

# INTRODUCCIÓN A UN MODELO DE SIMULACIÓN PARA LA GESTIÓN DE LISTAS DE ESPERA EN CENTROS HOSPITALARIOS

**Begoña González-Busto Múgica**

*Universidad de Oviedo*

El objetivo del presente trabajo es mostrar la aplicabilidad de la dinámica de sistemas al ámbito sanitario, en concreto al problema suscitado por las listas de espera hospitalarias. En el mismo, se describen las fases a seguir para la elaboración de un modelo de simulación, desarrollando, a continuación, un modelo básico que recoge los principales aspectos relacionados con su gestión. A partir del mismo, y mediante su ampliación, es posible simular los efectos de las políticas comúnmente aplicadas, así como plantear políticas alternativas, analizando sus efectos a largo plazo.

*Palabras clave:* dinámica de sistemas, modelos de simulación, sanidad pública, listas de espera.

## 1. INTRODUCCIÓN

La existencia de listas de espera es uno de los principales problemas a los que se enfrentan los sistemas públicos sanitarios, debido a una demanda creciente a la que han de hacer frente con unos recursos limitados. Su aparición y mantenimiento se fundamenta en que, abolido el precio de mercado explícito en razón de la equidad, el racionamiento del acceso no urgente a la asistencia pública ha de hacerse a través del precio implícito que supone la cola (Costas Lombardía, 1996). A este respecto, el objetivo a plantearse no es, por tanto, la eliminación total de las listas de espera, sino una adecuada gestión de las mismas, que reduzca en lo posible el tiempo máximo de espera para los pacientes.

Dado el elevado coste que conlleva la puesta en funcionamiento de las medidas comúnmente aplicadas para la reducción puntual de las listas de espera concertaciones, programas especiales o el envío a centros privados de pacientes con tiempos de espera muy elevados, resulta de gran utilidad el poder disponer de un instrumento que permita simular, a priori, los resultados

a medio y largo plazo de posibles medidas de actuación. En este sentido, la dinámica de sistemas y la elaboración de modelos de simulación pueden desempeñar un papel importante en el análisis y diseño de políticas organizativas.

El objetivo de este trabajo es demostrar la aplicabilidad de esta metodología a cualquier ámbito de gestión<sup>1</sup>, en este caso el sanitario. Para ello, se reproduce el desarrollo de un modelo simple de simulación que analiza el problema de las listas de espera en centros hospitalarios.

## 2. FASES PARA LA ELABORACIÓN DE UN MODELO DINÁMICO DE SIMULACIÓN

Son varios los autores que han determinado la importancia de seguir con cierto orden unas pautas de actuación a la hora de elaborar un modelo dinámico. Con carácter general, Wolstenholme (1992, pp. 123-24) considera la existencia de dos vías básicas que se pueden emplear para la construcción de modelos dinámicos, dando lugar así a dos posibles enfoques: *el enfoque de los bucles de realimentación y el enfoque modular*. El primer enfoque se fundamenta en el hecho de que ciertos tipos de bucles simples de realimentación dan lugar a ciertos tipos de comportamiento sistémico; de esta forma, en la medida en que sea posible conocer el modo de referencia en el comportamiento de un sistema, entonces será posible, a su vez, establecer o inferir los distintos tipos de bucles que lo originan. En definitiva, este método de modelización implica la identificación y posterior conexión de bucles de realimentación, para pasar a continuación a detectar y clasificar las variables intermedias fundamentales en las categorías de variables nivel, flujo y auxiliar. El segundo enfoque, denominado *modular*, sigue un proceso prácticamente contrario al descrito anteriormente. En este caso, se parte de una o dos variables fundamentales asociadas al problema que se analiza, intentando relacionar con las mismas ejemplos de procesos, información, retrasos, estrategias u organización. El componente empleado como punto de partida dependerá del propósito de la investigación y del tipo de sistema de que se trate.

Varios autores (Forrester, 1961; Richardson y Pugh, 1981; Aracil, 1986; Hannon y Ruth, 1994) han establecido a este respecto una serie de pasos o fases a seguir, haciendo hincapié en la interdependencia existente entre dichas fases y, por tanto, en la posibilidad de alterar, en cierta medida, su orden. A continuación se exponen los criterios o pautas establecidas por los autores antes mencionados.

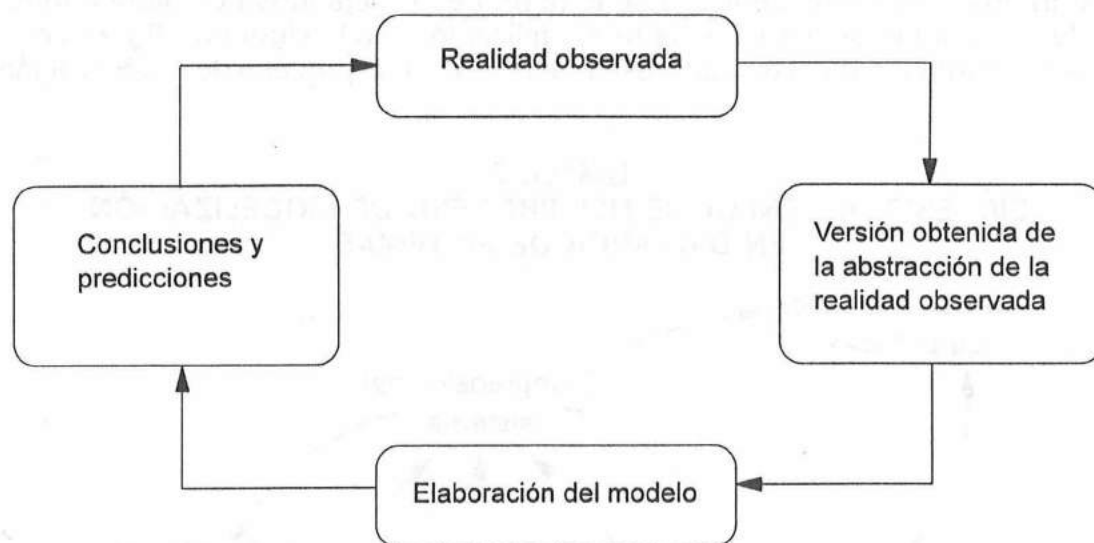
En primer lugar, y de modo esquemático, Hannon y Ruth (1994, p. 4) representan, mediante un bucle de realimentación, el proceso de construcción de un modelo.

Los principios de modelización establecidos por estos autores (Hannon y Ruth, 1994, pp. 7-8) son:

---

(1) Véase Álvarez Castaño. Y, en este mismo número, en el cual se aplica esta misma metodología al ámbito de la gestión de proyectos de investigación y desarrollo.

### Gráfico 1 EL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO



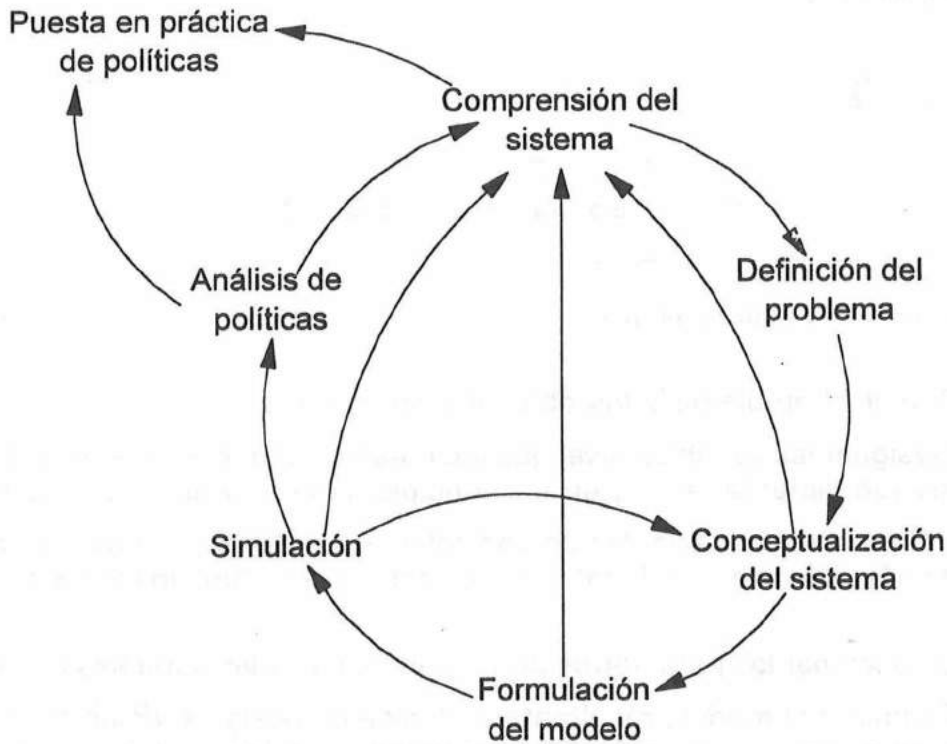
Fuente: Hannon y Ruth (1994, p. 4).

1. Definir el problema y los objetivos del modelo.
2. Designar las variables nivel que indicarán el estado del sistema. En este punto es fundamental evitar, en un principio, la complejidad del modelo.
3. Seleccionar las variables de control y los controles de flujo de entrada y salida de las variables nivel, tratando de captar únicamente los aspectos esenciales.
4. Seleccionar los parámetros correspondientes a las variables de control.
5. Examinar el modelo resultante en busca de posibles violaciones de leyes físicas o económicas, así como consistencia en las unidades de medida.
6. Establecer un horizonte temporal sobre el cual se pretende examinar el comportamiento dinámico del modelo, así como la longitud de cada intervalo de tiempo.
7. Simular el modelo, seleccionando distintas alternativas para la longitud de cada intervalo de tiempo y técnicas de integración.
8. Modificar los parámetros hasta sus valores extremos razonables y analizar los resultados de la simulación en cada uno de los casos. A continuación, revisar el modelo con el fin de reparar errores y anomalías.
9. Comparar los resultados con los datos empíricos recabados previamente.
10. Revisar los parámetros e incluso el modelo entero, con el fin de reflejar mayor complejidad y encontrar excepciones a los resultados experimentales, repitiendo todos los pasos que se acaban de enumerar.

Como puede observarse, los pasos establecidos por Hannon y Ruth (1994) se centran casi exclusivamente en aspectos técnicos de la elaboración del modelo, tales como el orden en el establecimiento del tipo de variables y la fija-

ción del período de simulación o de la longitud de los intervalos de tiempo a emplear. A este respecto, Richardson y Pugh (1981, pp. 15-17) ofrecen o presentan una visión más genérica de este proceso, alejándose en alguna medida de los problemas técnicos de la modelización. En la siguiente figura se recoge la aportación de estos autores en relación con el proceso de modelización.

**Gráfico 2**  
**SÍNTESIS DEL ENFOQUE DEL PROCESO DE MODELIZACIÓN EN DINÁMICA DE SISTEMAS**



Fuente: Richardson y Pugh (1981, p. 17).

A partir del diagrama causal recogido en el gráfico anterior, los autores establecen siete fases para el enfoque de un problema desde la perspectiva de la dinámica de sistemas:

1. Identificación y definición del problema.
2. Conceptualización del sistema.
3. Formulación del modelo.
4. Análisis del comportamiento del modelo.
5. Evaluación del modelo.
6. Análisis de políticas.
7. Implementación o empleo del modelo.

Según establecen los autores, el proceso se inicia y finaliza con la comprensión del sistema y los problemas que pueden observarse en el mismo, for-

mando un bucle y no una progresión lineal; de este modo, se observa como el proceso es de naturaleza iterativa.

Este enfoque, más amplio a la hora de establecer las fases para la modelización, se adecua más al adoptado por Forrester (1961, p. 13) quien estableció una serie de pasos para acercar la dinámica industrial al diseño de empresas. Si bien en principio el autor aplicó esta metodología únicamente al ámbito empresarial, posteriormente fue empleada en el estudio de cualquier tipo de sistema de comportamiento real. En concreto, estableció diez pasos o fases que, con carácter general, deben seguirse para el planteamiento y elaboración de cualquier modelo que recoja un comportamiento dinámico<sup>2</sup>:

1. *Identificación del problema.* En primer lugar, es necesario identificar y posteriormente definir el problema que se pretende resolver mediante la aplicación del modelo. Dicho problema, para poder ser modelizado, ha de cumplir una serie de requisitos; es decir, ha de tratarse de un problema dinámico en el cual pueda detectarse algún tipo de realimentación.

2. *Aislamiento de los factores que parecen interactuar para crear los síntomas observados.* Una vez definido el problema, es preciso identificar aquellos factores relevantes que parecen interactuar y ser los causantes del problema de partida. En esta fase, debe tenerse en cuenta que todo modelo es una simplificación de la realidad y que, por tanto, no puede pretender recoger o reflejar todas las variables realmente existentes, sino únicamente aquellas más significativas. En definitiva, debe establecerse un límite a la realidad que se pretende reflejar con el modelo.

3. *Trazado de los circuitos de realimentación de información causa-efecto, que unen las decisiones con la acción, con los cambios resultantes de la información y con las nuevas decisiones.* Es decir, deben detectarse los circuitos o bucles de realimentación existentes y que enlazan las decisiones con las acciones. Con ello se pretende demostrar cómo la situación actual del sistema analizado es consecuencia de las decisiones tomadas en el pasado y cómo esta situación actual constituye la base, a través de la información extraída de la misma, de las decisiones que se toman en el momento actual.

4. *Formulación de las políticas aceptables de decisión formal que describen cómo las decisiones surgen de las corrientes de información disponibles.* Una vez detectadas las realimentaciones existentes, la siguiente fase consistirá en formular las políticas que sirven de guía en la toma de decisiones dentro del sistema analizado. Dichas decisiones estarán basadas en la información referente a las variables significativas.

5. *Elaboración de un modelo matemático de las políticas de decisión, fuentes informativas de interacción de los componentes del sistema.* Teniendo en cuenta las variables y decisiones detectadas en las fases tercera y cuarta respectivamente, se elaborará un modelo matemático que recoja las políticas de decisión previamente definidas, así como las fuentes de información existentes. En definitiva, este modelo, compuesto por una serie de ecuaciones, pre-

(2) Estas fases o pasos aparecían ya recogidas por este autor en Forrester, J. W. (1961), pp. 13-14 y con posterioridad por Richardson y Pugh (1981), pp. 15-17.

tende reflejar el comportamiento real del sistema objeto de análisis a través de las interacciones existentes entre las variables incluidas en el mismo.

6. *Generación del comportamiento del sistema en el tiempo según lo descrito en el modelo.* A partir de las ecuaciones que componen el modelo matemático, se generará el comportamiento o evolución del sistema estudiado a lo largo del tiempo.

7. *Comparación de los resultados con todo el conocimiento pertinente disponible acerca del sistema real.* Los resultados obtenidos en la fase anterior serán contrastados con los datos disponibles acerca de la evolución real. En la medida en que los resultados obtenidos de la simulación con el modelo se aproximen a la evolución real, el modelo será validado. Sin embargo, en esta fase debe tenerse en cuenta que el modelo es una simplificación de la realidad y que, por tanto, debe exigirse una similitud y no una exactitud en las pautas evolutivas.

8. *Revisión del modelo hasta tanto sea aceptable como representación del sistema real.* En el supuesto de que los resultados no permitan concluir que el modelo es válido para la simulación, deberá revisarse hasta obtener una representación lo suficientemente fiable del sistema real.

9. *Nuevo planteamiento, dentro del modelo, de las relaciones y políticas de organización que pueden alterarse en el sistema real, para decidir los cambios que mejoren el comportamiento del mismo.* Una vez que el modelo ha sido contrastado, podrá ser empleado para la simulación de nuevas políticas frente a las ya existentes con el fin de establecer cuáles son los cambios adecuados para mejorar el comportamiento o evolución del sistema en su conjunto.

10. *Alteración del sistema real en las direcciones que la experiencia con el modelo hayan demostrado como conducentes a una actuación avanzada.* En definitiva, esta última fase consistirá en llevar a la práctica aquellas políticas o decisiones que, como consecuencia de la simulación se han perfilado como las más adecuadas para eliminar las alteraciones o fluctuaciones detectadas en la evolución del sistema.

Un factor fundamental para concluir con éxito cualquier modelo es la participación del cliente, o entidad interesada en su elaboración, en la elaboración del mismo (Vennix y Gubbels, 1992). Si bien ésta última correrá a cargo de individuos especializados en la materia, no debe olvidarse que son los miembros de la organización o sistema, cuyo comportamiento se quiere modelizar, quienes poseen los modelos mentales que se pretenden reflejar. Por tanto, será necesario contactar con ellos e implicarlos en las fases de elaboración a fin de que comprendan su utilidad, aporten sus conocimientos acerca del sistema y sugieran qué factores deben ser considerados como relevantes.

### 3. ELABORACIÓN DEL MODELO

Tal y como se describe en el apartado anterior, el primer paso para la elaboración de un modelo de simulación es la detección del problema, en este caso el mantenimiento en la sanidad pública de unas listas con elevados pe-

ródos de espera<sup>3</sup>. El siguiente paso en la elaboración de todo modelo consiste en la elaboración de un diagrama causal que recoja todas las relaciones entre las variables más significativas, con el fin de detectar las interrelaciones y los bucles subyacentes al problema y que determinan, en último término, la evolución observada de las listas de espera a lo largo del tiempo.

### 3.1. Diagrama causal de partida

En primer lugar, podemos reflejar los efectos que la aplicación de los programas especiales<sup>4</sup> tiene sobre la lista de espera quirúrgica. En la medida en que la lista de espera es elevada, se decidiría la aplicación de un programa especial. Su aplicación genera dos efectos, uno directo, el incremento de los ingresos de los médicos afectados, y otro indirecto, la posible reducción en la productividad observada por las mañanas<sup>5</sup>. El primero de ellos da lugar a un aumento en las expectativas de los médicos respecto a sus ingresos futuros, expectativas que pueden llevar al médico a inducir su propia demanda. Ambas reacciones, la reducción en el ritmo de trabajo dentro de la jornada ordinaria y la generación de demanda inducida incrementan, en definitiva, la demanda. De este modo, la lista de espera se mantendrá en un nivel lo suficientemente elevado para justificar el mantenimiento o la aplicación de un nuevo programa especial.

En este primer diagrama parcial, es posible detectar tres bucles de realimentación: dos de carácter positivo y uno negativo<sup>6</sup>. El bucle negativo surge del hecho de que el programa especial reduce la lista de espera en la medida en que los pacientes incluidos en la misma son intervenidos por las tardes, recogiendo, en definitiva, el efecto que se pretendía obtener de la aplicación de la peonada. En cuanto a los bucles positivos, éstos se corresponden con los efectos no deseados de su aplicación: la reducción en la productividad y la posible aparición de demanda inducida, que llevan a un incremento de la

(3) Puesto que el objetivo de este trabajo es guiar al lector en el proceso de elaboración de un modelo de simulación, no se entra a analizar las raíces de la aparición y mantenimiento de las listas de espera. Asimismo, es necesario señalar que el modelo que se desarrolla a continuación no es más que una primera aproximación al problema analizado, hecho que se puede constatar en las hipótesis de partida, recogidas en el siguiente apartado.

(4) Los programas especiales consisten en mantener actividad fuera de la jornada laboral, en el caso de la sanidad pública, por las tardes. En principio, el personal es remunerado por acto, intervención o consulta, si bien posteriormente se han establecido acuerdos por los cuales se remunera por la consecución del objetivo (número de intervenciones o consultas) dentro de un plazo de tiempo previamente acordado.

(5) La aparición de este comportamiento se justifica por el *principio de igualdad en la compensación*: Este principio se fundamenta en situaciones en las que el agente ha de llevar a cabo diversas tareas como parte de su relación con el principal, debiendo asignar tiempo y atención a cada una de ellas. En el caso de que esa asignación de tiempo y atención no pueda ser adecuadamente controlada por el principal, aquella actividad con menor rendimiento marginal no recibirá ni tiempo ni atención por parte del agente, centrándose este último en aquella actividad que mayor tasa de retorno marginal le proporcione (Holmstrom y Milgrom, 1994, p. 973). En este caso, la actividad desarrollada por las tardes está mejor remunerada que la desarrollada dentro de la jornada laboral.

(6) Véase García Rodríguez, R. M. en este mismo número, en el cual se describe con detenimiento la detección de bucles positivos y negativos, así como sus implicaciones.

**Gráfico 3**  
**EFFECTO DE LOS PROGRAMAS ESPECIALES**  
**SOBRE LA LISTA DE ESPERA QUIRÚRGICA**



variable lista de espera quirúrgica, variable empleada como criterio a la hora de decidir la puesta en marcha de un programa especial.

El empleo de los programas especiales como medida para la reducción de la lista de espera genera otro efecto indirecto. La intervención de pacientes fuera de la jornada laboral ocasiona una reducción de los recursos disponibles para la actividad programada, en este caso camas hospitalarias. La reducción en los recursos destinados a programación afecta negativamente a la lista de espera quirúrgica.

**Gráfico 4**  
**EFFECTO DE LA HUIDA DE PACIENTES A URGENCIAS**  
**SOBRE LA LISTA DE ESPERA QUIRÚRGICA**



A continuación, es necesario reflejar el efecto del establecimiento de la concertación con el centro privado.

En la medida en que se observa una lista de espera elevada, se decide la concertación con otro centro. Un primer efecto de tal medida es de carácter



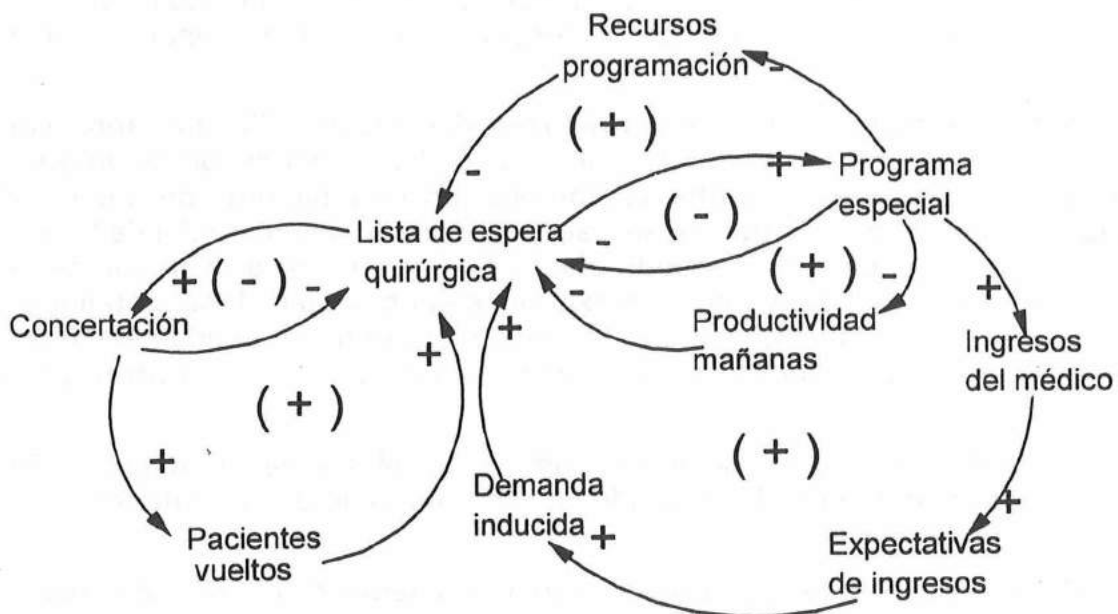
**Gráfico 5**  
**EFFECTO DE LA CONCERTACIÓN SOBRE LA LISTA DE ESPERA QUIRÚRGICA**



positivo, y aparece recogido en el bucle negativo: la reducción de la lista en un volumen igual al número de pacientes enviados al centro concertado. Sin embargo, y debido a los problemas mencionados con anterioridad, un porcentaje de los pacientes enviados es devuelto al centro concertador, bien por voluntad propia del paciente, bien por decisión del centro privado. Esta marcha atrás vuelve a incrementar la lista de partida, dando lugar a la aparición de un bucle de signo positivo.

Uniendo los tres diagramas parciales que se acaban de exponer, se obtiene el diagrama causal de partida que, de forma esquemática, refleja las principales variables que interactúan para dar lugar al comportamiento observado en la evolución de las listas de espera quirúrgica.

**Gráfico 6**  
**DIAGRAMA CAUSAL DE PARTIDA**



### 3.2. Elaboración del diagrama de flujos

El diagrama causal recogido en el gráfico 6 se toma como punto de partida para la elaboración de un modelo de simulación que permita simular los efectos de las medidas reflejadas en el mismo.

A continuación se exponen las hipótesis de partida, teniendo en cuenta que algunas de ellas alejan en gran medida el modelo de la realidad, pero se establecen de este modo a fin de reducir la complejidad del mismo y facilitar la labor didáctica de este ejemplo.

#### a) Hipótesis de partida

1. La entrada en la lista de espera quirúrgica proviene de consultas externas, obteniéndose como un porcentaje de los pacientes que son atendidos en consulta. En concreto, se estima que, en condiciones normales, un 25% de los pacientes atendidos en consulta requieren una intervención. Asimismo, el tiempo medio de espera de la lista de consultas externas es de tres meses.

2. Las salidas de lista de espera quirúrgica dependen, de forma simplificada, del abandono del paciente, de las intervenciones efectuadas en el centro y de los pacientes enviados a concertación. En este sentido, se estima que, aproximadamente, un 6% de los pacientes abandonan la lista de espera.

3. La gerencia considera aceptable una lista de espera de dos meses.

4. Se decide acordar una concertación con otro centro cuando la lista de espera real supera a la deseada en más de cien pacientes. En ese caso, se envían cien pacientes al centro concertado. De los pacientes enviados a concertación, aproximadamente un 5% vuelven al centro concertado por voluntad propia o por decisión del especialista del centro concertado.

5. En cuanto a los programas especiales, de forma simplificada, se supone que entran en funcionamiento cuando la lista de espera quirúrgica, excluidos ya los pacientes enviados a concertación, supera la lista de espera deseada.

6. Los programas especiales producen dos efectos. Por un lado, reducen el ritmo de trabajo dentro de la jornada de las mañanas, de modo que si la duración media de una intervención era aproximadamente de dos horas, ahora el menor ritmo de trabajo se traduce en una duración media de la intervención de tres horas. El segundo efecto que genera es la aparición de demanda inducida. Si, tal y como se exponía en la hipótesis 1, se dictamina la necesidad de una intervención al 25% de los pacientes atendidos en consulta, ahora los profesionales recomiendan la intervención en un 35% de los casos.

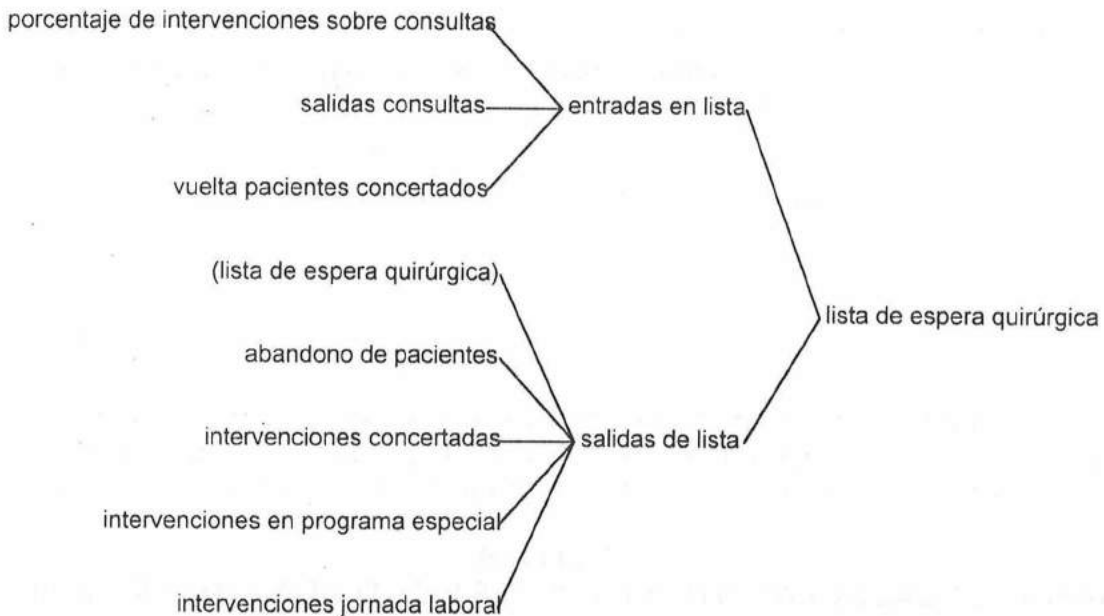
7. En el caso de aplicarse un programa especial, sólo la mitad de la plantilla opera por las tardes, disponiendo en ese horario de dos quirófanos en exclusiva para el servicio.

8. El servicio recibe, por término medio, una demanda de 72 pacientes por período.

## b) Diagrama de flujos

Empleando el programa de simulación VENSIM DSS32, versión 3.0A<sup>7</sup>, se introducen en el mismo las variables nivel, flujo, auxiliares y parámetros, así como las relaciones entre ellas. Partiendo del diagrama causal y de las hipótesis de partida, puede establecerse el siguiente árbol causal<sup>8</sup>:

**Gráfico 7**  
**ÁRBOL CAUSAL DE LA LISTA DE ESPERA QUIRÚRGICA<sup>9</sup>**



El nivel lista de espera quirúrgica queda definido en función de su flujo de entrada y de salida. El flujo de entrada depende del ritmo de salida de consultas externas, del porcentaje sobre el total de consultas que requieren intervención y de la vuelta de pacientes enviados a concertación. El flujo de salida, *salidas de lista*, depende del abandono de pacientes y las intervenciones efectuadas, tanto en el propio centro como en el centro concertado, teniendo en cuenta que las salidas de lista nunca pueden ser superiores al nivel *lista de espera quirúrgica*.

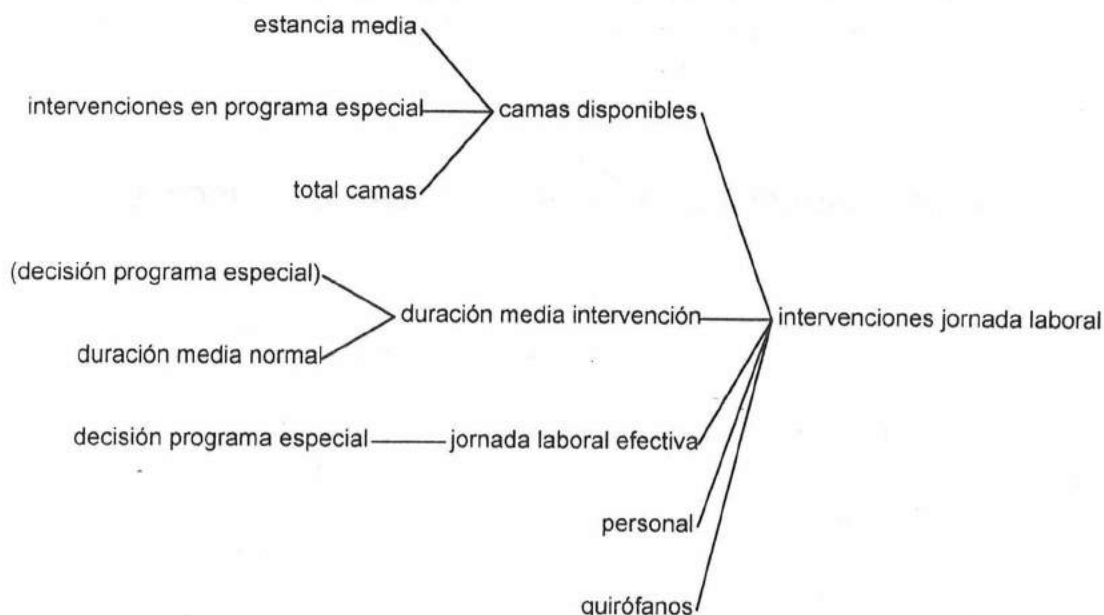
El total de intervenciones efectuadas dentro de la jornada laboral normal depende directamente del personal, camas y quirófanos disponibles, así co-

(7) Para consultar software disponible, véase referencia técnica en García Rodríguez, R. M. en este mismo número.

(8) Este tipo de árbol causal puede obtenerse con el programa VENSIM 3.0A, una vez elaborado el diagrama de flujos, si bien en este ejemplo se expone previamente para facilitar la comprensión de las relaciones causales entre las variables.

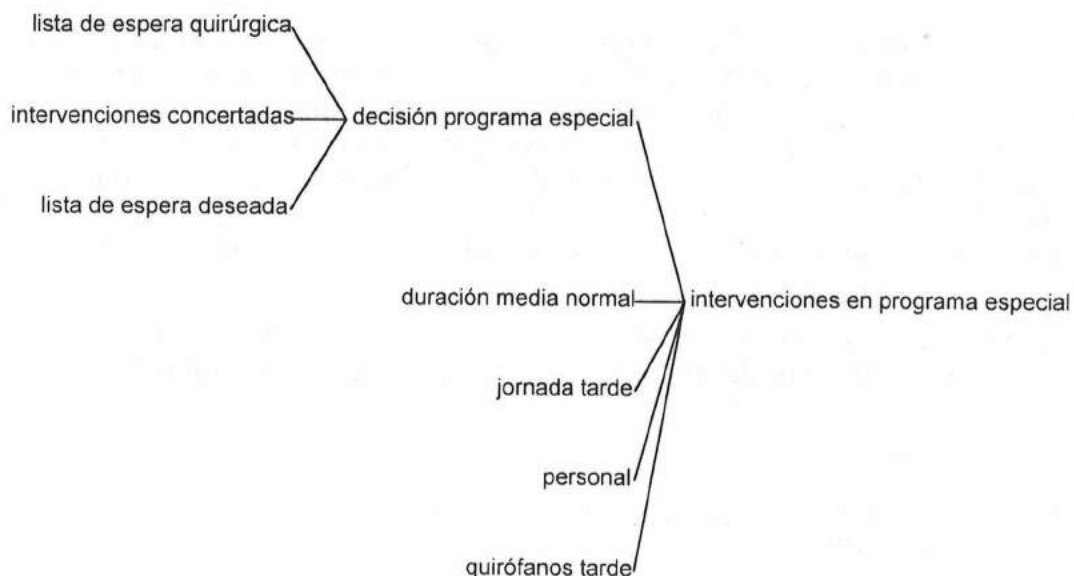
(9) Las variables causales que aparecen entre paréntesis en este tipo de árboles causales reflejan en realidad la existencia de un bucle de realimentación. En definitiva, se están representando los bucles en otro lenguaje gráfico.

**Gráfico 8**  
**ÁRBOL CAUSAL DE LAS INTERVENCIONES EFECTUADAS EN LA JORNADA LABORAL NORMAL**



mo de la duración media de cada intervención, la estancia media de hospitalización y la parte de la jornada que es realmente productiva, estas últimas función, a su vez, de la existencia de un programa especial en marcha<sup>10</sup>.

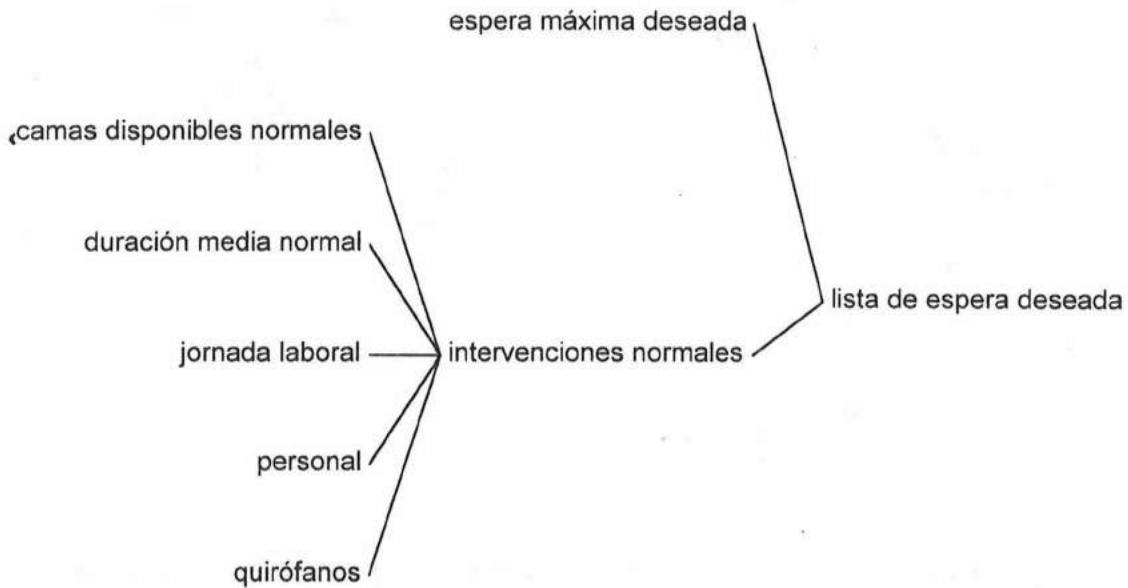
**Gráfico 9**  
**ÁRBOL CAUSAL DE LAS INTERVENCIONES EFECTUADAS POR LAS TARDES**



(10) Tanto en el enunciado del caso como en las hipótesis de partida se establece como la adopción de un programa especial afecta a la productividad del trabajador, bien reduciendo su ritmo de trabajo (aumento de la duración media de la intervención), bien reduciendo el número de horas de trabajo efectivo.

En cuanto a las intervenciones efectuadas por las tardes, dependerán en primer lugar de que se haya puesto en marcha un programa especial. Su adopción o no dependerá, tal y como se muestra en las hipótesis de partida, de la comparación entre la lista de espera real, teniendo en cuenta las intervenciones concertadas, y la lista de espera deseada. En caso de adoptarse, el número de intervenciones efectuadas dependerá del personal del servicio que se acoja al programa especial, los quirófanos disponibles para el servicio durante la tarde, las horas que dedique el profesional al programa especial y la duración media de la intervención<sup>11</sup>.

**Gráfico 10**  
**ÁRBOL CAUSAL DE LA LISTA DE ESPERA DESEADA**



Por último, la lista de espera deseada o considerada aceptable por el centro, se calcula teniendo en cuenta el tiempo de espera máximo aceptable para el paciente, seis meses según estima el gerente, y el número de intervenciones que pueden efectuarse en condiciones normales; es decir, teniendo en cuenta el personal del servicio, los quirófanos y camas disponibles, la duración de la jornada laboral y la duración media normal de una intervención.

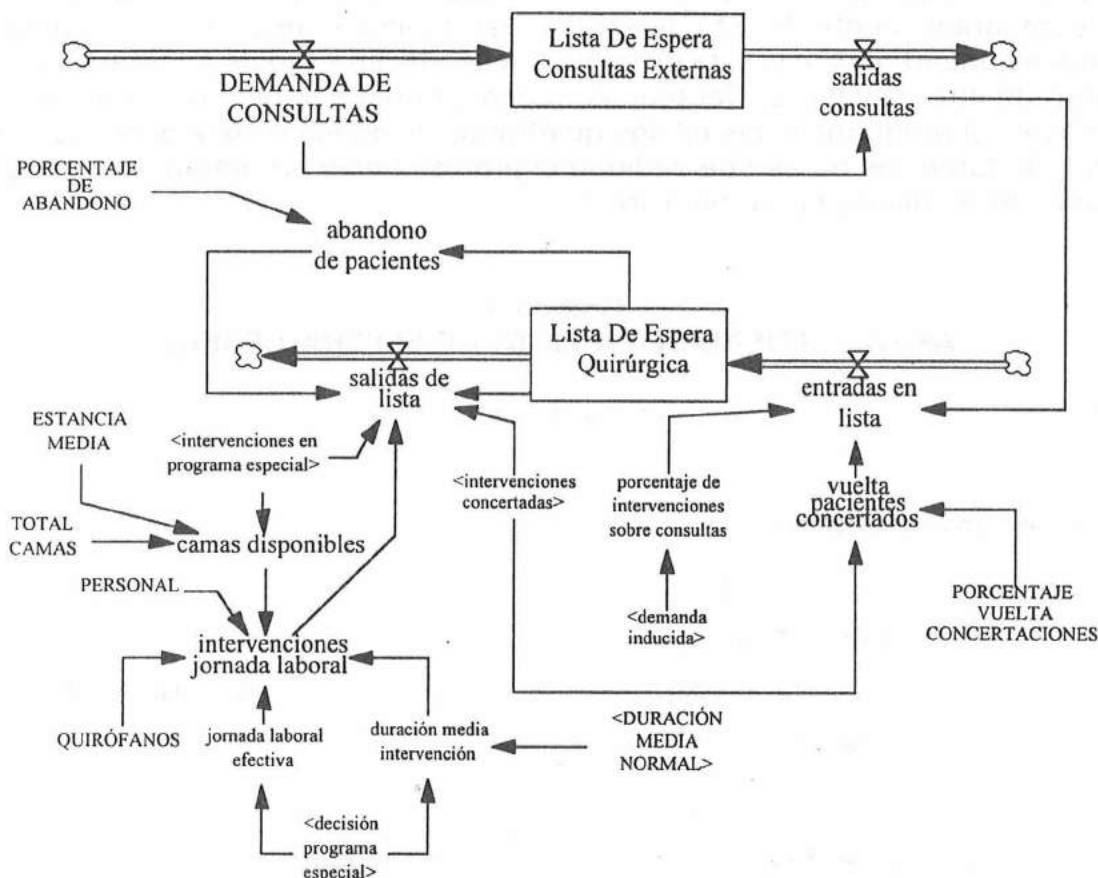
A continuación, se muestran los diagramas de flujo que recogen todas las relaciones recogidas en los árboles causales.

**c) Equilibrio del modelo**

Antes de comenzar la simulación con el modelo, es necesario equilibrarlo, es decir, que en condiciones normales, con una demanda de servicios constante y un ritmo de trabajo normal, los niveles del sistema mantengan un va-

(11) En este caso, la duración media de la intervención es la normal puesto que el médico no tiene ningún incentivo para alargar su duración por la tarde, «cuanto antes acaba, antes se va».

**Gráfico 11**  
**DIAGRAMA DE FLUJO (I)<sup>12</sup>**



lor constante. Ello implica que los flujos de entrada y salida de los niveles sean iguales<sup>13</sup>.

Este modelo presenta dos niveles: la lista de espera de consultas externas y la lista de espera quirúrgica. Respecto a la lista de consultas externas, debe cumplirse que:

(1)  $demanda\ de\ consultas = salidas\ consultas$

Puesto que el flujo de salida, *salida de consultas*, viene definido por la ecuación:

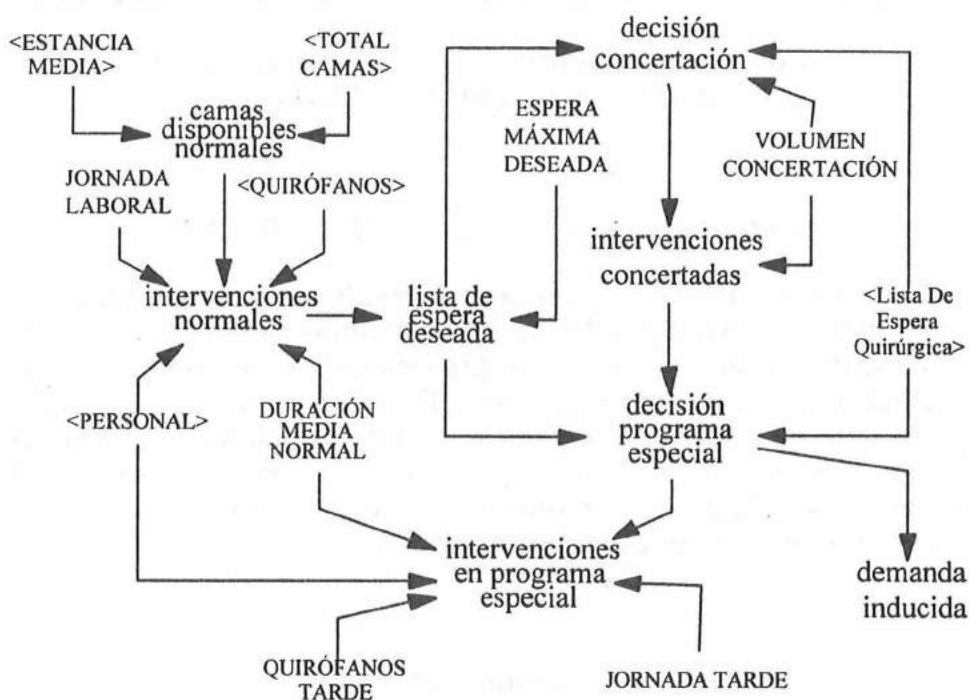
$$salidas\ consultas = DELAY3(demanda\ de\ consultas, 90) = 72$$

Es decir, como un retraso de la entrada, la igualdad (1) siempre se cumplirá tomando el valor 72, dato facilitado en la hipótesis 8.

(12) Obsérvese que las variables que, tanto en este diagrama de flujos, como en el recogido en el gráfico 13, aparecen entre corchetes, como por ejemplo < intervenciones concertadas >, son réplicas o copias de la variable original, que aparece en otro punto de los diagramas de flujos. Con esta opción del programa se facilita una más clara representación.

(13) Para desarrollar este apartado, véase en el anexo las ecuaciones del modelo.

**Gráfico 12  
DIAGRAMA DE FLUJO (II)**



Respecto a la lista de espera quirúrgica, debe cumplirse que:

$$(2) \quad \text{entradas en lista} = \text{salidas de lista}$$

es decir,

$$(\text{salidas consultas} * \text{porcentaje de intervenciones sobre consultas}) + \text{vuelta pacientes concertados} = \text{MIN} (\text{intervenciones jornada laboral} + \text{intervenciones en programa especial} + \text{intervenciones concertadas} + \text{abandono de pacientes, lista de espera quirúrgica})$$

Si el sistema está en equilibrio, no se requerirían medidas especiales para reducir la lista de espera, ya que ésta coincidiría o sería inferior a la lista de espera deseada; por ello la igualdad anterior quedaría reducida a:

$$(\text{salidas consultas} * \text{porcentaje intervenciones sobre consultas}) = \text{MIN} (\text{intervenciones jornada laboral} + \text{abandono de pacientes, lista de espera quirúrgica})$$

Partiendo del dato obtenido de la igualdad (1), se puede concluir que:

$$\text{entradas en lista} = (\text{salidas consultas} * \text{porcentaje intervenciones sobre consultas}) = 72 * 0,25 = 18$$

Sabiendo que las intervenciones efectuadas por la mañana:

$$\text{intervenciones jornada laboral} = \text{MIN} (\text{MIN} ((\text{personal} * \text{jornada laboral efectiva}) / \text{duración media intervención}, (\text{quirófanos} * \text{jornada laboral efectiva}) / \text{duración media intervención}), \text{camas disponibles}) = 6$$

Entonces el abandono de pacientes:

$$\text{abandono pacientes} = \text{salidas de lista} - \text{intervenciones jornada laboral} = 18$$

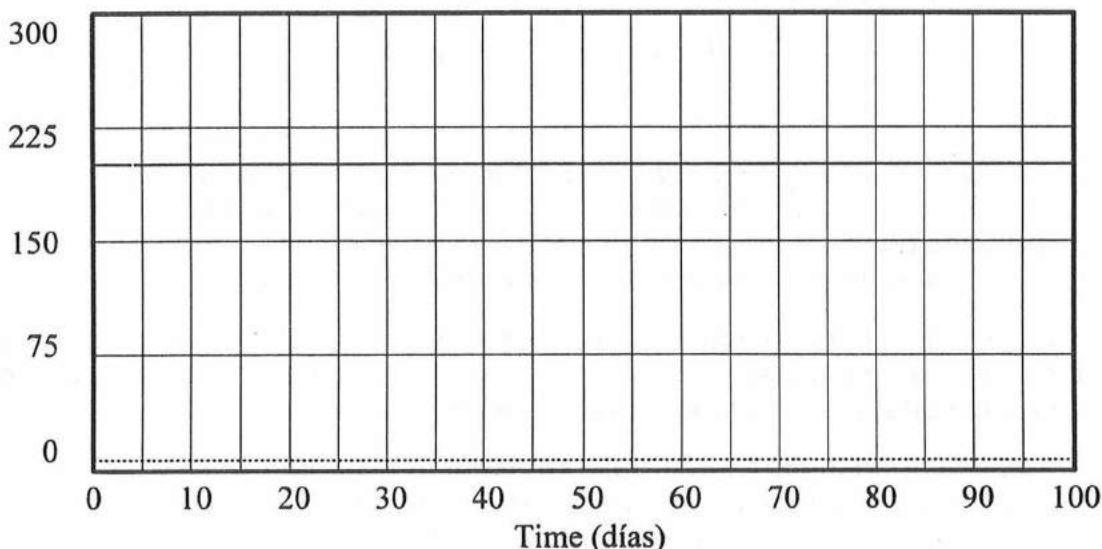
$$\begin{aligned} \text{Lista de espera quirúrgica} * \text{porcentaje abandono} = \\ \text{Lista de espera quirúrgica} * 0.06 = 12 \end{aligned}$$

entonces:

$$\text{Lista de espera quirúrgica} = 12 / 0.06 = 200$$

En cuanto al valor inicial de la lista de consultas externas, debido a la afirmación recogida en la hipótesis 1 respecto al tiempo medio de espera, y puesto que sus flujos de entrada y salida siempre coincidirán, el valor inicial de dicho nivel no afectará al equilibrio del sistema. El siguiente gráfico muestra la evolución de la lista de espera quirúrgica y las intervenciones efectuadas en situación de equilibrio. En el mismo se aprecia cómo ambas variables permanecen constantes a lo largo de la simulación, manteniendo los valores calculados para las mismas en el proceso de equilibrado.

**Gráfico 13**  
**EVOLUCIÓN DE LA LISTA QUIRÚRGICA E INTERVENCIONES EN EQUILIBRIO**



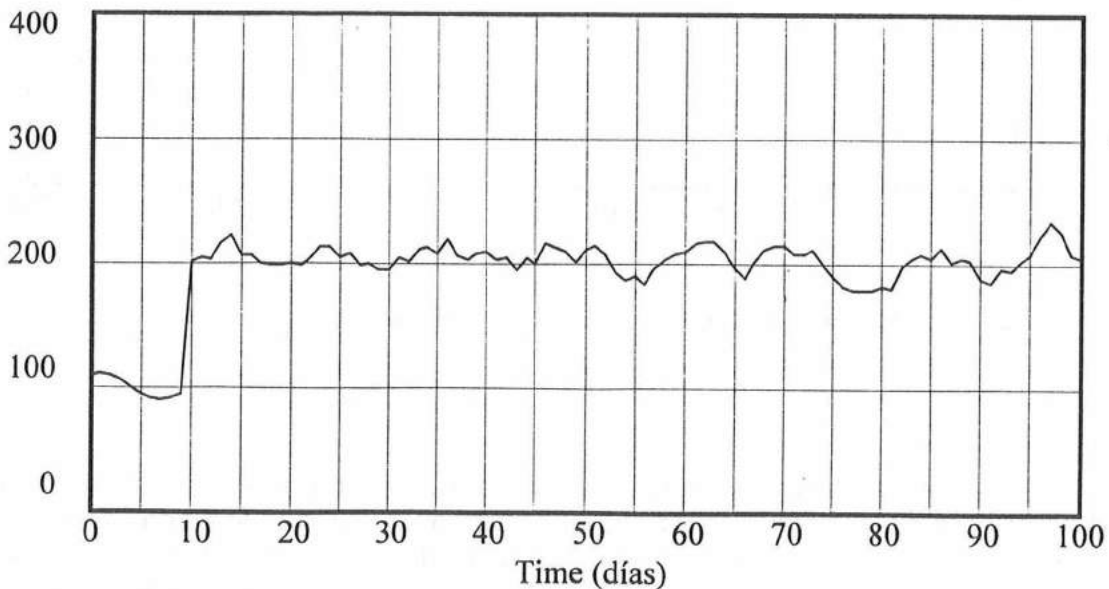
Lista De Espera Quirúrgica : en equilibrio ————— pacientes  
 intervenciones jornada laboral : en equilibrio ..... pacientes

En esta situación de equilibrio no entra en funcionamiento ninguna de las medidas especiales, tales como concertaciones o programas especiales, puesto que la lista de espera real no supera a la deseada, por lo tanto, las variables *intervenciones concertadas* e *intervenciones en programa especial* toman valor cero a lo largo de toda la simulación.



Una vez el modelo ha sido equilibrado, es posible analizar la respuesta del sistema ante distintos escenarios<sup>14</sup> de demanda, puesto que, en la medida en que ésta toma valores distintos al recogido en la octava hipótesis, el comportamiento del sistema se aleja del equilibrio. En este sentido, se analiza a continuación el efecto que un escenario de demanda creciente y cíclica genera sobre el sistema<sup>15</sup>. En este caso, la demanda ya no es constante, sino que presenta la evolución que se muestra en el siguiente gráfico.

**Gráfico 14**  
**EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA DEL SERVICIO**  
**ANTE UN ESCENARIO DE DEMANDA CRECIENTE Y CÍCLICA**



demanda de consultas : *crec, ciclo y ruido* ————— *pacientes/día*

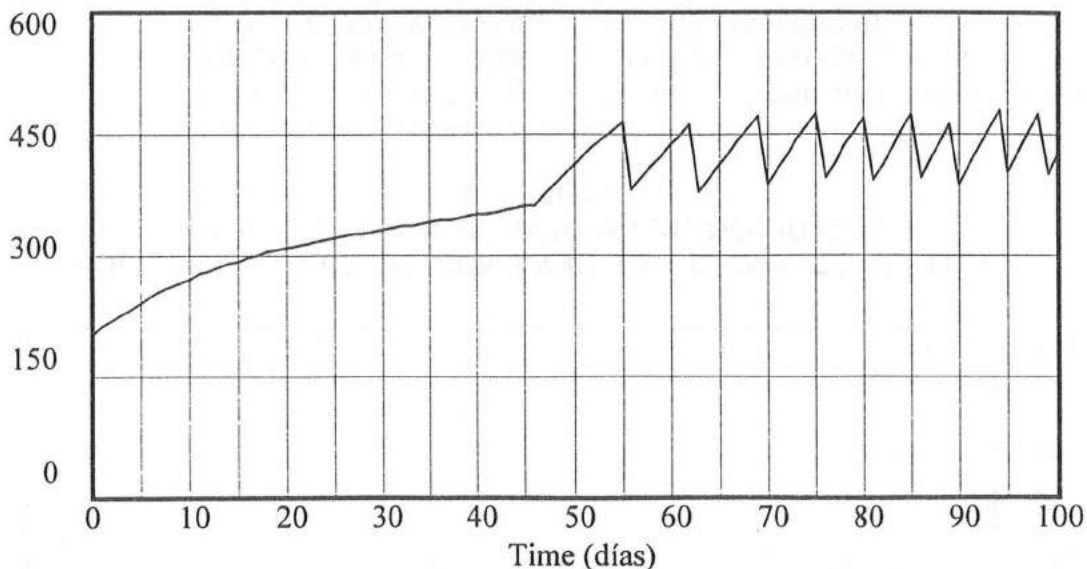
Esta alteración en el comportamiento de la variable exógena que afecta al sistema, hace que éste se aleje del equilibrio. En este caso, la lista de espera quirúrgica presenta la siguiente evolución.

En este caso, la lista de espera se aleja del equilibrio, presentando una tendencia creciente, si bien se observan bruscas caídas a partir, aproximadamente del período 55. Con el fin de comprender la evolución que presenta la lista de espera, es necesario analizar el comportamiento de sus flujos y, más en concreto, de su flujo de salida. Si se observa la evolución del flujo *salidas de lista*, se aprecia como éste es el causante de las reducciones en la lista antes

(14) En este sentido, se pueden introducir distintos escenarios alternativos de demanda, tales como crecimiento, ciclos, pulsos, saltos y ruido. Esta opción no aparece recogida en este modelo, dada su extrema simplificación.

(15) Para generar estos escenarios, es necesario introducir en el modelo nuevas variables, así como un macro que, dada su complejidad, no se incluye en la descripción de este modelo.

**Gráfico 15**  
**EVOLUCIÓN DE LA LISTA DE ESPERA QUIRÚRGICA**  
**ANTE UN ESCENARIO DE DEMANDA CRECIENTE Y CÍCLICA**



Lista De Espera Quirúrgica : crec, ciclo y ruido \_\_\_\_\_ pacientes

mencionadas. Se analizan a continuación las variables causales del flujo *salidas de lista*.

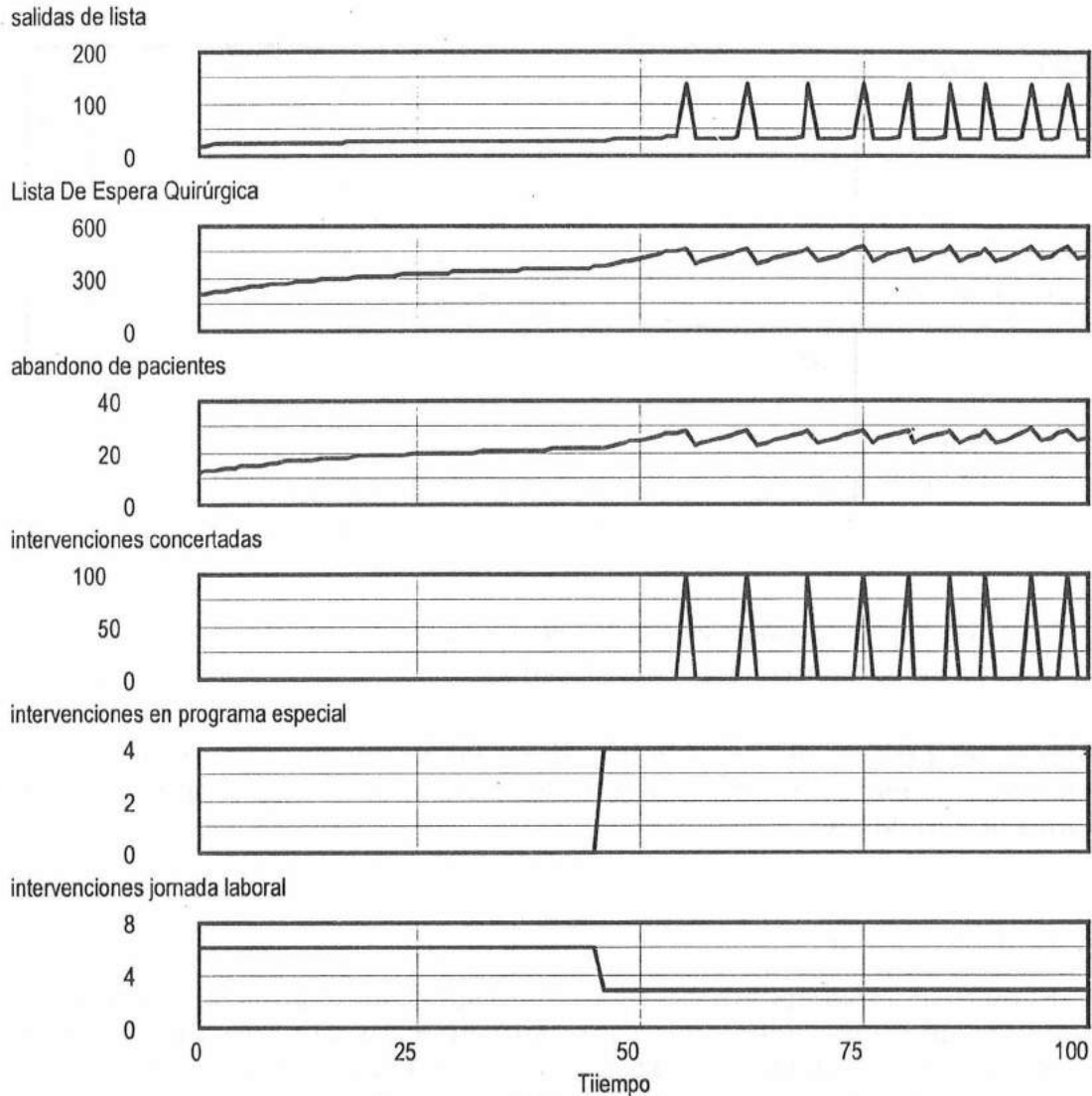
Si se observa la evolución de las variables que definen el flujo de salida del nivel *lista de espera quirúrgica*, se puede apreciar que los abandonos de pacientes evolucionan proporcionalmente a la lista de espera, se ponen en marcha programas especiales, se reduce la actividad dentro de la jornada laboral y, por último, entran en funcionamiento las concertaciones. Este último fenómeno es la causa explicativa de las reducciones en la lista de espera que se observan en el gráfico 15, puesto que al cumplirse la condición establecida para la puesta en funcionamiento de las concertaciones<sup>16</sup>, se envían cien pacientes al centro concertado.

En el modelo, las ecuaciones se calculan secuencial y constantemente, de modo que representa adecuadamente el funcionamiento de aquellas decisiones que se calculan de forma continua. Por lo tanto, para representar en un modelo aquellas otras decisiones que se llevan a cabo de forma discreta a lo largo del tiempo, será necesario diseñar macros que introduzcan esa periodicidad en la decisión.

Partiendo del supuesto de que la decisión de concertación no es continua, sino discreta, y suponiéndole una periodicidad de treinta períodos, se reduce el número de envíos a centros concertados y, por tanto, la lista de espera se incrementa aún más que en el caso anterior, tal y como se observa en

(16) Véase en el anexo la ecuación correspondiente a la variable *decisión concertación*.

**Gráfico 16**  
**EVOLUCIÓN DE LAS SALIDAS DE LISTA Y SUS CAUSAS**  
**ANTE UN ESCENARIO DE DEMANDA CRECIENTE Y CÍCLICA**

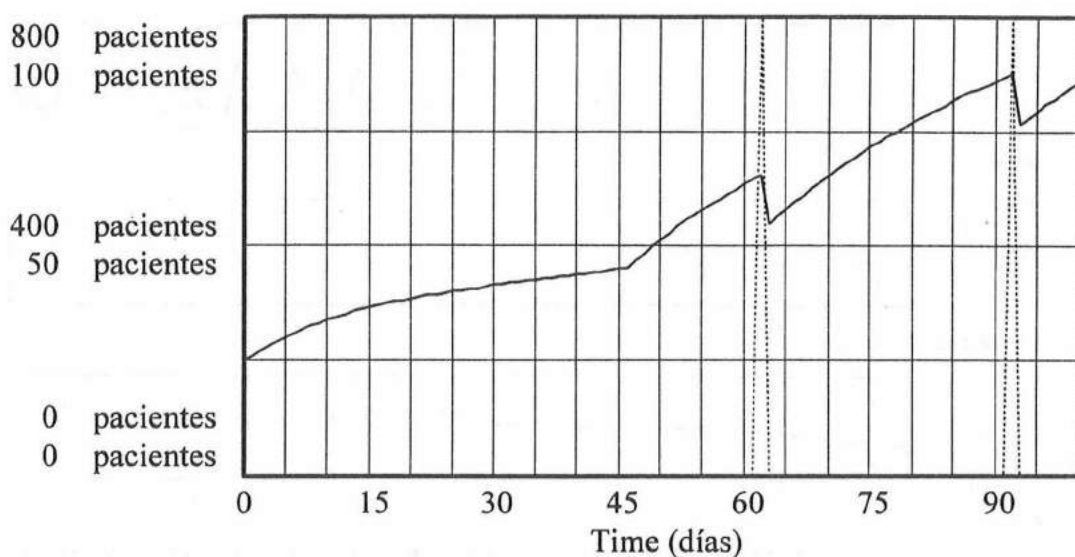


el gráfico 17. En este caso, únicamente se envían pacientes a centros concertados en torno a los períodos 60 y 90 de la simulación.

El objetivo de estas sencillas simulaciones no es representar la evolución real de la lista de espera<sup>17</sup>, sino ilustrar brevemente en el manejo de la simulación como instrumento que favorece la comprensión del problema que se estudia. A partir de la evolución observada en una variable, se puede, a través del comportamiento de las variables que la definen, encontrar las causas explicativas de dicha evolución. De igual modo, el empleo del modelo permite

(17) La excesiva simplificación del modelo impide obtener resultados que se acerquen a la realidad, si bien éste no es el objetivo del presente trabajo.

**Gráfico 17**  
**EVOLUCIÓN DE LA LISTA DE ESPERA QUIRÚRGICA**  
**E INTERVENCIONES CONCERTADAS PERIÓDICAMENTE**  
**ANTE UN ESCENARIO DE DEMANDA CRECIENTE Y CÍCLICA**



Lista De Espera Quirúrgica : concert periodica ————— pacientes  
 intervenciones concertadas : concert periodica ..... pacientes

detectar errores en el mismo e introducir las correcciones pertinentes<sup>18</sup>. Todos estos aspectos, en definitiva, potencian y favorecen el aprendizaje mediante la simulación.

#### 4. CONCLUSIONES

El modelo, cuya construcción se ha descrito en el apartado anterior, pretende ser un primer acercamiento o aproximación a la forma de enfocar un problema tan complejo, como son las listas de espera en el sistema sanitario público, desde un punto de vista sistémico. El objetivo del presente trabajo no es la elaboración de un modelo de simulación apto para su empleo en la gestión hospitalaria, sino demostrar la aplicabilidad de la metodología que aporta la dinámica de sistemas a cualquier ámbito de actuación, así como guiar al lector, que pretende analizar un problema complejo, en los primeros pasos que ha de afrontar al emplear dicha metodología. Si bien el modelo es excesivamente simplista, tal y como lo demuestran las hipótesis de partida, puede ser empleado como punto de partida para posteriores ampliaciones.

(18) Si se tiene certeza de que las concertaciones se deciden de forma periódica y no continua, la evolución de las mismas reflejada en el gráfico 17, indica la necesidad de incluir una macro que introduzca el carácter periódico de dicha decisión. Asimismo, a la vista de ambos resultados en la evolución de la lista de espera cabría plantearse la conveniencia de transformar esta decisión discreta en continua.

El objetivo último de cualquier modelo de simulación es, en definitiva, potenciar o favorecer el aprendizaje organizativo<sup>19</sup>, hecho que se consigue a través de una doble vía. En primer lugar, el mero proceso de elaboración del modelo obliga a analizar con detenimiento el problema planteado, favoreciendo la detección de múltiples interrelaciones entre variables, no perceptibles a simple vista, que conforman un complejo sistema de realimentación. En segundo lugar, una vez elaborado el modelo, permite al decisor disponer de una herramienta de aprendizaje, al poder simular con el mismo medidas o políticas alternativas, así como analizar las consecuencias a largo plazo de las mismas, sin incurrir en los enormes costes asociados al empleo de mecanismos de prueba y error sobre el sistema real (Lyneis, 1980). Este último es un aspecto fundamental, teniendo en cuenta que, tal y como señala Forrester (1994)<sup>20</sup>, no se puede confiar en el juicio intuitivo de un individuo a la hora de anticipar el comportamiento dinámico de un sistema de realimentación en el que se interrelacionen más de un número muy limitado de variables.

---

(19) Véase García Rodríguez (1997), en el cual se desarrolla el concepto de aprendizaje organizativo, los límites o impedimentos al mismo y, por último, los mecanismos para su potenciación.

(20) La traducción de este artículo aparece recogida en el presente monográfico, bajo el título «Políticas decisiones y fuentes de información para la elaboración de modelos».

## ANEXO

A continuación se exponen las ecuaciones correspondientes a todas las variables incluidas en el modelo:

*intervenciones normales* =  $\text{MIN} (\text{MIN} ((\text{personal} * \text{jornada laboral}) / \text{duración media normal}, (\text{quirófanos} * \text{jornada laboral}) / \text{duración media normal}), \text{camas disponibles normales})$

Documentación: intervenciones que se efectuarían normalmente dentro de la jornada laboral en ausencia de incentivos perversos.

*camas disponibles* =  $(\text{total camas} / \text{estancia media}) - \text{intervenciones en programa especial}$

Documentación: camas disponibles por el servicio para la hospitalización de pacientes.

*camas disponibles normales* =  $\text{total camas} / \text{estancia media}$

Documentación: camas disponibles en condiciones normales, sin tener en cuenta los pacientes intervenidos en los programas especiales.

*intervenciones jornada laboral* =  $\text{MIN} (\text{MIN} ((\text{personal} * \text{jornada laboral efectiva}) / \text{duración media intervención}, (\text{quirófanos} * \text{jornada laboral efectiva}) / \text{duración media intervención}), \text{camas disponibles})$

Documentación: intervenciones efectuadas dentro de la jornada laboral habitual, teniendo en cuenta la restricción de recursos.

*estancia media* = 15

Documentación: estancia media de hospitalización de los pacientes del servicio.

*total camas* = 100

Documentación: total camas del servicio.

*jornada laboral efectiva*: *IF THEN ELSE* (*decisión programa especial* = 0, 8, 6.5)

Documentación: horas de trabajo realmente productivas dentro de la jornada laboral, dependiendo de que exista o no un programa especial por las tardes.

*abandono de pacientes* = *lista de espera quirúrgica* \* *porcentaje de abandono*

Documentación: pacientes que abandonan la lista hacia el sector privado o por otros motivos, sobre el total de la lista.

*decisión concertación* = *IF THEN ELSE* (*lista de espera quirúrgica* - *lista de espera deseada* > *volumen concertación*, 1, 0)

Documentación: establecimiento de una concertación con un centro privado si la lista de espera supera a la deseada en el volumen normal de la concertación.

*decisión programa especial=IF THEN ELSE (lista de espera quirúrgica—intervenciones concertadas > lista de espera deseada, 1, 0)*

Documentación: inicio de un programa especial en el caso de que la lista de espera, excluidos ya los pacientes enviados a concertación, supere la lista de espera deseada.

*demanda de consultas=72*

Documentación: pacientes que, diariamente, solicitan una consulta en el servicio.

*demanda inducida=IF THEN ELSE (decisión programa especial=1, 1, 0)*

Documentación: variable que permite activar la posible aparición de demanda inducida en el caso de que se aplique un programa especial.

*duración media intervención=IF THEN ELSE (decisión programa especial=0, duración media normal, 3)*

Documentación: duración media de una intervención, dependiendo de que esté en marcha o no un programa especial por las tardes.

*duración media normal=2*

Documentación: duración que, por término medio, debería tener una intervención en ausencia de incentivos perversos.

*entradas en lista=(salidas consultas\*porcentaje de intervenciones sobre consultas)+vuelta pacientes concertados*

Documentación: pacientes que se incorporan a la lista quirúrgica provenientes de consultas externas y de vuelta de la concertación.

*espera máxima deseada=60*

Documentación: tiempo de espera máximo deseado de seis meses, teniendo en cuenta que únicamente se efectúa actividad programada durante los 20 días hábiles del mes.

*intervenciones concertadas=IF THEN ELSE (decisión concertación=1, volumen concertación, 0)*

Documentación: número de pacientes enviados a un centro concertado en caso de decidirse llevar a cabo la concertación.

*intervenciones en programa especial=IF THE ELSE (decisión programa especial=1, MIN ((personal/2)\*jornada tarde)/duración media normal, (quirófanos tarde\*jornada tarde)/duración media normal), 0)*

Documentación: intervenciones efectuadas fuera de la jornada laboral en caso de estar en marcha un programa especial.

*jornada laboral=8*

Documentación: número de horas que conforman la jornada laboral oficial.

*jornada tarde = 4*

Documentación: horas durante las cuales se efectúan intervenciones por las tardes en caso de poner en marcha un programa especial.

*lista de espera consultas externas = INTEG (demanda de consultas—salidas consultas, 200)*

Documentación: pacientes en la lista para acudir a la consulta del servicio en cuestión.

*lista de espera deseada = intervenciones normales \* espera máxima deseada*

Documentación: volumen de pacientes en lista que la administración considera adecuada, teniendo en cuenta los recursos y un tiempo de espera por el paciente considerado razonable.

*lista de espera quirúrgica = INTEG (entradas en lista—salidas de lista, 233.33)*

Documentación: pacientes a la espera de ser sometidos a una intervención quirúrgica en el servicio.

*personal = 4*

Documentación: plantilla del servicio.

*porcentaje de abandono = 0.06*

Documentación: porcentaje de abandono de pacientes hacia la atención privada o por otros motivos.

*porcentaje de intervenciones sobre consultas = IF THE ELSE (demanda inducida = 0, 0.25, 0.35).*

Documentación: porcentaje de pacientes atendidos en consultas externas que requieren intervención.

*porcentaje vuelta concertaciones = 0.05*

Documentación: porcentaje de pacientes enviados a concertación que vuelven al centro concertador.

*quirófanos = 1.5*

Documentación: quirófanos asignados al servicio.

*quirófanos tarde = 2*

Documentación: quirófanos disponibles por las tardes.

*salidas consultas = DELAY3 (demanda de consultas, 90)*

Documentación: las salidas de consultas son un retraso de la entrada en lista, suponiendo que cada paciente es atendido aproximadamente tres meses después de haber solicitado el servicio.



**salidas de lista = MIN (intervenciones jornada laboral + intervenciones en programa especial + intervenciones concertadas + abandono de pacientes, lista de espera quirúrgica)**

Documentación: pacientes que salen de la lista de espera, bien por haber sido sometidos a una intervención, bien por abandono voluntario.

**volumen concertación = 100**

Documentación: número de pacientes enviados a centros concertados.

**vuelta pacientes concertados = intervenciones concertadas \* porcentaje vuelta concertaciones**

Documentación: pacientes enviados a concertación que vuelven al centro concertado por voluntad propia o por rechazo del centro privado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez Castaño, Y. (1997): «Evolución dinámica de un proyecto de I+D», *Revista Asturiana de Economía*, n.º 10.
- Aracil, J. (1986): *Introducción a la dinámica de sistemas*, Alianza Universal Textos, Madrid.
- Costas Lombardía, E. (1996): «Las listas de espera», *El País*, 2 de julio.
- Forrester, J. W. (1961): *Industrial Dynamics*. The MIT PRESS, Institute of Technology, Cambridge Massachusetts.
- Forrester, J. W. (1994): «Policies, Decisions, and Information Sources for Modeling», *Modeling for Learning Organizations*, Morecroft, J. D. y Sterman, J. D. editores, System Dynamics Series, pp. 52-84.
- García Rodríguez, R. M. (1997): «La simulación como instrumento de aprendizaje en las organizaciones sanitarias», *Revista Asturiana de Economía*, n.º 8, pp. 65-88.
- García Rodríguez, R. M. (1997): «Aprendizaje de la organización, juegos de empresa y dinámica de sistemas», *Revista Asturiana de Economía*, n.º 10.
- Hannon, B. y Ruth, M. (1994): *Dynamic Modeling*. Springer-Verlag, New York.
- Holmstrom, B. y Milgrom, P. (1994): «The Firm as an Incentive System», *The American Economic Review*, 84, pp. 972-991.
- Lyneis, J. M. (1980): *Corporate Planning and Policy Design: A System Dynamics Approach*, The Massachusetts Institute of Technology.
- Richardson, G. P. y Pugh, A. L. (1981): *Introduction to System Dynamics Modeling with DYNAMO*, The Massachusetts Institute of Technology.
- Vennix, J. A. M. y Gubbels, J. W. (1992): «Knowledge Elicitation in Conceptual Model Building: A Case Study in Modeling a Regional Dutch Health Care System», *European Journal of Operational Research*, 59, pp. 85-101.
- Wolstenholme, E. F. (1992): «The Definition and Application of a Stepwise Approach to Model Conceptualisation and Analysis», *European Journal of Operational Research*, 59, pp. 123-136.

## ABSTRACT

The aim of this paper is to show the applicability of system dynamics within the public health sphere, specifically as it relates to the problem raised by hospital waiting lists. After describing the phases to follow in the elaboration of a simulation model, a basic model that gathers together the main aspects concerning its management is developed. Based on this, and by means of its enlargement, it is possible to simulate the effects of the joint policies that are applied as well as to plan alternative policies, analysing their effects over the long-term.

*Key words:* system dynamics, simulation models, public health sphere, hospital waiting lists.