático*, 2002
4. **Scheer, August-Wilhelm**. *ARIS Simulación*, 2003
5. **Söderlund, Mats**. *Health informatics - Electronic health record communication - Part 1: Reference model pREN 13606*, 9-3-2004
6. **Scheer, August-Wilhelm**. *ARIS Simulation - Simulate, Analyze and Optimize Business Processes*, 2003
7. **Dawson, Kathryn, Ulgen, Onur M., y O'Connor, Kathleen**. *How to Conduct a Successful Emergency Center Staffing Simulation Study*, 2004