



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO INDUSTRIAL

Título del proyecto:

DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE UN MODELO DE
SIMULACIÓN PARA EL COMPLEJO ASISTENCIAL MÉDICO
TECNOLÓGICO DE NAVARRA (CAMTNA)

Ainara Garde Blesa

Cristina Azcárate Camio y Fermín Mallor Giménez

Pamplona, 20 de abril de 2011

ÍNDICE

CAPÍTULO 0. INTRODUCCIÓN.....	7
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LA SIMULACIÓN.....	10
1.1 Definición de Simulación.....	10
1.2 Usos de la Simulación.....	12
1.3 Aplicaciones de la Simulación	13
1.4 La Simulación como Proceso Experimental	14
1.5 Simulación en el Ámbito Sanitario	15
CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DEL COMPLEJO ASISTENCIAL MÉDICO TECNOLÓGICO DE NAVARRA..	19
2.1 Situación Geográfica	19
2.2 Organización y Política Interna	20
2.3 Población Objetivo y Dimensionamiento.....	22
2.4 Espacios Físicos	23
2.5 Funcionamiento del Centro	27
2.5.1 Procesos o Vías Clínicas.....	28
2.6 Características de los Pacientes	32
CAPÍTULO 3. MODELO DE SIMULACIÓN DEL CAMTNA.....	39
3.1 Metodología General de un Estudio de Simulación.....	39
3.2 Formulación del Problema y Planificación del Estudio	41
3.3 Datos de Entrada.....	41
3.4 Modelado del Sistema.....	42
3.5 Dimensionamiento Inicial del Modelo	58
3.6 Verificación del Modelo de Simulación.....	65
3.7 Validación del Modelo	65
CAPÍTULO 4. DISEÑO DE EXPERIMENTOS	66
4.1 Análisis Estadísticos de los Resultados de Simulación	66
4.1.1. Propiedades Estadísticas de los Datos de Salida.....	66
4.1.2. Estado Transitorio y Estado Estacionario de un Proceso Estocástico	67
4.1.3. Simulación con o sin Punto de Finalización	67
4.2 Simulación del CAMTNA. Simulación sin Punto de Finalización	68
4.2.1 Simulación sin Punto de Finalización. Cálculo del Periodo de Calentamiento	68



4.2.3 Muestreo Secuencial. Cálculo del Número de Replicaciones	73
4.2.4 Técnica de Reducción de Varianza	74
4.2.5 Parámetros de Ejecución de la Simulación	75
CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	76
5.1 Análisis Estadístico de la Comparativa de Medias entre ambas Alternativas.....	81
CAPÍTULO 6.- LÍNEAS DE TRABAJO FUTURAS.....	84
6.1 Optimización y Reglas de Scheduling.....	84
CAPÍTULO 7. CONCLUSIÓN.....	86
CAPÍTULO 8. APÉNDICE	89
8.1 Cartera de Servicios del CAMTNA	89
8.2 Entorno de Simulación Arena	96
8.3 Uso de Algoritmo Genético	103
8.4 Uso de Programación por Metas	110
CAPÍTULO 9. BIBLIOGRAFÍA.....	116

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1: Metodología de la Construcción de un Modelo de Simulación.</i>	14
<i>Ilustración 2: Ubicación del CAMTNA.</i>	19
<i>Ilustración 3: Esquema Comparativo: Circuito Convencional Vs Alta Resolución.</i>	22
<i>Ilustración 4: Dimensionamiento de Espacios.</i>	24
<i>Ilustración 5: Distribución de las Áreas Funcionales del CAMTNA.</i>	25
<i>Ilustración 6: Representación de la Unidad de Consultas.</i>	26
<i>Ilustración 7: Formato del Modelo Básico del Módulo de Consultas.</i>	26
<i>Ilustración 8: Etapas de un Estudio de Simulación.</i>	40
<i>Ilustración 9: Esquema del Modelo de Simulación del CAMTNA.</i>	43
<i>Ilustración 10: Aspecto del Modelo de Simulación Organizado por Bloques.</i>	44
<i>Ilustración 11: Bloque 1. Generación de Llegadas.</i>	46
<i>Ilustración 12: Bloque 2. Creación de la Bolsa de Pacientes y de la Lista del Día.</i>	47
<i>Ilustración 13: Módulo Decide “no final de cola”.</i>	48
<i>Ilustración 14: Módulo Search “Search in BOLSA”.</i>	48
<i>Ilustración 15: Módulo Remove “Remove de BOLSA”.</i>	49
<i>Ilustración 16: Módulo Delay “Delay ent logica” y Assign “Assign ent inicial siguiente”.</i>	49
<i>Ilustración 17: Modelado de Procesos.</i>	53
<i>Ilustración 18: Secuencias de cada Tipo de Paciente.</i>	53
<i>Ilustración 19: Bloque 3. Salida del Centro y Recogida de Datos.</i>	54
<i>Ilustración 20: Inicializador 1.</i>	55
<i>Ilustración 21: Inicializador 2.</i>	55
<i>Ilustración 22: Vaciado de las Colas al Final del Día.</i>	56
<i>Ilustración 23: Asignación Número Final en Colas.</i>	56
<i>Ilustración 24: Decide “alguien en cola” y Remove.</i>	56
<i>Ilustración 25: Gráfico Excel para la Determinación del Periodo de Calentamiento.</i>	72
<i>Ilustración 26: Programación de la Técnica de Reducción de Varianza en el Tiempo de Ruta.</i>	74
<i>Ilustración 27: Programación de la Técnica de Reducción de Varianza en los Tiempos de Proceso.</i>	75
<i>Ilustración 28: Programación de la Técnica de Reducción de Varianza en el Sorteo de Paciente.</i>	75
<i>Ilustración 29: Módulo Statistic.</i>	76
<i>Ilustración 30: Resultados de la Bolsa. Alternativa 1.</i>	77
<i>Ilustración 31: Datos de la Bolsa. Alternativa 2.</i>	78
<i>Ilustración 32: Número de Pacientes en Bolsa. Alternativa 1.</i>	78
<i>Ilustración 33: Número de Pacientes en Bolsa. Alternativa 2.</i>	79
<i>Ilustración 34: Número de Pacientes sacados del Centro. Alternativa 1.</i>	80
<i>Ilustración 35: Número de Pacientes sacados del Centro. Alternativa 2.</i>	80
<i>Ilustración 36: Comparación de Medias de Datos de la Bolsa.</i>	81
<i>Ilustración 37: Comparación de Medias de Tasas de Utilización.</i>	82
<i>Ilustración 38: Comparación de Medias de Tiempos en Cola por Tipo de Paciente.</i>	83
<i>Ilustración 39: Ventana Principal de Arena.</i>	96
<i>Ilustración 40: Sistema de Aprendizaje Orientado (Algoritmos Genéticos).</i>	104



<i>Ilustración 41: Ejemplo de una regla. (Algoritmos Genéticos).</i>	104
<i>Ilustración 42: Ejemplo de representación interna de los individuos con un solo tipo de recurso. (Algoritmos Genéticos)</i>	106
<i>Ilustración 43: Un Ejemplo de un Modelo Bidimensional. (Algoritmos Genéticos).</i>	108
<i>Ilustración 44: Un Ejemplo de Mutación. (Algoritmos Genéticos).</i>	109

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Clasificación de Procesos del Modelo de Simulación.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 2: Cálculo de la Hora de Citación por Tipo de Paciente.</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 3: Distribuciones de los Tiempos de Proceso.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 4: Número de Consultas en Acto Único (2006, 2010).</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 5: Número de Consultas en Acto Único (2011, 2016).</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 6: Número de Consultas en Acto Único Estimado para 2014.</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 7: Porcentaje de cada Tipo de Paciente y Tasa de Llegada respecto al Total de Llegadas al Centro Médico Real.</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 8: Porcentaje de cada Tipo de Paciente y Tasa de Llegada respecto al Total de Llegadas al Centro Médico del Presente Estudio.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 9: Distribución de los Tiempos de Proceso y Tasas medias de Servicio de Cada Recurso.</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 10: Tasa de Ocupación y Número de Servidores en cada Tecnología.</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 12: Metas y Variables de Desviación. (Programación por Metas).</i>	<i>111</i>
<i>Tabla 13: Variables Programación por Metas.</i>	<i>113</i>

CAPÍTULO 0. INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente proyecto fin de carrera “Desarrollo y validación de un modelo de simulación para el Complejo Asistencial Médico Tecnológico de Navarra (CAMTNA)” es construir un modelo de simulación del nuevo centro hospitalario; dicho modelo deberá reproducir su funcionamiento y proporcionar un dimensionamiento inicial, a partir del cual se podrán evaluar distintas políticas de gestión de la lista de espera, así como ayudar en la toma de decisiones relacionadas con la planificación del uso de los recursos tecnológicos y humanos.

Para la construcción del modelo de simulación en cuestión se ha seguido las etapas generales presentes en todo modelo:

- Formulación del problema y definición de los objetivos del estudio.

El problema tratado en este proyecto es la mala gestión sanitaria que existe hoy día en nuestros centros hospitalarios, fruto de la saturación de los recursos e ineficiencias en la organización de los servicios. El CAMTNA responde a este problema real con un nuevo planteamiento asistencial, basado en la integración asistencial, la innovación tecnológica y la gestión por procesos o vías clínicas.

El objetivo del estudio es la construcción de un modelo base de simulación a partir del cual, se puedan incorporar distintas políticas de gestión de la lista de espera, planificar el uso de los recursos y plantear soluciones a posibles problemas de funcionamiento del centro. Para ello, se proporciona un dimensionamiento inicial que permite evaluar, bajo las condiciones consideradas, el funcionamiento y la gestión del mismo.

- Colecta de datos.

Para la realización del proyecto, se ha contado con la colaboración del equipo médico responsable del Centro, el cual ha proporcionado información clave para la construcción del modelo. Este proceso de información parte por un conocimiento integral del centro y una descripción detallada de los procesos médicos que tendrán lugar en el mismo; en esta etapa la opinión de los expertos fue crucial, ya que gracias a ellos, se concretó la muestra de 8 procesos clínicos a estudiar, escogidos de entre los 80 existentes en la realidad, por su sencillez, estandarización y carácter habitual. El equipo médico proporcionó una descripción detallada de los criterios de prescripción, secuencia dentro del centro de los pacientes citados para cada proceso, tiempos de servicio en cada tecnología y recursos necesarios.

La modelización del proceso de llegadas de pacientes se ha basado en una estimación de la afluencia de pacientes del CAMTNA, es decir, número de consultas en acto único pronosticadas para los primeros años de funcionamiento, clasificadas por tipo de vía clínica. Dicha estimación se fundamentó a partir de datos históricos recogidos en distintos

centros hospitalarios de Navarra y de hipótesis sobre el futuro funcionamiento del Complejo Asistencial Médico.

La participación del grupo de profesionales médicos citados ha sido de gran importancia, ya que la involucración del usuario final en la construcción del modelo está considerada de suma relevancia. Si el usuario final es involucrado en todas las fases y comprende bien la naturaleza del modelo, sus suposiciones y resultados, es más probable que su implementación sea más fácil y presenta mayores posibilidades de éxito (Pritsker, 1995).

Otra de las fuentes de información ha sido la memoria del anteproyecto del CAMTNA, incluida en el Plan Navarra 2012, un Plan que recoge las inversiones para el cuatrienio 2008-2011, aprobado por el Parlamento de Navarra.

➤ Funcionamiento del modelo.

El modelo de simulación se ha programado en Arena, un simulador de alto nivel que utiliza lenguaje Siman.

El modelo de simulación se ha estructurado en 5 bloques:

Bloque 1: Generación de llegada de pacientes. Se simula la generación y categorización de los pacientes derivados al CAMTNA.

Bloque 2: Simulación de la gestión del CAMTNA. Se representa el funcionamiento del Centro, desde la creación de la bolsa de pacientes en espera, criterios de búsqueda y selección de los pacientes a citar, secuenciación por el centro y uso de las tecnologías.

Bloque 3: Recogida de datos de salida. Se recogen las medidas de funcionamiento para el futuro análisis de resultados y toma de decisiones.

Bloque 4: Programación lógica para inicializar contadores y vaciar las colas al final del día. Es un bloque de apoyo al modelo básico de simulación del centro médico, necesario para inicializar variables de funcionamiento, como tiempos y contadores, así como llevar control de los pacientes que quedan en la bolsa de espera.

Bloque 5: Animación gráfica. El programa lógico de simulación se complementa con una animación gráfica que permite observar el flujo de pacientes por el centro, así como dos tablas que muestran información de tiempos en cola y en el sistema de los pacientes, tasas de ocupación de los recursos o número de unidades de recurso en uso.

➤ Verificación y Validación.

La verificación y validación del modelo es uno de los pasos críticos, ya que permiten determinar si el modelo está libre de errores y es válido para dar respuesta al objetivo del estudio.

En el presente proyecto se proponen dos formas de gestionar la bolsa de pacientes en espera. La alternativa 1 propone la salida de los pacientes de la lista de espera sin prioridad alguna en cuanto a tipo de paciente, chequeando que toda su secuencia de tecnologías esté libre; en cambio la alternativa 2, prioriza el uso de las tecnologías con mayor tasa de utilización, para evitar posibles cuellos de botella en ellas.

A la vista de los resultados obtenidos se destaca la ausencia de una alternativa notoriamente mejor que la otra, aunque cabe resaltar una ligera mejora con la alternativa 2, en base a los resultados referentes a la bolsa de espera. Se analizan también la optimización de la utilización de los recursos, donde ambas formas de gestión proporcionan tasas de utilización máximas. Por último, mencionar también que en el análisis de los tiempos medios de espera en el centro ninguna de las alternativas se presenta como superior, ya que con una de ellas se alcanzan tiempos de espera medios menores para el 50% de los tipos de pacientes simulados, y con la otra para la otra mitad de pacientes.

Por último, presentar la estructura del proyecto de forma resumida: el capítulo 1 muestra una introducción a la simulación, con especial hincapié a su aplicación en el ámbito sanitario; en el capítulo 2 se realiza una descripción del Complejo Asistencial Médico Tecnológico de Navarra (CAMTNA), presentando su funcionamiento y características más importantes; el capítulo 3 trata del modelo de simulación, lo explica paso a paso, siguiendo cada una de las etapas presentes en la modelización de un sistema; en el capítulo 4 se presenta el diseño de experimentos; el análisis de resultados y las líneas de trabajo futuras se encuentran en el apartado 5 y 6, respectivamente; el capítulo 7 recoge las conclusiones finales; y por último, los capítulos 8 y 9 recogen los apéndices y la bibliografía, respectivamente.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LA SIMULACIÓN

La Simulación es una técnica usada en el análisis de sistemas complejos y se entiende como una amplia colección de métodos y aplicaciones destinados a reproducir artificialmente el comportamiento de sistemas reales, normalmente mediante el uso de softwares informáticos. De hecho, se ha convertido en un término de carácter extremadamente general, dado el extenso rango de disciplinas, industrias y aplicaciones al que otorga soluciones.

1.1 Definición de Simulación

La historia de la extensa literatura de simulación comenzó con un artículo publicado en 1959 por Conway, Johnson y Maxwell que fueron los primeros en discutir conceptos de metodología en simulación. Un poco más tarde, en 1963, Conway continuó en la vanguardia y publicó un artículo en el cual definía de manera general las técnicas a ser utilizadas en un estudio de simulación. Técnicas que poco después despertaron la atención de profesionales y fueron trabajadas extensamente en un artículo publicado por Naylor y Finger, en el año 1967.

A lo largo de los años los conceptos fueron madurando y actualmente la literatura cuenta con varias definiciones para simulación:

Shannon R.E. (1975) definió la simulación como “el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a término experimentos con él, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias (dentro de los límites impuestos por un cierto criterio o un conjunto de ellos) para el funcionamiento del sistema”.

Knepell, P.L, et al. (1993) definen la simulación como “una tentativa de modelar el mundo real, reduciéndolo a una estructura más simple (modelo), que corresponde a una representación limitada de la realidad y requiere atender los propósitos claramente definidos para el estudio o aplicación”.

Fishwick (2004) afirma que “simular es lo mismo que crear objetos artificiales y papeles para ser representados por ellos, usando los computadores para que eso sea posible. De esa forma el ambiente real es sintetizado, creándose un mundo virtual que va a representarlo”.

Saliendo del aspecto técnico de estas definiciones y centrándose un poco más en el mundo de los negocios, donde la toma de decisiones es un aspecto extremadamente relevante en el día a día de las empresas, la simulación ofrece un mayor confort a los gestores, ya que pueden prever los resultados de las acciones sin comprometer recursos de la institución. En efecto, la simulación permite a las empresas que utilizan la herramienta vivir experiencias competitivas sin precisar comprometer enormes sumas.

En el transcurso de los últimos años, el uso de la simulación ha contribuido muy positivamente a la mejora en el diseño y en la dirección de sistemas. Ante la incapacidad de proporcionar modelos analíticos para determinar soluciones óptimas a problemas del mundo real, aparece la opción de este tipo de herramientas. Hoy en día, gracias a la excelente tecnología proporcionada por los sistemas informáticos y la inmensa investigación en el campo de la Ciencia de la Computación, la simulación se ha consagrado como una de las herramientas más populares y potentes para apoyar los procesos de toma de decisiones.

Inicialmente, la primera alternativa para estudiar el comportamiento del mundo real es a través de la alteración directa de los datos físicos de un determinado sistema, operando sobre nuevas condiciones, dispensando cualquier modelaje específico y trabajando con la realidad. Sin embargo, esta situación no es factible en una gran parte de los casos, dado el nivel de riesgo que existe de desestabilizar el funcionamiento del sistema con la posibilidad de quebrar las reglas de funcionamiento.

De esta manera, es común que se construya un modelo que sea una abstracción de un sistema real y que incluso con las inevitables limitaciones signifique una representación de la realidad a estudiar, conteniendo sus aspectos más relevantes.

En algunos casos esos modelos pueden ser lo suficientemente simples como para ser resueltos por métodos matemáticos que usen ecuaciones diferenciales, teoría de la probabilidad u otros modelos matemáticos. En esta situación, se tiene un modelo analítico cuya solución consiste en uno o más parámetros numéricos.

Sin embargo, la gran mayoría de los sistemas existentes en el mundo real son mucho más complejos y de difícil solución analítica, exigiendo un modelo de simulación que sea una representación de esa realidad a lo largo del tiempo.

Por tanto, después de definir y adoptar un modelo matemático, resta saber si bien éste es lo suficientemente simple para permitir, a través de un procedimiento fácil, una solución analítica exacta, o por el contrario el sistema resulta tan complejo que el modelo a desarrollar se vuelve también extremadamente complejo e inviabiliza ese tipo de respuesta analítica, incentivando así la construcción de un modelo de simulación, que no es más que un ejercicio numérico donde las entradas de valores son cambiadas para ver cómo afectan los resultados, a partir de la comparación de medidas de desempeño establecidas.

Como conclusión, *la simulación es, por tanto, la alternativa de modelaje más utilizada para representar modelos conceptuales*, pues a pesar de que la solución analítica sea preferible, se trata de una solución difícil e inexistente para la mayoría de las situaciones, porque impone altos costos de tiempo y recursos para su utilización. De este modo, incluso siendo una respuesta aproximada para los problemas y representando una imitación de la esencia de las operaciones de los sistemas existentes, a través de una estructura simplificada, los modelos de simulación corresponden la mejor alternativa para la

generación de inferencias sobre el comportamiento de los sistemas estudiados y su representación, en respuesta a variaciones experimentadas en sus variables relevantes.

1.2 Usos de la Simulación

La clave del éxito en un proyecto de simulación radica en diferenciar cuándo la opción de simular es recomendable y cuándo no. El éxito significaría la consecución de los objetivos marcados. Por consiguiente, se debe tener en cuenta que su uso debe aplicarse en los siguientes supuestos:

- No existe una formulación matemática completa del problema, o no se han desarrollado todavía los métodos analíticos para resolver el modelo matemático.
- Existen los métodos analíticos, pero las hipótesis simplificadoras, necesarias para su aplicación, desvirtúan las soluciones obtenidas y su interpretación.
- Los métodos analíticos existen, y en teoría están disponibles, pero los procedimientos numéricos son tan arduos y complejos que la simulación constituye un método más sencillo para obtener la solución.
- Es deseable observar una historia simulada del proceso dentro de un horizonte temporal dado para poder estimar ciertos parámetros.
- La simulación constituye la mejor alternativa por la dificultad de realizar ciertas experiencias en el contexto real.

Sin embargo, también existen limitaciones en la aplicación de la simulación en la resolución de problemas, como son:

- La simulación es costosa en horas de desarrollo y de ordenador.
- Suele ser muy difícil la validación del modelo y de los resultados.
- La recopilación, análisis e interpretación de los resultados suele requerir personal con conocimientos estadísticos.
- La aceptación de los resultados requiere un elevado conocimiento del modelo empleado, por lo que es difícil su aceptación por personas no involucradas en el grupo que ha realizado la simulación.

1.3 Aplicaciones de la Simulación

La simulación puede intervenir en cualquiera de las fases del ciclo de vida del sistema, tanto en la concepción del mismo, como en su diseño preliminar y consiguiente estudio de factibilidad, en el diseño detallado y en la fase de construcción para poder proceder a evaluaciones y asesoramientos, o en la fase de utilización y mantenimiento para poder evaluar escenarios alternativos y encontrar respuestas a preguntas del tipo “que pasaría si”. La simulación puede entrar a formar parte de un estudio de cualquier tipo en cualquiera de las fases de un proyecto industrial: estudio preliminar; Ingeniería Básica; Ingeniería de Detalle; Construcción; Funcionamiento.

Los modelos necesarios para la realización de los experimentos de simulación no se utilizan exclusivamente para predecir el comportamiento de sistemas reales, sino que pueden ser empleados en otro tipo de tareas. Algunas de estas tareas son las siguientes:

- Diagnosis. El modelo se emplea como representación profunda del sistema, sobre el que es posible determinar las causas que generan una desviación respecto a un comportamiento teórico. En este tipo de aplicaciones es donde los modelos funcionales son especialmente importantes, dado que modelan directamente las funciones del sistema.
- Control basado en modelos. El modelo se emplea para determinar las posibles acciones a realizar sobre el sistema que conducirían al mismo a una determinada situación. Los modelos causales son especialmente importantes para ello, dado que representan los mecanismos de propagación de efectos en el sistema modelado.
- Optimización. El modelo se emplea para determinar situaciones del proceso en las que se logra una mejoría del rendimiento.
- Enseñanza. El modelo se utiliza para que una persona estudie el comportamiento del sistema al que modela. Este tipo de sistemas se han empleado en multitud de circunstancias.

En cuanto a las áreas de aplicación, se puede afirmar que son muy amplias, numerosas y diversas; por lo que basta con mencionar sólo algunas de ellas:

- Análisis del impacto ambiental causado por diversas fuentes.
- Análisis y diseño de sistemas de fabricación.
- Análisis y diseño de sistemas de comunicaciones.
- Evaluación del diseño de organismos prestadores de servicios públicos (por ejemplo: hospitales, oficinas de correos, telégrafos, casas de cambio, etc.).

- Análisis de sistemas de transporte terrestre, marítimo o por aire.
- Adiestramiento de operadores (centrales carboeléctricas, termoeléctricas, nucleeléctricas, aviones, etc.).
- Análisis de sistemas de acondicionamiento de aire.
- Planeación para la producción de bienes.
- Evaluación de sistemas tácticos o de defensa militar.

1.4 La Simulación como Proceso Experimental

La simulación de sistemas por ordenador está basada en una generalización del concepto de experimentación del método científico, según el cual en lugar de realizar los experimentos sobre el sistema real, se realizan sobre un modelo dinámico que lo representa, de manera que si el modelo es una representación válida del sistema entonces los resultados de la experimentación con el modelo pueden transferirse al propio sistema.

- Metodología. Plantea la comprensión de un fenómeno o de un problema a través del proceso de construcción de un modelo de simulación por ordenador, que representa el grado de conocimiento que se tiene del sistema en el momento de la construcción del modelo que lo representa.

El modelo se debe entender como un instrumento de investigación sometido a revisión continua para conseguir un refinamiento progresivo en la comprensión del sistema.

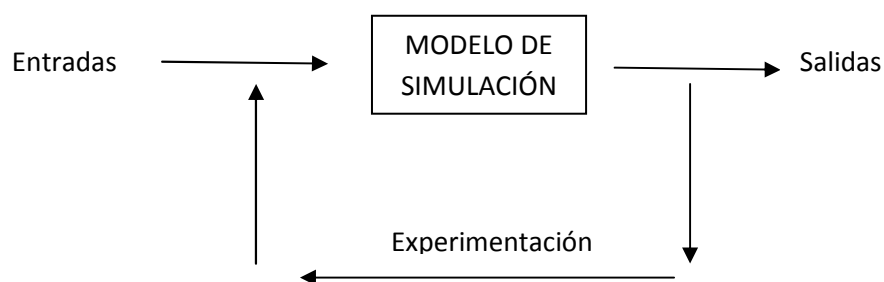


Ilustración 1: Metodología de la Construcción de un Modelo de Simulación.

- Técnica. Puede permitir la correspondencia entre el sistema real y el modelo de simulación que lo representa. La técnica permite que el modelo esté construido a la medida del sistema simulado.

1.5 Simulación en el Ámbito Sanitario

El principal objetivo de todos los profesionales sanitarios es proporcionar una atención de calidad. Para ello, la investigación avanza en los conocimientos médicos, consigue mejores tratamientos de prevención y cura de enfermedades y mejora día a día la tecnología médica. Por otro lado, el sistema sanitario tiene igualmente preocupaciones relacionadas con el aumento del coste del servicio, con la calidad del mismo, la insatisfacción de los pacientes, las largas listas de espera, la falta de personal médico, de espacio, de camas y de otros recursos.

La complejidad del sistema sanitario actual y su alto costo hacen deseable una eficaz y efectiva planificación y gestión de los recursos sanitarios económicos, materiales y humanos, que evite la infrautilización de la capacidad del sistema, la falta de coordinación y que garantice una atención de calidad.

La toma de decisiones médicas requiere en ocasiones la modelización de enfermedades para evaluar diferentes estrategias de prevención, tratamiento y otras intervenciones, para lo cual, las herramientas más utilizadas hasta hace poco han sido los procesos de Markov y los modelos de decisión. Sin embargo, en estos últimos años, se ha extendido el uso de la simulación de eventos discretos para la evaluación de diferentes estrategias de intervención médica, como se refleja en el artículo de Davies et al. (2003). Así por ejemplo, se ha utilizado para la evaluación del coste-efectividad de tratamientos para la osteoporosis en mujeres (Stevenson et al. (2005)), para la prevención de la transmisión madre-hijos del VIH (Rauner et al. (2005)), para evaluar estrategias de prevención de enfermedades coronarias (Babad et al. (2002)), en la prevención y tratamiento de la retinopatía diabética (Harper et al. (2003)), en programas de detección del *Helicobacter pylori* (Davies et al. (2002)), para la detección precoz y el tratamiento del cáncer de colon (Harper y Jones (2005)), entre otros.

Sin embargo, la simulación de eventos discretos ha sido ampliamente utilizada para abordar con éxito otro tipo de problemas, los relacionados con la gestión y operación de sistemas sanitarios, caracterizados por la incertidumbre del entorno de trabajo y la limitación de recursos. Así, desde el primer trabajo publicado sobre el uso de la simulación para modelar servicios en un hospital (Fetter y Thompson (1965)), numerosas publicaciones presentan la utilización de esta herramienta en la resolución de problemas relacionados con la modelización del flujo de pacientes, capacidad de camas, gestión de listas de espera, diseño y dimensionamiento de centros sanitarios, servicios de urgencia, etc. Artículos de revisión y discusión sobre la aplicación de la simulación en la gestión de sistemas sanitarios pueden encontrarse los artículos de Jun et al. (1999), Fone et al. (2003), Eldabi et al. (2007), Brailsford et al. (2009), Taylor et al. (2009), Brailsford y Vissers (2010), Günal y Pidd (2010) y Katsialiaki y Mustafee (2010).

La simulación en el ámbito sanitario tiene numerosas aplicaciones, tanto en el diseño de nuevos servicios como en la reorganización de servicios ya existentes. Así por ejemplo, se

ha empleado para determinar el nivel adecuado de recursos materiales y humanos en centros sanitarios, así como para determinar el uso más eficiente de los recursos existentes. Algunos ejemplos pueden leerse en los siguientes trabajos, relacionados con un centro de salud (Swisher y Jacobson (2002)), un centro médico incluido en una red de centros (Swisher et al. (2001)), un centro de cirugía laparoscópica (Stahl et al. (2004)), un centro de diagnóstico y tratamiento de pacientes con cáncer de colon (Pilgrim et al. (2009)).

La variabilidad de la ocupación de las camas supone otro de los problemas de planificación más frecuentes en Sanidad. Son numerosos los estudios que se ocupan de la planificación de camas: en un hospital de obstetricia con más de 200 camas (Cochran y Bharti (2006)); en la planificación y gestión de camas en un hospital con varios tipos de flujo de pacientes (Harper y Shahani (2002)); en camas de servicios de urgencias (Altinel y Ulas (1996)); en el estudio de periodos con picos de demanda (Vasilakis y El-Darzi (2001)).

Las listas de espera para trasplantes de órganos es otro de los problemas más delicados a los que nos enfrentamos en este ámbito. Se ponen en juego aquí vidas humanas, y una correcta y eficaz planificación puede ser totalmente determinativo. En el trabajo de Ratcliffe et al. (2001), se propone un modelo de simulación para realizar una evaluación del coste-efectividad de nueve políticas de gestión de la lista de espera de un centro de trasplantes de hígado, considerando, entre otros factores, la gravedad clínica, el tiempo en lista de espera, edad, grupo sanguíneo y la estimación de la supervivencia. Schaefer et al. (2005) realizan otro estudio relacionado con este tipo de trasplantes.

El presente proyecto se centra en problemas de citación y gestión de listas de espera. Los estudios de problemas de citación centran su atención en encontrar el equilibrio óptimo entre la capacidad del servicio (y con ello su coste), y el tiempo de espera de los pacientes. Por otra parte, las listas de espera son la principal causa de insatisfacción entre los usuarios de los servicios sanitarios, siendo el aspecto sanitario peor valorado por los españoles. Igualmente, un problema que preocupa a los gestores de los servicios sanitarios es la percepción de muchos pacientes de una espera excesiva para ciertas intervenciones quirúrgicas o para la consulta con algún especialista. Algunos estudios abordan este problema mediante la construcción de un modelo de simulación como soporte de apoyo para la gestión de las listas de espera. El modelo de simulación sirve de apoyo en las decisiones tácticas del día a día para la gestión de la lista y para la asignación de pacientes a los hospitales; permite identificar ineficiencias o cuellos de botellas en el sistema y permite evaluar la efectividad de políticas alternativas y de posibles redistribuciones de los recursos disponibles. Estos modelos de simulación suelen programarse en simuladores de alto nivel, que disponen de animaciones gráficas que facilitan la participación y el intercambio de ideas entre los expertos sanitarios y quienes construyen el modelo de simulación. Haciendo referencia a trabajos de expertos, encontramos el de Everett (2002), que propone un sistema de ayuda en la toma de decisiones tácticas y operativas para la planificación del flujo de pacientes en lista de espera para operaciones quirúrgicas en una red de hospitales públicos, permitiendo además el estudio de diferentes formas de utilizar

los recursos existentes o adicionales. En el trabajo de Vissers et al. (2007) se utiliza un modelo de simulación para comparar diferentes sistemas de admisión en un hospital y en el de Cayirli et al. (2006) para analizar el efecto de la clasificación de los pacientes en la planificación de las citas para atención ambulatoria. Otros estudios interesantes sobre este problema pueden consultarse en los artículos de Aharonson-Daniel et al. (1996), Rohleder y Klasseb (2002), Asthon et al (2005), VanBerkel y Blake (2007) y Santibáñez et al. (2009).

Otro tipo de problemas dentro del contexto sanitario que la simulación aborda son los relacionados con: unidades móviles de la Cruz Roja para donación de sangre (Brennan et al. (1992)); la gestión del inventario y cadena de suministro para transfusiones de sangre Katsaliaki y Brailsford (2007); el sistema de ascensores de un hospital (Chu et al. (2003)); la localización geográfica de centros de salud (Harper et al. (2005)); la modelización de la respuesta del sistema de salud público frente a ataques de bioterrorismo (Hupert et al. (2002)), o un servicio de mensajería entre los diferentes servicios de un hospital mediante una flota de robots (Rossetti et al. (2000)).

En el contexto médico-sanitario, la simulación aparece en numerosas ocasiones de la mano de técnicas de optimización; son técnicas que proporcionan una batería de algoritmos matemáticos exactos y de tipo heurístico, que permiten encontrar, entre los diferentes escenarios factibles, la configuración del sistema que optimice una determinada medida de funcionamiento. Estas técnicas permiten también resolver situaciones reales en las que existen varios criterios que miden la bondad del funcionamiento del sistema bajo estudio, estando, a menudo, en contradicción. Así, por ejemplo, en un sistema sanitario pueden estar en conflicto criterios de tipo económico y criterios relacionados con la calidad de atención al paciente.

Sin embargo, aunque las técnicas de optimización han sido utilizadas para resolver muchos problemas en el contexto médico-sanitario (ver, por ejemplo, Beaulieu et al. (2000), Blake y Crater (2002), Cheang et al. (2003), Gutjahr y Rauner (2007), Petrovski y McCall (2001) y Cardoen et al. (2010), entre muchos otros), muy pocos son los artículos que integran optimización con simulación. En el artículo de Oddoye et al. (2009), los autores proponen un modelo que combina simulación con programación por metas para resolver un problema de planificación en un centro médico. En el artículo de De Angelis et al. (2003) se presenta una metodología que combina un modelo de simulación con programación no lineal y con redes neuronales para determinar la configuración óptima de un centro de transfusión de sangre. La combinación de simulación y optimización se ha utilizado también en la planificación de quirófanos con el fin de mejorar su eficiencia y de reducir las listas de espera (Testi et al. (2007)); en la resolución de un problema de dimensionamiento en un hospital (Azcárate et al. (2008)); para determinar el número óptimo de médicos, enfermeras y personal técnico en un centro de urgencia (Ahmed y Alkhamis (2009)); para el estudio económico de las listas de pacientes en espera de una operación quirúrgica (Persson y Persson (2009)) y para la mejora de los servicios sanitarios, valorando la satisfacción de los pacientes (Gonsalves e Itoh (2009)). El

problema de la elección de la mejor estrategia para la detección de la retinopatía diabética se estudia en Brailsford et al. (2007), donde los autores proponen por primera vez la integración de un modelo de simulación en técnicas de optimización con colonias de hormigas.

Conferencias de Simulación Médica

La diseminación de información sobre simulación empezó a darse en conferencias en torno a los años 1988 y 1989. El uso de la simulación creció durante la siguiente década, suficientemente como para dar lugar a la aparición de la necesidad de discutir sobre las técnicas, intercambiar opiniones, estudiar métodos e investigar sobre el mundo de la simulación en el entorno sanitario. *Medicine Meets Virtual Reality* es una conferencia independiente centrada en realidad virtual y simulación metódica. Este grupo se reunió por primera vez en 1991. *The Society in Europe for Simulation Applied to Medicine (SESAM)* fue establecida en 1993; sus reuniones fueron bianuales desde 1994 hasta 1998, y a partir de este año, la SESAM comenzó a reunirse anualmente.

La primera Reunión Internacional sobre Simulación Médica tuvo lugar en 2001. *Society for Simulation in Healthcare* se fundó como una entidad independiente en 2004, teniendo su primera reunión oficial en enero de 2006.

En cuanto a un terreno más general, cabe resaltar la importancia de la *Winter Simulation Conference*, una fundación formada en 1967, y estableciéndose como la entidad internacional de más relevancia sobre simulación de eventos discretos. La WSC proporciona una oportunidad anual para practicantes de la simulación, investigadores y expertos de todas las disciplinas, desde industria, gubernamental, militar, médica, como académica.

Casi de la mano con la anterior, en 1975 se formó la organización europea de investigación operativa ORAHS (Operational Research Applied to Health Services), dedicada a la aplicación del análisis cuantitativo y sistemático en la planificación y toma de decisiones en el sector sanitario. Los trabajos del grupo abarcan temas como modelaje de simulación, programación matemática, análisis de decisiones, análisis de coste de efectividad, indicadores de desarrollo, y métodos de hipótesis, monitorización y evaluación. El grupo tiene actualmente 112 miembros de 22 países diferentes, la mayoría europeos, a excepción de 17.

CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DEL COMPLEJO ASISTENCIAL MÉDICO TECNOLÓGICO DE NAVARRA

El objetivo del presente proyecto es construir un modelo de simulación que reproduzca correctamente el funcionamiento del nuevo centro sanitario navarro, CAMTNA, y que proporcione un dimensionamiento inicial. El marco estratégico donde se sitúa esta infraestructura es el Plan de Salud de Navarra 2006-2012 aprobado por el Parlamento de Navarra.

Para ello, en primer lugar se describe las características más relevantes del sistema real, así como su funcionamiento general. La información ha sido obtenida tanto de la memoria del anteproyecto del CAMTNA, como del equipo médico responsable del centro.

2.1 Situación Geográfica

El CAMTNA se emplazará en un área geográfica situada en una isócrona en torno a 10-15 minutos de distancia del entorno hospitalario de Pamplona, en una de las zonas de mayor potencial de desarrollo residencial y terciario de la Comarca de Pamplona. También se situará cercano a universidades y centros de investigación de la zona. Con comunicaciones excelentes, permitirá el acceso a sus servicios desde cualquier lugar de Navarra.



CENTRO HOSPITALARIO

- 1 Nuevo centro asistencial
- 2 Clínica Universitaria
- 3 Hospital Virgen del Camino
- 4 Hospital de Navarra

UNIVERSIDAD O CENTRO DE INVESTIGACIÓN

- 5 Universidad Pública de Navarra
- 6 Universidad de Navarra
- 7 CIMA

Ilustración 2: Ubicación del CAMTNA.

El CAMTNA se estima estará integrado por varios edificios de uso exclusivamente asistencial, que albergarán en total alrededor de 25.000 m² construidos. La zona prevista para su construcción está libre de edificaciones de todo tipo. La construcción a realizar, tiene por tanto, el carácter de nueva edificación.

2.2 Organización y Política Interna

El Complejo Asistencial Médico Tecnológico de Navarra (CAMTNA) es un proyecto global desarrollado por el Servicio Navarro de Salud – Osasunbidea. Comprenderá dos espacios:

- **Centro de Alta Resolución (CARE)**, donde se va a desarrollar la actividad asistencial.
- **Centro Tecnológico**, que aportará las tecnologías sanitarias (laboratorio y medios de diagnóstico por imagen), de apoyo al diagnóstico.

El **Centro de Procesos en Alta Resolución** es un espacio especializado cuya función es atender una cartera de servicios enunciada por proceso que incluye fundamentalmente actividades referidas a consultas externas, exploraciones especiales y cirugía ambulatoria, siempre sin internamiento. Sus características esenciales son la *atención especializada por proceso, a los pacientes, en acto único y con alta resolución*. Su función principal será resolver determinados procesos sanitarios (los que se encuentren en su cartera de servicios), de forma que el paciente acuda al centro por un determinado proceso (enviado por su médico de Atención Primaria, urgencias o especialista correspondiente) y se le realicen secuencialmente todas las pruebas y consultas necesarias para, nuevamente por ejemplo, llegar al diagnóstico, o realizar el tratamiento de que se trate.

El **Centro Tecnológico** está orientado a la resolución de los procesos y tiene como misión principal proveer la tecnología o servicios médica/os adecuada (pruebas diagnósticas de imagen y laboratorio, principalmente) al Centro de Procesos en Alta Resolución, para que pueda llevarse a cabo la atención en acto único y con alta resolución. Tendrá además otras funciones complementarias, que tendrán que ver con la aportación de su tecnología (por actividad) al resto de la oferta sanitaria de Navarra, para complementarla y ampliarla.

➤ *Nuevo Enfoque en Gestión Sanitaria*

El proceso de *descentralización y subespecialización* que ha acompañado al desarrollo del sistema sanitario en las últimas décadas no se ha visto acompañado de una mejora de la capacidad organizativa, con la consiguiente saturación y algunas ineficiencias.

En Atención Especializada, los centros periféricos de especialidades y las consultas externas de los hospitales tienen algunos problemas de accesibilidad, calidad y satisfacción, casi siempre relacionados con dificultades para gestionar la eficacia clínica y la variabilidad de la actuación profesional sanitaria dentro de los equipos. En un sistema y organización complejos -como son los servicios sanitarios- eficacia, eficiencia y

satisfacción están muy relacionadas con mecanismos de integración y dispositivos de coordinación interna.

Es crítico en los nuevos planteamientos asistenciales considerar elementos relacionados con la práctica clínica basada en la evidencia científica, la personalización de la asistencia y la satisfacción de los usuarios y consumidores.

La innovación mediante la creación de Centros de alta resolución, coincide con este nuevo enfoque que pretende integrar algunos recursos (humanos y tecnológicos) generados por el sistema sanitario para centrar la organización sanitaria en las expectativas del ciudadano.

Este nuevo enfoque basado en la *integración asistencial* supondrá un ahorro económico al conjunto del sistema y un mayor grado de satisfacción y comodidad para el paciente, asegurando y manteniendo la continuidad y la calidad asistenciales.

➤ **Gestión por Procesos y Alta Resolución**

La organización del centro se fundamenta en un sistema de gestión orientado a los procesos, lo que determina una visión horizontal de la organización mediante el análisis de los flujos de trabajo que intervienen en el desarrollo de los diferentes procesos, intentando en todo momento añadir valor a esta cadena de acciones con el fin de provocar una mejora de los resultados.

La gestión por procesos propone organizaciones menos complejas y más planas desde la perspectiva de la estructura jerárquica; en las que se torna necesaria una mayor coordinación en las actuaciones y una cultura de mejora continua claramente establecida y cuyos elementos claves son la cooperación y la orientación al cliente.

Un **proceso** comprende un conjunto predefinido de actividades sucesivas realizadas por profesionales no sanitarios o sanitarios de diferentes niveles asistenciales cuyo objetivo es resolver un problema de salud de un paciente.

Las consultas ambulatorias de especialidad deben adaptarse a las nuevas demandas de los pacientes y la sociedad, con esperas lo más reducidas posibles y una atención de calidad. Esta estrategia pasa por adaptar una estructura y funcionalidad y sus áreas tecnológicas de apoyo diagnóstico: analítica, radiología convencional, ecografía, ergometría y endoscopias, entre otras.

Igualmente es indispensable contar con una planificación y reorganización del trabajo facilitada desde la dirección, así como la implicación de todos los profesionales, de modo que el paciente no sólo sea atendido de forma precoz al ser derivado de atención primaria, sino que se beneficie de las pruebas complementarias precisas en ese mismo día.

El concepto **alta resolución** concentra en una única visita al especialista, diagnóstico y tratamiento. La aplicación de esta estrategia de gestión elimina los procesos sin valor añadido y personaliza la atención, situando efectivamente al ciudadano en el centro del sistema.

A continuación se muestra un gráfico en el que se representa de forma esquemática la comparativa entre el sistema de atención sanitaria convencional y el de procesos:

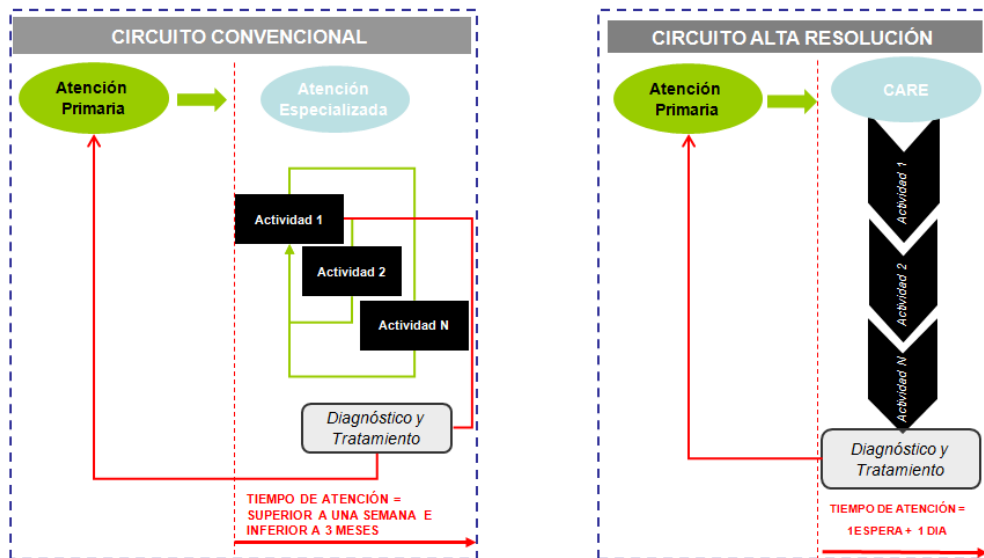


Ilustración 3: Esquema Comparativo: Circuito Convencional Vs Alta Resolución.

2.3 Población Objetivo y Dimensionamiento

De cara a la planificación y diseño del Complejo Asistencial, resulta de carácter relevante el estudio del segmento de población potencial a ser citados a dicho Centro. Para ello, los expertos responsables del proyecto se encuentran en la actualidad consensuando determinados criterios de prescripción o derivación al Centro; de tal manera que dependiendo de determinados signos de alerta y una serie de requisitos concretos, los pacientes serán o no derivados al CAMTNA desde Atención Primaria, Urgencias o Atención Especializada.

El Centro no pretende acercar la atención especializada a una población determinada, sino que su función es atender una casuística concreta de atención especializada expresada en procesos: por lo tanto su función es *segmentar* la atención especializada, dotándola de un centro orientado a la resolución de los procesos incluidos en su cartera de servicios.

De esta manera, se definen un amplio grupo de procesos clínicos incluidos en la Cartera de Servicios del Complejo, en los que los pacientes prescritos al CAMTNA estarán clasificados. Se hace necesario así, la completa definición y explicitación de los modelos de procesos o vías clínicas, así como los procedimientos de inclusión, siguiendo una metodología de consenso (Comité o Comisión de coordinación). Entre los criterios para la

elección de los procesos clínicos concretos se ha tenido en cuenta su prevalencia (procesos frecuentes), su impacto social y la aportación de valor añadido a los pacientes, su grado de complejidad (no excesivamente complejos) y su capacidad de resolución en acto único. Representan un alto porcentaje de la actividad total de las consultas en el ámbito de atención, en torno a un 70-80%. La tarea de sistematización de procesos se ha basado en guías de práctica clínica o vías clínicas contrastadas y de suficiente calidad (National Guideline Clearinghouse).

El sector de salud afectado se corresponde, en Navarra por tanto, con el de la Atención Especializada, pero tiene potentes interrelaciones con la Atención Primaria. En definitiva, afecta por tanto, a todo el sistema sanitario público navarro.

Se espera puedan realizarse –en pleno funcionamiento– alrededor de 2.000 actividades/día (consultas, pruebas, etc.) para una atención en el entorno de los 500 pacientes/día, (por proceso, en acto único y con alta resolución) en horario de unas 16 horas día. Se ha estimado que, aproximadamente, 150.000 navarros serán atendidos anualmente en el centro; la satisfacción del paciente se incrementará debido a la atención rápida y efectiva que le proporcionará un rápido retorno a su vida normal.

Para el correcto dimensionamiento del centro, se ha llevado a cabo un análisis exhaustivo de la oferta y la demanda en el ámbito sanitario, en relación especialmente con la previsión de procesos a atender. Además, se ha profundizado en la definición de tecnologías médicas y de diagnóstico adecuadas, en función de los escenarios previstos; la utilización de sistemas alternativos a la práctica asistencial convencional y la modelización de la organización de áreas y recursos orientadas a los objetivos del centro, tanto en lo que tiene que ver con la práctica asistencial como la complementaria no sanitaria.

2.4 Espacios Físicos

Su concepción funcional y arquitectónica tiene que responder al modelo de atención descrito anteriormente.

Todas las áreas del Complejo, en especial las referidas a la asistencia sanitaria, serán construidas para un uso intensivo humano y de alta rotación. Los pacientes y trabajadores que accedan al Centro, deben encontrarse en un ambiente físico amable, ergonómico y funcional. Aún en momentos de máxima ocupación se debe dar la impresión de “edificio poco ocupado”, evitando las aglomeraciones.

La estructura interna de los espacios debe contener cierto grado de flexibilidad, permitiendo la movilidad de tabiques y otros elementos, en cierto grado.

Este nuevo modelo de atención planteado requiere un flujo y circulación de pacientes diferente a los que se producen en centros tradicionales. Aquí el paciente y sus acompañantes que vienen por proceso llegan al Complejo asistencial donde se le realizan

varias actividades en un lapso de horas y abandona el centro al finalizar las mismas. Para las largas esperas y la circulación de pacientes por las consultas, se requiere espacios orientados al confort: espacios amplios, luminosos, salas de espera apropiadas y la posibilidad de acceder a unas zonas exteriores ajardinadas y agradables, donde la espera sea más confortable.

Las salas de espera en relación a las consultas deberán ser de pequeño tamaño favoreciendo la intimidad de las personas que esperan. Otras áreas comunes deben permitir esperas para las actividades intraproceso: esa espera debe realizarse hasta la “llamada” personal en áreas comunes adecuadas (salas de lectura, TV, cafetería y otros).

Se ha realizado una estimación de las previsiones de carga asistencial y su evolución teniendo en cuenta diferentes escenarios previsibles, en especial el relativo a la oferta de servicios. Se ha desarrollado el dimensionado del centro de manera básica: unidades diagnósticas, bloque quirúrgico, áreas de servicios gabinetes de exploración...

A partir de todo lo anterior se ha elaborado un plan funcional: relación funcional entre áreas y/o unidades, niveles de dicha relación, detalles de áreas, instalaciones y equipamientos, todo lo necesario para obtener un programa funcional que permita abordar con garantías el proyecto arquitectónico.

Así, el centro constará de 13.064 m² funcionales distribuidos como sigue:

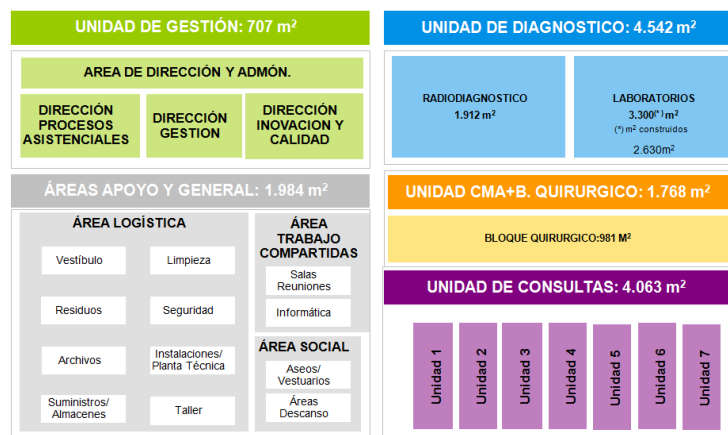


Ilustración 4: Dimensionamiento de Espacios.

Las distintas áreas funcionales del CAMTNA son las siguientes:

- Área Asistencial. (Centro Alta Resolución Ambulatoria).
- Área de Diagnóstico. (Centro Tecnológico).
- Área de Gestión y Administración.
- Área de Servicios Generales y de Apoyo.

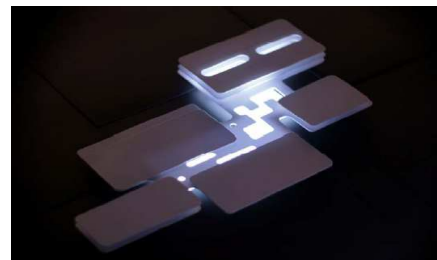
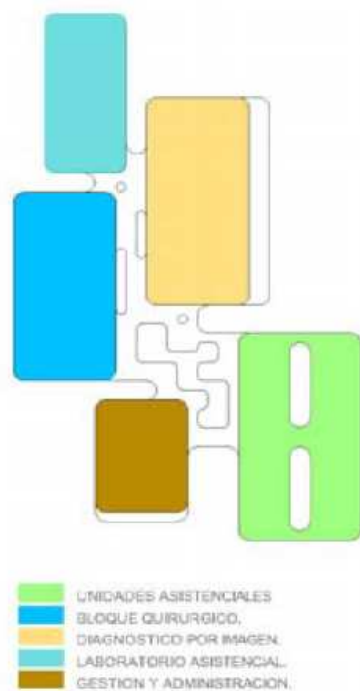


Ilustración 5: Distribución de las Áreas Funcionales del CAMTNA.

Más concretamente, los pacientes seguirán una ruta por distintas tecnologías distribuidas en una serie de unidades dentro del Área Asistencial. Estas unidades son:

- Unidad 1. Traumatología, reumatología y rehabilitación.
- Unidad 2. Cardiología, cirugía vascular y torácica.
- Unidad 3. Cirugía general, urología, ginecología, dermatología y cirugía plástica.
- Unidad 4. Digestivo, neumología y hematología.
- Unidad 5. Oftalmología, otorrinolaringología y cirugía maxilofacial.
- Unidad 6. Endocrinología, alergología, neurología y medicina interna.

- Unidad 7. Psicología y pediatría.
- Unidad 8. Quirófano.
- Unidad 9. Diagnóstico por imagen.
- Unidad 10. Laboratorio.
- Unidad 11. Laboratorio salud pública.

Las distintas unidades están constituidas por distinto número de módulos:

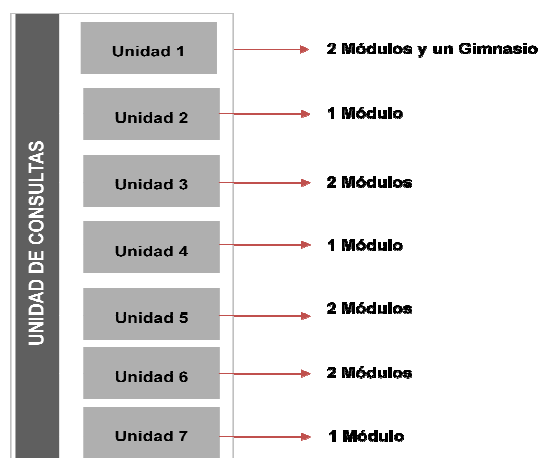


Ilustración 6: Representación de la Unidad de Consultas.

Cada módulo presenta el siguiente formato:

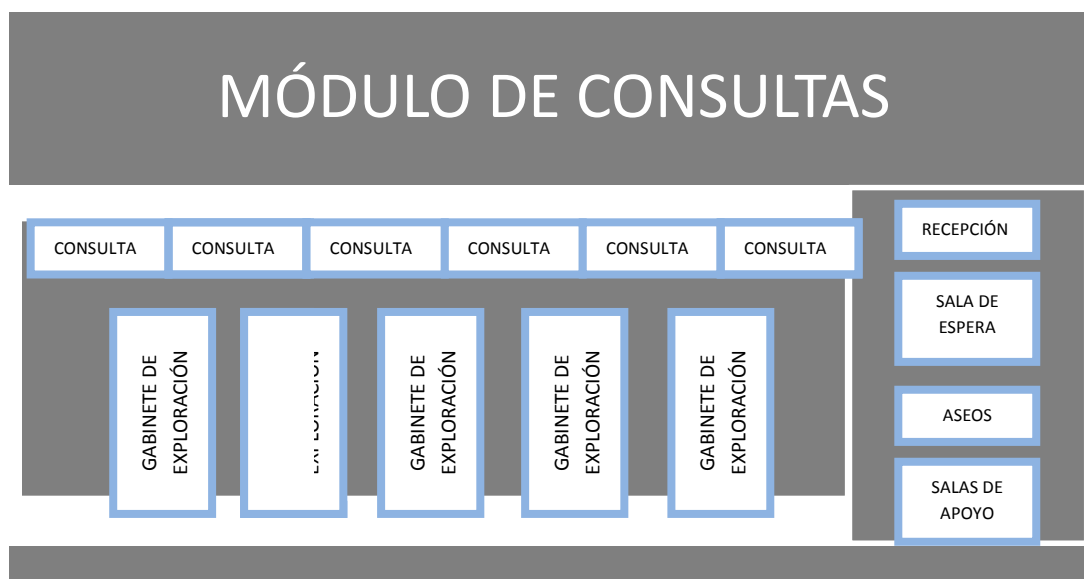


Ilustración 7: Formato del Modelo Básico del Módulo de Consultas.

2.5 Funcionamiento del Centro

El proceso clínico general comienza cuando el paciente recibe la información sanitaria correspondiente desde Atención Primaria u otras áreas sanitarias. Esta información puede ser de dos tipos:

- *Información sanitaria convencional*, es la información asociada a la citación. Se le informa sobre las características del CAMTNA, su funcionamiento y las tecnologías y expertos que le tratarán; además se le da las indicaciones oportunas para que vaya al Complejo en el momento de su citación.
- *Información sanitaria adicional*, se da cuando se requiere un paso adicional previo al proceso clínico llevado a cabo en el CAMTNA: instrucciones para la preparación de una determinada prueba (colonoscopia, por ejemplo).

El paciente es citado a un determinado proceso, a realizar dentro del CAMTNA, no a la agenda del especialista; la gestión de los pacientes se basa en la *resolución* de determinados procesos sanitarios en un acto único y con alta resolución. Cada proceso queda estandarizado de forma que quedan determinados los criterios de prescripción, el conjunto de actividades o subprocesos que lo conforman, la necesidad de equipos médicos o enfermería en cada fase, así como tiempos de servicio de cada una de las partes. Para ello, han sido definidos y explicitados una serie de criterios y procedimientos de inclusión, siguiendo una metodología de consenso (Comité o Comisión de coordinación).

La recepción es única (los pacientes se dirigen siempre al mismo punto de atención) y la atención personalizada (al paciente le atiende su gestor de caso). El *gestor de caso* responde al aspecto innovador del centro; se trata de una nueva figura, una persona que orienta al paciente a lo largo del proceso asistencial; le informa cuando llega de sus actividades y el orden en que se van a producir, le informa del resto de aspectos relevantes de orden sanitario o no sanitario, le avisa de cuando tiene que ir a la siguiente actividad, le acompaña si es necesario, etc. Todo esto lo realizará con ayuda de tecnologías diversas y de personal adecuado.

El gestor de caso se trata del máximo exponente de la personalización y atención individualizada, configurándose como el referente personal del paciente. Además de contactar con el paciente, asumir la coordinación asistencial y la respuesta ante desviaciones e incidentes, su función nuclear deberá ser la gestión de las salidas del proceso y la transferencia de cuidados hacia otros ámbitos asistenciales, así como el inicio y la puesta en marcha de los vínculos necesarios y mecanismos de continuidad con otros servicios asistenciales.

2.5.1 Procesos o Vías Clínicas

En cuanto a los modelos de procesos o vías clínicas que serán derivados al CAMTNA, es preciso mencionar que el equipo médico responsable se encuentra en fase de consenso, dando prioridad a los procesos más sencillos y más habituales, que respondan a los siguientes criterios:

- 1- Alta prevalencia.
- 2- Interés para el paciente.
- 3- Interés médico.
- 4- Grado de ambulatoriedad.
- 5- Capacidad de mejora.

El apéndice 8.1 recoge la cartera de servicios del CAMTNA, clasificando los procesos por áreas clínicas. Dicha información ha sido proporcionada por el equipo médico a cargo de la gestión del Complejo Asistencial.

El presente proyecto se centra en una parte de la totalidad de esta amplia gama de vías clínicas. Así, a continuación se describen los procesos escogidos para el estudio en el modelo de simulación de este proyecto. Los motivos de la elección de dichos procesos estándares han sido, en grandes rasgos, por su simplicidad y la por disponibilidad de información acerca de tiempos y servicios de los mismos. Sin embargo, es necesario indicar que se trata de una extensa simplificación de la realidad: en el sistema real existirán alrededor de 80 modelos de procesos (todavía por determinar), clasificados en los siguientes grupos:

- Preventivos (por ejemplo, screening de colón).
- Diagnósticos.
- Terapéuticos (quirúrgicos o no).
- De revisión de procesos (crónicos, estables o reagudizados).

Desde el punto de vista diagnóstico, los procesos se pueden conceptualizar como un conjunto sindrómico abierto o un abanico orientado de posibles diagnósticos diferenciales o de sospecha que requieran para su esclarecimiento o confirmación un mayor nivel de conocimientos o recursos tecnológicos.

➤ Estructura de los Procesos dentro del CAMTNA

Los procesos presentarán mayoritariamente alguna de las siguientes estructuras:

- *Tecnologías + Consulta*

T1, T2, T3,, Tn, C1

Es el tipo más común de vía clínica. El paciente llega al Centro y es examinado en una serie de tecnologías, dependiendo de la dolencia. El recorrido por el CAMTNA finaliza en la consulta del especialista, donde recibirá el diagnóstico o las pautas para un proceso posterior.

- *Consulta inicial + Tecnologías + Consulta final*

C1, T1, T2, T3,, Tn, C2

En este caso, se precisa de una consulta inicial, pudiendo ser llevada a cabo por cualquier especialista sanitario (enfermero/a o doctor). La consulta final se trata del especialista correspondiente al ámbito de su enfermedad.

- *Tecnologías + Consulta + Tecnología*

T1, T2, T3,, Tn, C1, Tn+1

En diversas ocasiones, desde la consulta del especialista se prescribirá una prueba adicional necesaria para la correcta finalización del proceso, y obtención del diagnóstico. Según ha sido comentado por el equipo médico, este es un caso muy habitual en Dermatología; se emite un informe provisional y se precisa de un nuevo acto para la consecución del diagnóstico; el paciente abandona el Centro y queda pendiente de una prueba adicional (biopsia, prueba de alergias, etc) para cerrar su informe.

- *Tecnologías + Consulta + Consulta*

T1, T2, T3,, Tn, C1, C2

- *Procesos Tecnológicos*

En este tipo de proceso, la entidad dinámica es la información, no el paciente. No es preciso que el paciente llegue al Centro; se envía una determinada prueba a los especialistas del CAMTNA (foto de una lesión, resultados de exámenes, etc.), y desde este punto, se dictamina si el paciente debe ser citado para un determinado proceso en el Complejo Tecnológico o por el contrario debe seguir la vía clínica convencional desde su consulta de Atención Primaria.

➤ Salidas de los Procesos

La última etapa en los diferentes procesos clínicos desarrollados en el CAMTNA pueden ser de distintos tipos:

- *Diagnóstico: Indicación quirúrgica.* Tras el examen clínico, la indicación del especialista es la cirugía. El paciente es incorporado de esta manera, a una nueva lista, en este caso, una lista quirúrgica.
- *Diagnóstico: Tratamiento médico (AT).* El paciente debe dirigirse a su médico de Atención Primaria para llevar a cabo un tratamiento de su enfermedad. De esta manera, sale del CAMTNA con un diagnóstico concreto y las indicaciones del tratamiento a seguir.
- *Diagnóstico: Tratamiento R.H.*
- *Diagnóstico: Revisión futura.* El diagnóstico precisa un proceso de revisión en un plazo determinado. El paciente es citado para un determinado momento, de tal forma, que es incorporado nuevamente a una lista de citación.
- *Diagnóstico: Nueva prescripción a criterio M.F.*
- *Otros.* Pedir una prueba (consulta adicional); enviar a otro proceso; enviar a consulta; derivar a hospital.

➤ Procesos incluidos en el Modelo de Simulación

A continuación se recoge un esquema de los diferentes tipos de procesos estudiados en el modelo de simulación del presente proyecto. Como se ha comentado anteriormente, estos procesos han sido escogidos de entre los 80 existentes en el centro real, dado su sencillez, frecuencia y estandarización.

PROCESO	Unidad	ACTIVIDADES
P1. CERVICALGIA	1	Rayos X-TAC-RMN-Consulta
P2. LUMBALGIA	1	RayosX-RMN-Consulta
P3. HEMATURIA MACROSCÓPICA	3	Citos/Uretoscopia-UIV-TAC-Consulta
P4. HEMATURIA MICROSCÓPICA	3	Citos/Uretoscopia-UIV-TAC-Consulta
P5. ITU (INFECCIÓN DEL TRACTO URINARIO)	3	Análisis-RayosX-Ecografía-UIV-Consulta
P6. UROLITIASIS – CÓLICO RENAL	3	Análisis-RayosX-Ecografía-UIV-Consulta
P7. CARCINOMA DE PULMÓN	4	TAC-Broncoscopia-PET-Consulta
P8. BOCIO NODULAR	6	Consulta-Análisis-Ecografía-PAAF-Consulta

Tabla 1: Clasificación de Procesos del Modelo de Simulación.

2.6 Características de los Pacientes

A continuación se presentan las características principales de los 8 tipos de paciente incluidos en el modelo de simulación:

➤ *Pacientes tipo 1*

- Proceso: Cervicalgia.
- Unidad: 1- Traumatología, reumatología y rehabilitación.
- Prescriptores: Médico de ATP, especializada y urgencias.
- Criterios de prescripción:

Signos de alerta (“red flags”):

- 1- Traumatismo severo (o leve en pacientes osteoporóticos).
 - 2- Antecedente de neoplasia.
 - 3- Administración mayor de 3 meses al año de corticoides VO.
 - 4- Inmunodeficiencias.
 - 5- HIV.
 - 6- Síndrome tóxico constitucional: astenia, anorexia, pérdida de peso.
 - 7- Dolor de características inflamatorias.
 - 8- Signos sugestivos de mielopatía: trastornos de la marcha, torpeza o debilidad en las manos, signo de Lhermite.
 - 9- Signos deficitarios en la exploración neurológica: déficit motor significativo o progresivo (BM inferior a 4/5), alteraciones esfínterianas etc.
 - 10- Edad menor de 20 años o mayor de 55.
- Información sanitaria: la convencional.
 - Proceso: TAC – Rayos X – Resonancia magnética – Consulta
 - Salidas: Consulta médico de atención primaria, rehabilitación, otros (indicación quirúrgica).

➤ ***Pacientes tipo 2***

- Proceso: Lumbalgia.
- Unidad: 1- Traumatología, reumatología y rehabilitación.
- Prescriptores: Médico de ATP, especializada y urgencias.
- Criterios de prescripción:
 - 1- Dolor de ritmo inflamatorio.
 - 2- Síntomas constitucionales: malestar general, pérdida de peso, fiebre.
 - 3- Antecedentes de cáncer, virus de la inmunodeficiencia humana o inmunodeficiencias.
 - 4- Uso de corticoides o drogas por vía parenteral.
 - 5- Déficit neurológico significativo en una extremidad inferior.
 - 6- Imposibilidad persistente de flexionar la columna más de 5°.
 - 7- Deformación estructural de aparición reciente.
 - 8- Dolor torácico acompañante.
 - 9- Dolor de predominio nocturno.
 - 10- Traumatismo previo: posible fractura o aplastamiento vertebral.
 - 11- Paresia relevante, progresiva o bilateral.
 - 12- Pérdida de control de esfínteres de origen neurológico.
 - 13- Anestesia "en silla de montar" (posible síndrome de cola de caballo).
 - 14- Dolor intenso refractario y paresia progresiva o clínicamente relevante tras 6 semanas de tratamiento no quirúrgico adecuado.
 - 15- Sospecha de claudicación intermitente no vascular.
 - 16- Persistencia de la sintomatología con tratamiento conservador más de 6 meses y evidencia de estenosis del canal.
 - 17- Lumbalgia/ciática de evolución recurrente e invalidante.

- Información sanitaria: la convencional.
- Proceso: Rayos X – Resonancia magnética – Consulta
- Salidas: Consulta médico de atención primaria, rehabilitación, otros (indicación quirúrgica).

➤ *Pacientes tipo 3*

- Proceso: Hematuria macroscópica.
- Unidad: 3- Cirugía general, urología, ginecología, dermatología y cirugía plástica.
- Prescriptores: Médico de ATP, especializada y urgencias.
- Criterios de prescripción:

Sospecha o datos de:

- 1- Traumatismo renal.
 - 2- Infarto renal.
 - 3- Uropatía obstructiva.
 - 4- Discrasia sanguínea.
 - 5- Infección renal.
 - 6- Retención por coágulos.
 - 7- Hematuria que no cede en 4-5 días.
- Información sanitaria: la convencional.
 - Proceso: Citoscopia-Ureteroscopia – UIV – TAC - Consulta
 - Salidas: Consulta médico de atención primaria, causa urológica (indicación quirúrgica).

➤ ***Pacientes tipo 4***

- Proceso: Hematuria microscópica.
- Unidad: 3- Cirugía general, urología, ginecología, dermatología y cirugía plástica.
- Prescriptores: Médico de ATP, especializada y urgencias.
- Criterios de prescripción:
 - 1- Si analítica, Rayos X y ecografía normal, y no es posible orientar su origen (estudio urológico).
 - 2- Si causa urológica tratable.
- Información sanitaria: la convencional.
- Proceso: Citoscopia-Ureteroscopia – UIV – TAC - Consulta
- Salidas: Consulta médico de atención primaria, causa urológica (indicación quirúrgica).

➤ ***Pacientes tipo 5***

- Proceso: Infección de tracto urinario (ITU).
- Unidad: 3- Cirugía general, urología, ginecología, dermatología y cirugía plástica.
- Prescriptores: Médico de ATP, especializada y urgencias.
- Criterios de prescripción:

ITU BAJA:

- Cistitis en el varón.
- Cistitis recurrente.
- Cistitis recidivante
- Infección aguda complicada.
 - Cuadros con tira reactiva positiva y que tras tratamiento no remitan los síntomas.

- Cuadros de cistitis clínica con tira reactiva negativa y cultivo negativo.
 - Reinfecciones (antecedentes de cólico renal, hematuria persistente, sospecha de vejiga neurógena, antecedentes de pielonefritis).

ITU ALTA (estudio morfológico y funcional)

-Varones

-Mujeres:

- Edad < 5 años
- Infección recurrente.
 - Sospecha de patología (hematuria, dolor cólico, micción difícil, litiasis, infección por Proteus).
- Información sanitaria: la convencional.
- Proceso: Análisis (Hematimetría + Bioquímica + Coagulación + Orina+ Urocultivo) – Rayos X simple de abdomen – Ecografía urológica – UIV – Consulta.
- Salidas: Consulta médico de atención primaria, causa urológica (indicación quirúrgica).

➤ *Pacientes tipo 6*

- Proceso: Urolitiasis – Cólico renal.
- Unidad: 3- Cirugía general, urología, ginecología, dermatología y cirugía plástica.
- Prescriptores: Médico de ATP, especializada y urgencias.
- Criterios de prescripción:

CÓLICO RENAL:

- 1- Sospecha de cólico renal séptico.
- 2- Anuria por uropatía obstructiva, alteración de la función renal.
- 3- Síntomas no controlados.
- 4- Imagen RX compatible mayor de 4mm.

5- Cólicos en inmunodeprimidos.

UROLITIASIS.

1- Inmunodeprimidos.

2- Diabéticos.

3- Tratamiento con inmunosupresores.

4- Paciente oncológico.

5- Infecciones de orina.

6- Embarazo.

7- Malformaciones.

- Información sanitaria: la convencional.
- Proceso: Análisis (Hematimetría + Bioquímica + Coagulación + Orina+ Urocultivo) – Rayos X simple de abdomen – Ecografía urológica – UIV – Consulta.
- Salidas: Consulta médico de atención primaria, causa urológica (manipulación instrumental y/o indicación quirúrgica).

👉 *Pacientes tipo 7*

- Proceso: Carcinoma de pulmón.
- Unidad: 4- Digestivo, neumología y hematología.
- Prescriptores: Médico de ATP, especializada y urgencias.
- Criterios de prescripción:
 - 1- Rx Tórax sugestiva o sospechosa de cáncer de pulmón (hipertrofia hiliar, ensanchamiento mediastínico, nódulo o masa periférica).
 - 2- Rx Tórax: Nódulo pulmonar solitario en mayores de 35 años sin signos de benignidad (ausencia de crecimiento en los últimos años y calcificación completa).

- 3- Rx Tórax: Atelectasias o neumonías que no desaparecen en 6 semanas o que recurren en la misma localización.
- 4- Hemoptisis persistente sin causa justificada en fumadores o ex fumadores mayores de 40 años.
- 5- Síndrome de Pancoast.

- Información sanitaria: la convencional.
- Proceso: TAC tórax – broncoscopia – PET – Consulta.
- Salidas: Consulta médico de atención primaria, cirugía torácica, oncología.

➤ *Pacientes tipo 8*

- Proceso: Bocio nodular.
- Unidad: 6- Endocrinología, alergología, neurología y medicina interna.
- Prescriptores: Médico de ATP, especializada y urgencias.
- Información sanitaria: la convencional.
- Proceso: Consulta (Anámnesis y exploración física) – Análisis – Ecografía – PAAF (Punción aspiración con aguja fina) – Consulta.
- Salidas: Consulta médico de atención primaria, cirugía.

CAPÍTULO 3. MODELO DE SIMULACIÓN DEL CAMTNA

En el siguiente capítulo se presenta una descripción detallada del modelo de simulación del CAMTNA. En primer lugar, se muestra la metodología general de un estudio de simulación, donde podemos contemplar cada una de las etapas necesarias para construir un correcto modelo de simulación. En segundo lugar, presentamos la aplicación de dicha metodología al estudio en cuestión.

3.1 Metodología General de un Estudio de Simulación

Para llevar a cabo la simulación del sistema se deben seguir una serie de etapas, ampliamente discutidas en la literatura científica:

1.- Formulación del problema y planificación del estudio. Consiste en establecer de forma clara, cuál es el problema que se pretende abordar, qué objetivos globales se desean alcanzar y con qué recursos será necesario contar para lograrlos en el tiempo previsto.

2.- Recogida de datos y análisis de datos de entrada. Se dispone a la identificación, recogida y análisis de los datos de entrada, resultando de vital importancia determinar si éstos son determinísticos o aleatorios.

3.- Modelado del sistema. Se crea el diseño del sistema para su simulación por ordenador. El modelo deberá reflejar convenientemente la estructura interna del sistema, sus características y relaciones lógicas que mantienen, de modo que los resultados sean extrapolables al sistema real.

4.- Implementación en el ordenador. El modelo desarrollado desde el punto de vista teórico ha de ser implementado en el ordenador a través de algún software específico. En el caso del presente proyecto, utilizamos el software Arena.

5.- Verificación del programa. Comprobación de la correcta implementación del modelo en el ordenador. Para ello, debemos comprobar que el programa resultante se comporta según lo deseado, es decir, que los resultados deben ser coherentes para las diversas combinaciones de variables de entrada (inputs) del modelo, y no ha habido ningún error sintáctico a la hora de programar las diferentes instrucciones.

5.- Ejecuciones de prueba. Una vez aceptado el modelo como válido, se diseñan las características del experimento de simulación que se van a llevar a cabo, es decir, determinar el número de iteraciones, la longitud de las replicaciones, periodo de calentamiento, y es uso de técnicas de reducción de varianza.

6.- Validación del modelo. Consiste en comprobar que el modelo refleja convenientemente el mundo real. Para ello, se procede a comparar, para distintas combinaciones de variables de entrada, los resultados que produce el modelo con los observables en el sistema real. Es frecuente el uso de técnicas estadísticas. En el caso de un sistema que no exista, la validación por parte de expertos es indispensable.

7.- Ejecución de los experimentos de simulación. Se procede a llevar a cabo la simulación establecida tras las ejecuciones de prueba.

8.- Análisis de resultados. Los resultados procedentes de un experimento de simulación suelen requerir un análisis estadístico no trivial que permita obtener información útil sobre el comportamiento analizado.

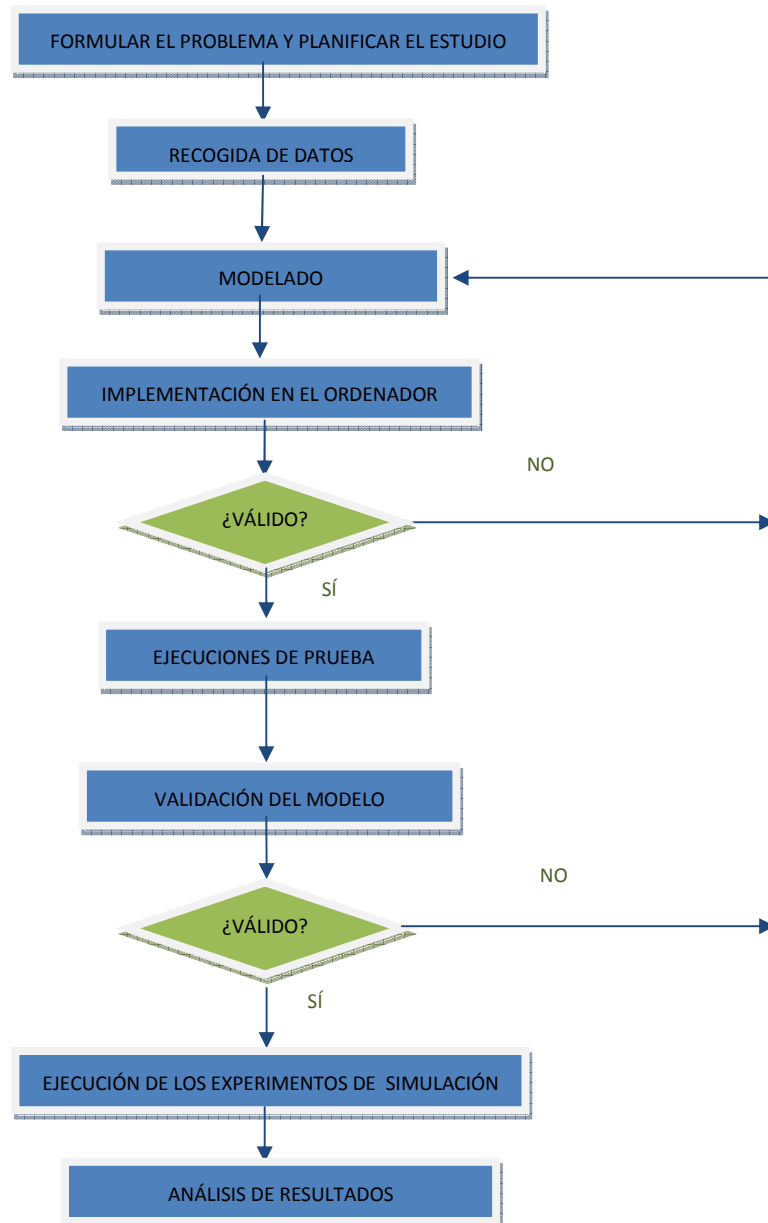


Ilustración 8: Etapas de un Estudio de Simulación.

3.2 Formulación del Problema y Planificación del Estudio

El presente capítulo presenta la descripción del modelo de simulación que reproduce de un modo simplificado el funcionamiento del Complejo Asistencial Médico Tecnológico de Navarra, CAMTNA.

Se pretende construir un modelo base de simulación que represente el sistema real, a partir del cual se puedan incorporar políticas de gestión de la lista de espera, organizar horarios y planificar el uso de las tecnologías y los médicos.

Para ello, el modelo simulará pacientes que llegan al centro sanitario, su tránsito a través del sistema y se recogerán medidas de funcionamiento del sistema que servirán de ayuda para la toma de decisiones con vistas a la optimización del funcionamiento del mismo.

3.3 Datos de Entrada

En el modelo de simulación del presente proyecto se presentan dos tipos de datos de entrada:

- *Determinísticos*: Los parámetros más importantes en el desarrollo del modelo de simulación son los siguientes:
 - Número de tecnologías.
 - Número de servidores por tecnología.
 - Horario del Complejo Asistencial.
- *Aleatorios*: Tiempos de proceso relacionados con la entidad básica, el paciente:
 - *Tiempo entre llegadas de los pacientes*.
 - Tiempo de servicio de las distintas tecnologías.
 - Tiempo de trayecto de una tecnología a otra.

Los valores de todos ellos han sido citados en el capítulo 2.

3.4 Modelado del Sistema

En esta etapa, se procede a la construcción del modelo y su programación con ayuda del software de simulación Arena; se realiza una representación simplificada del modelo real, mediante la cual se examina el flujo de pacientes a través de las distintas áreas funcionales del CAMTNA. Más concretamente, los pacientes seguirán una ruta por distintas tecnologías distribuidas en las unidades del Área Asistencial descritas anteriormente. Se ha dividido el modelo en 5 bloques para su correcta y detallada descripción.

Desde el punto de vista matemático, el modelo es una red de colas en el que los pacientes llegan, llevan a cabo distintos procesos dentro del centro (tecnologías y consultas médicas), y finalmente salen del sistema.

Arena es un simulador de alto nivel, caracterizado por la sencillez de su estructura e interface, campo de aplicación restringido y flexibilidad limitada. El lenguaje de simulación utilizado por Arena es Siman. En el apéndice 8.2 se describe más detalladamente el entorno del software de simulación Arena.

A grandes rasgos, el proceso que se debe simular es la creación de una bolsa de pacientes derivados desde Atención Primaria, especializada o Urgencias, caracterizados por el tipo de proceso clínico que debe llevar a cabo en el centro; la creación de la lista de cada día, siguiendo un criterio de selección, detallado más adelante, a partir de la bolsa general; el paso de dichos pacientes por el centro; y finalmente su salida del sistema tras un diagnóstico claro y concreto.

De esta manera, el flujo de los pacientes en el sistema queda representado esquemáticamente de la siguiente forma:

Desarrollo y Validación de un Modelo de Simulación para el Complejo Asistencial Médico Tecnológico de Navarra (CAMTNA)

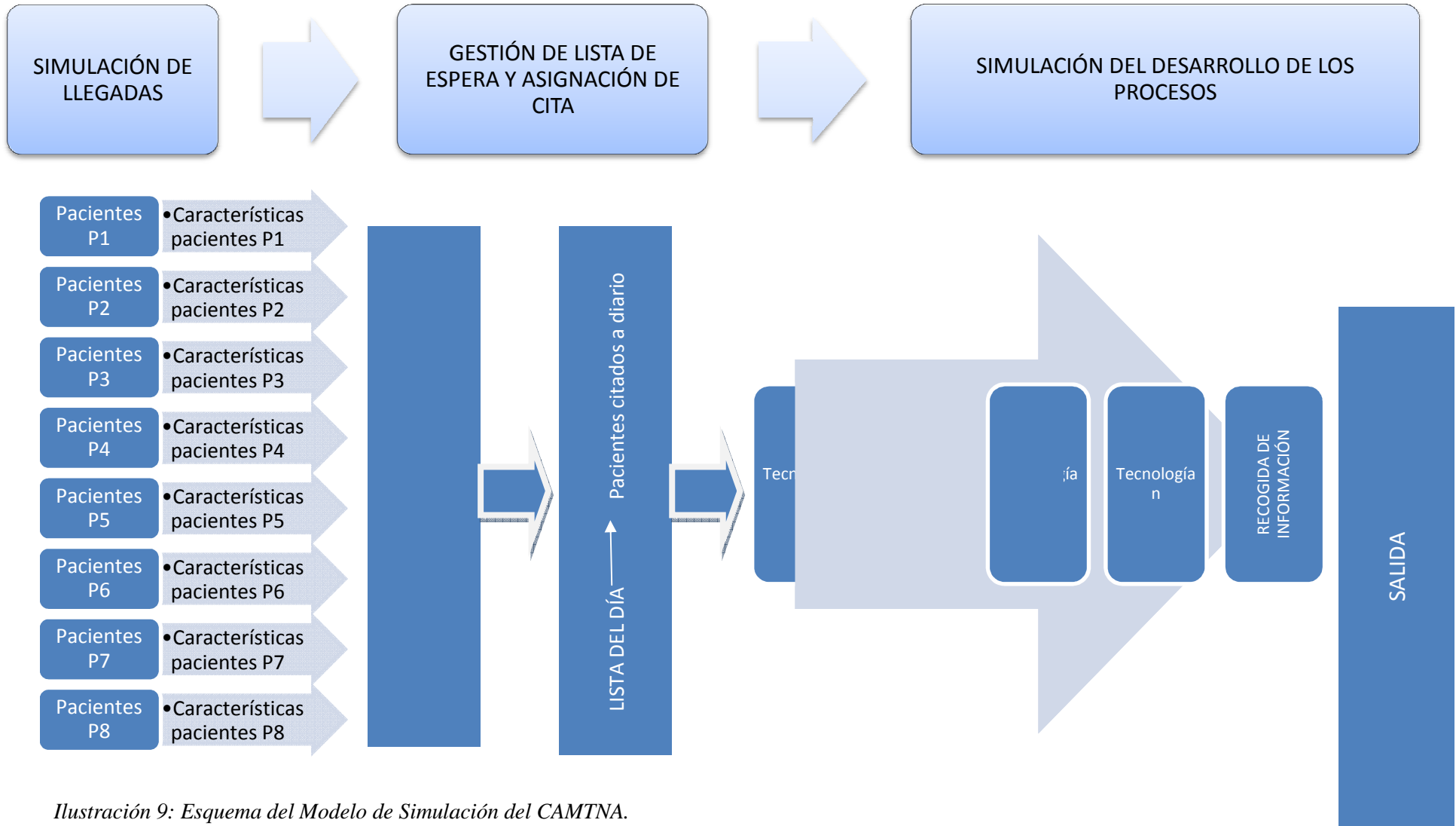


Ilustración 9: Esquema del Modelo de Simulación del CAMTNA.

A continuación se describe el modelo de simulación del CAMTNA, así como su funcionamiento detallado.

El modelo de simulación en Arena consta de 5 bloques:

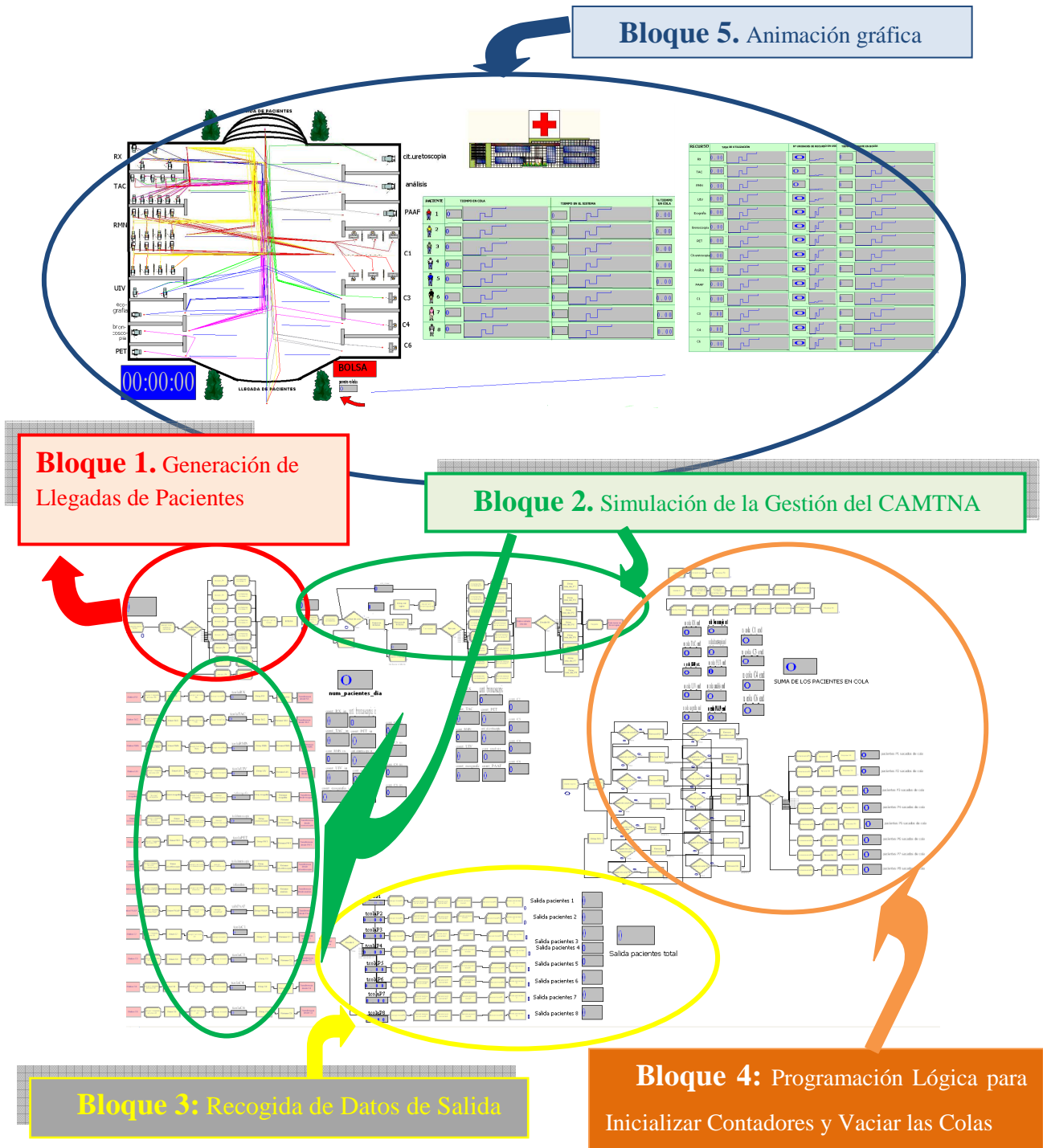


Ilustración 10: Aspecto del Modelo de Simulación Organizado por Bloques.

BLOQUE 1.- GENERACIÓN DE LLEGADAS.

Los pacientes son citados desde Atención Primaria, Urgencias o Atención Especializada al CAMTNA; son citados a un proceso o vía clínica concreta, y la gestión del servicio a los pacientes está basado en la resolución en acto único y con alta resolución. Los procesos están estandarizados, de forma que queda determinado sus criterios de prescripción, el conjunto de subprocesos que lo conforman, la cantidad de recursos tecnológicos y humanos necesarios para llevarlo a cabo, así como los tiempos necesarios para cada una de las actividades.

El modelo de simulación en Arena comienza por la generación de las llegadas de los pacientes a la bolsa de espera del CAMTNA, formada por todos los pacientes derivados de otras unidades médicas. Para ello se inicia con 500 pacientes, y se genera diariamente una llegada de pacientes de media 218 al día, dado que los cálculos de la afluencia para el centro se ha estimado en ese número.

Una vez generados, es necesario categorizarlos. Siguiendo el porcentaje de cada tipo de paciente estimado por los expertos, se hace una clasificación de los pacientes generados en los 8 tipos de procesos, por lo que quedará determinada su secuencia por el CAMTNA.

En este bloque se recoge también el momento exacto en el que el paciente entra en la bolsa de espera, para posteriormente obtener datos de los tiempos de espera según cada tipo de paciente.

Implementación en Arena:

En esta etapa se simula la generación y categorización de pacientes. Así, cada una de las entidades que llegan al centro, queda completamente “etiquetada” según sus características (tipo de proceso que precisan).

Para la generación de llegadas se hace uso del módulo *create*:

- *Create diario*: llegada que sigue una distribución Poisson de media 218 pacientes al principio de cada día, para simular el aumento diario de la bolsa.

Una vez generada la llegada de pacientes, éstos son etiquetados y clasificados por tipo de proceso. Esto se realiza con el módulo *decide* en primer lugar, el cual separa a los pacientes atendiendo a su porcentaje de derivación al CAMTNA; y a continuación el módulo *assign*, con el que se asigna el tipo de paciente (de tipo 1 a tipo 8), la secuencia por el centro, y el tipo de animación (por colores).

También se asigna el atributo *tiempo en la bolsa*, para determinar el momento exacto en el que ese paciente entra a la bolsa, y así poder recoger más adelante, su tiempo de espera en ella.

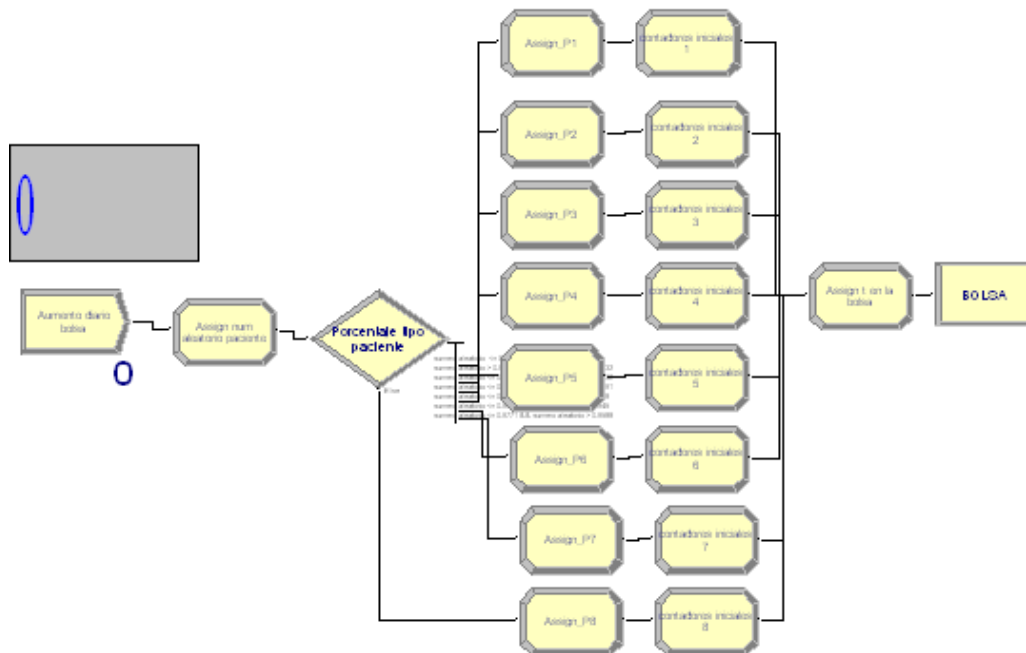


Ilustración 11: Bloque 1. Generación de Llegadas.

BLOQUE 2.- SIMULACIÓN DE LA GESTIÓN DEL CAMTNA.

➤ CREACIÓN DE LA BOLSA DE PACIENTES Y DE LA LISTA DEL DÍA

Conforme se van derivando pacientes desde otros centros hospitalarios y Atención Primaria, se genera la denominada *bolsa de pacientes*, de donde el CAMTNA va escogiendo cada día a los pacientes que corresponda según su criterio de gestión, y los va posicionando en listas de espera para un día determinado, llamada “lista del día”.

Para decidir qué pacientes escoger de la bolsa y citarlos para ese día determinado al CAMTNA, se llevan a cabo dos políticas de gestión:

- La primera alternativa va chequeando desde el primer paciente en la cola de la *bolsa de pacientes* hasta el último, si cada una de las tecnologías que debe usar no ha llegado todavía a su ocupación máxima para ese día. En tal caso, significará que el proceso clínico al que ha sido citado está libre y el paciente es citado al CAMTNA.
- La segunda alternativa da prioridad a las tecnologías de mayor tasa de utilización, es decir, las que mayor afluencia tienen. Por lo tanto, se escoge a un paciente chequeando si la tecnología de mayor tasa de utilización que va a usar está libre; si dicha tecnología todavía tiene espacio libre para citas en ese día, se pasa al paciente.

Los pacientes que son citados para el día en concreto, son “retenidos” en unos módulos de Arena llamados *Delay*, de manera que entrarán al centro a la hora que hayan sido citados.

El criterio de citación ha sido por orden lógico, prediciendo los posibles cuellos de botella en los recursos más largos. Así, se adjudica una hora de cita a cada tipo de paciente basado o bien en su primera tecnología (si coincide que es la más larga de la secuencia), o en la tecnología de tiempo de servicio mayor.

Implementación en Arena:

El bloque en Arena es el siguiente:

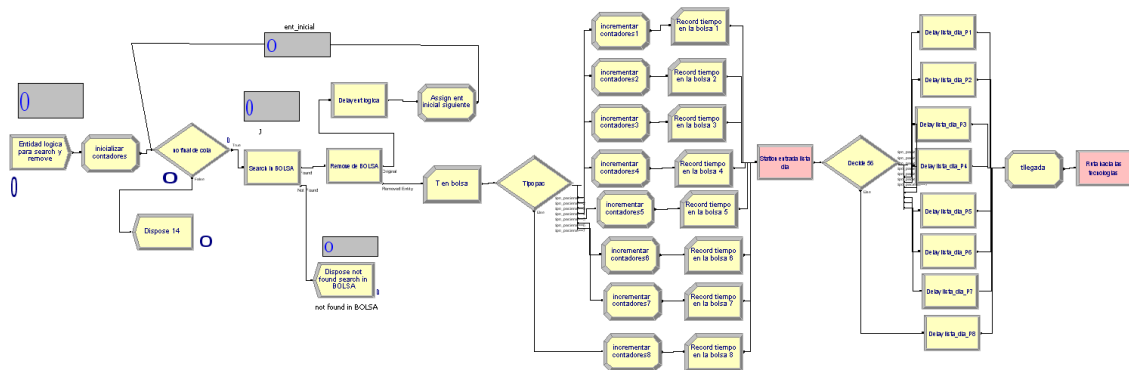


Ilustración 12: Bloque 2. Creación de la Bolsa de Pacientes y de la Lista del Día.

- 1- **GENERACIÓN DE LA ENTIDAD LÓGICA Y ACTUALIZACIÓN DE LAS VARIABLES DIARIAS:** Cada día se genera una entidad lógica, la cual ejecuta el módulo *assign* “inicializar contadores” y actualiza las variables citadas en el bloque de programación lógica posterior.
- 2- **BÚSQUEDA EN LA BOLSA:** La entidad lógica generada cada 24 horas inicializa las variables y entra en el bucle de búsqueda en la bolsa. En primer lugar, chequea si la entidad inicial ya ha llegado a la última posición de la cola; si es así, la entidad lógica sale del sistema por el *dispose 14* y eso significará que ya se ha recorrido la cola entera y ya se han escogido todos los pacientes que se van a citar para ese día. Si por el contrario, la entidad inicial se encuentra chequeando a un paciente en cola que ocupa una posición intermedia en la bolsa, la entidad lógica pasa al *Search in BOLSA*, el encargado de escoger a los pacientes que cumplan las condiciones para ser citados.

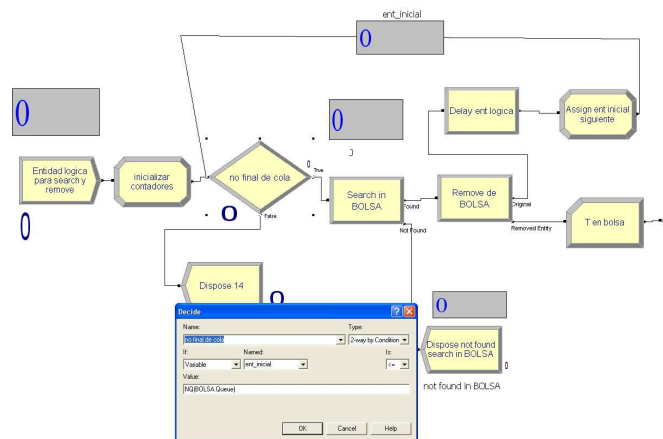


Ilustración 13: Módulo Decide “no final de cola”.

- 3- SEARCH: SIMAN asigna el índice J (variable interna del módulo *search* y *remove*) al índice de comienzo (*Starting Index*), que en este caso es el valor de la variable *entidad_inicial*, y chequea la condición de búsqueda (*Search condition*), es decir, analiza si dicho paciente cumple los requisitos para ser citado para ese día. Si la condición del *search* es verdadera, la búsqueda para y la variable interna J retiene su actual valor. Si por el contrario dicho paciente no cumple la condición SIMAN incrementa J y rechequea la condición para el siguiente paciente. Este proceso se repite hasta que la condición de búsqueda sea satisfecha (en tal caso, pasaríamos al módulo *remove*) o se alcance el índice de finalización (*Ending Index*), en este modelo, NQ, el final de la bolsa.

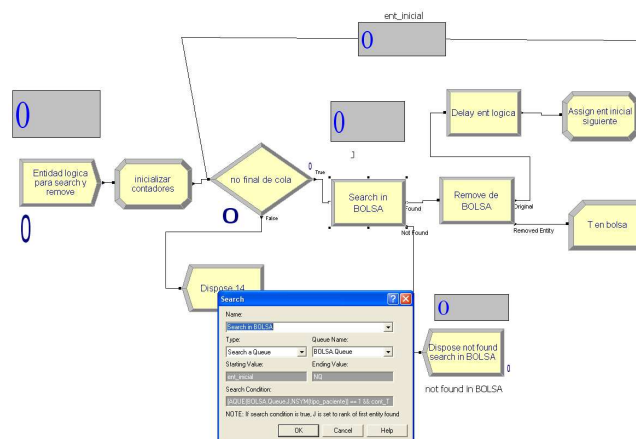


Ilustración 14: Módulo Search “Search in BOLSA”.

- 4- REMOVE: Después del *search*, pueden ocurrir dos situaciones: que la entidad inicial ya haya llegado a la última posición de la cola y ya no quede ningún paciente que cumpla los requisitos para ser escogido, de tal manera que la entidad lógica saldría por el *dispose not found search in BOLSA*; o que el paciente analizado sea escogido porque cumple los requisitos. En este segundo supuesto,

el módulo *Remove de BOLSA*, se encarga de trasladar a la entidad que representa el paciente de la posición “J” a la siguiente parte del modelo, y a la entidad lógica a un *delay* de unos pocos segundos.

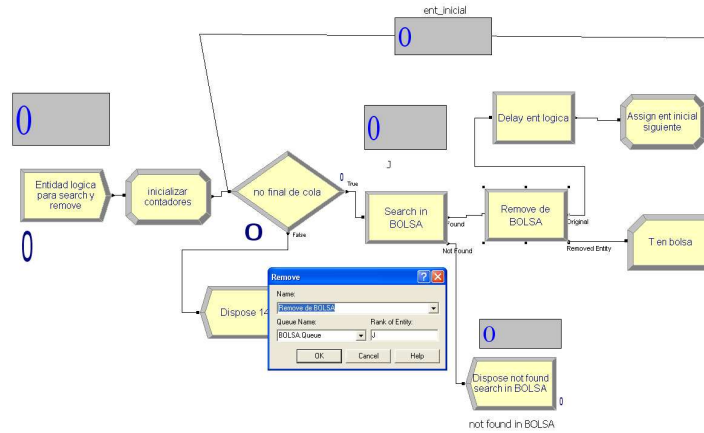


Ilustración 15: Módulo *Remove* “*Remove de BOLSA*”.

- 5- DELAY: El *delay* tiene la función de que el paciente pase en primer lugar a la siguiente parte (y así se actualicen los contadores del día), y en segundo lugar, sea procesada la entidad lógica, la cual toma el valor “J”, y de este modo sigue chequeando en la bolsa en la posición que lo había dejado.

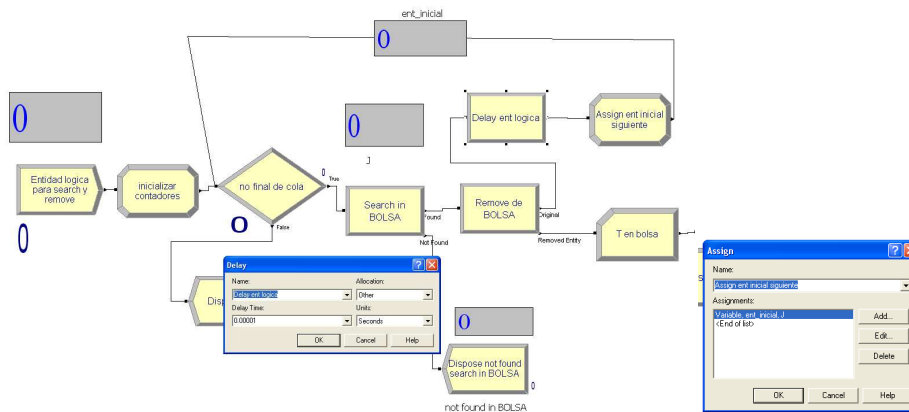


Ilustración 16: Módulo *Delay* “*Delay ent logica*” y *Assign* “*Assign ent inicial siguiente*”.

El proceso finaliza cuando ya se ha recorrido toda la bolsa.

En el presente proyecto se proponen dos alternativas de gestión de la bolsa, las cuales vienen definidas por la condición de búsqueda en el *Search in BOLSA*:

- *Alternativa 1:* Con ayuda de contadores, se controla la ocupación de las tecnologías para ese día, y se chequea cada paciente en orden de llegada, es decir, en orden de posición en la bolsa; si cada una de las tecnologías que debe usar no ha llegado todavía a su ocupación máxima para ese día, se escoge dicho paciente y se transporta a la *lista del día*.

Programación lógica de la alternativa 1:

```
(AQUE(BOLSA.Queue,J,NSYM(tipo_paciente)) == 1 && cont_TAC < 143 && cont_RX<192 && cont_RMN < 192 && cont_C1<216)
// (AQUE(BOLSA.Queue,J,NSYM(tipo_paciente)) == 2 && cont_RMN< 192 && cont_RX<192 && cont_C1<216 )
// (AQUE(BOLSA.Queue,J,NSYM(tipo_paciente)) == 3 && cont_cit.uretoscopia<62 && cont_TAC < 143 && cont_UIV < 24 && cont_C3<36 )
// (AQUE(BOLSA.Queue,J,NSYM(tipo_paciente)) == 4 && cont_cit.uretoscopia<62 && cont_TAC < 143 && cont_UIV < 24 && cont_C3<36)
// (AQUE(BOLSA.Queue,J,NSYM(tipo_paciente)) == 5 && cont_analisis<32 && cont_RX<192 && cont_ecografia<24 &&cont_UIV < 24 && cont_C3<36 )
// (AQUE(BOLSA.Queue,J,NSYM(tipo_paciente)) == 6 && cont_analisis<32 && cont_RX<192 && cont_ecografia<24 &&cont_UIV < 24 && cont_C3<36 )
// (AQUE(BOLSA.Queue,J,NSYM(tipo_paciente)) == 7 && cont_TAC < 143 && cont_broncoscopia<18 && cont_PET<19 && cont_C4<36 )
// (AQUE(BOLSA.Queue,J,NSYM(tipo_paciente)) == 8 && cont_C4<36 && cont_analisis < 32 && cont_ecografia < 24 && cont_PAAF<24 )
```

- *Alternativa 2:* Se da prioridad a las tecnologías de mayor tasa de utilización, es decir, las que mayor afluencia tienen. Por lo tanto, se escoge a un paciente chequeando si la tecnología de mayor tasa de utilización que va a usar está libre; si dicha tecnología todavía tiene espacio libre para citas en ese día, se pasa al paciente.

Programación lógica de la alternativa 2:

```
(AQUE(BOLSA.Queue,J,NSYM(tipo_paciente)) == 1 && cont_RX < 192 )
// (AQUE(BOLSA.Queue,J,NSYM(tipo_paciente)) == 2 && cont_RX < 192 )
// (AQUE(BOLSA.Queue,J,NSYM(tipo_paciente)) == 3 && cont_UIV<24)
// (AQUE(BOLSA.Queue,J,NSYM(tipo_paciente)) == 4 && cont_UIV<24)
// (AQUE(BOLSA.Queue,J,NSYM(tipo_paciente)) == 5 && cont_RX < 192)
// (AQUE(BOLSA.Queue,J,NSYM(tipo_paciente)) == 6 && cont_RX < 192)
// (AQUE(BOLSA.Queue,J,NSYM(tipo_paciente)) == 7 && cont_TAC<143)
// (AQUE(BOLSA.Queue,J,NSYM(tipo_paciente)) == 8 && cont_ecografia<24)
```

En principio, no existe ningún criterio de prioridad previsto, aunque en la práctica, es probable que haya cierto tipo de pacientes que se consideren más urgentes por razones clínicas.

Así, en el modelo de simulación, los pacientes de la bolsa general van siendo citados para un día concreto, pasando así a la lista del día. Aunque no se encuentren físicamente en esta lista, sí se encontrarán ordenados por orden de llegada en los módulos *delay*; cada tipo de paciente, dependiendo del orden en el que haya sido escogido de la bolsa y

de su secuencia por el CAMTNA, será retenido en estos módulos un tiempo determinado.

La siguiente tabla muestra los cálculos pertinentes para el *Delay* de cada tipo de paciente:

Tipo de paciente	Tiempo de espera en el <i>Delay</i> (min)	Criterio
P1	$120+52,5*\text{AINT}(\text{cont_TAC}/11)$	Por su primera tecnología.
P2	$120+60*\text{AINT}(\text{cont_RMN}/16)$	Por su primera tecnología.
P3	$120+60*\text{AINT}(\text{cont_UIV}/2)$	Por su tecnología más larga.
P4	$120+60*\text{AINT}(\text{cont_UIV}/2)$	Por su tecnología más larga.
P5	$120+60*\text{AINT}(\text{cont_UIV}/2)$	Por su tecnología más larga.
P6	$120+60*\text{AINT}(\text{cont_UIV}/2)$	Por su tecnología más larga.
P7	$120+52,5*\text{AINT}(\text{cont_TAC}/11)$	Por su primera tecnología.
P8	$120+60*\text{AINT}(\text{cont_UIV}/2)$	Por su tecnología más larga.

Tabla 2: Cálculo de la Hora de Citación por Tipo de Paciente.

El primer sumando del tiempo de espera es 120 min, debido a que por motivos de programación, el paciente llega a la *lista del día* a las 6 de la mañana y el centro abre sus puertas a las 8. El comando “AINT” es un truncador a números enteros; cont_TAC, cont_RMN y cont_UIV son los contadores correspondientes a las tecnologías TAC, RMN y UIV, respectivamente, que llevan el control de la cantidad de pacientes que son incluidos en la lista del día y que usan dichos recursos. Las divisiones entre 11, 16 y 2, en el caso de TAC, RMN o UIV, respectivamente, permiten considerar a los pacientes que visitan dichas tecnologías por turnos, ya que los que usen el TAC, por ejemplo, como hay 11 servidores en dicho recurso, tendrán que ser gestionados por tandas de pacientes de 11.

➤ ENTRADA Y RUTA DENTRO DEL CENTRO

Cada paciente, dependiendo del proceso prescrito previamente, deberá seguir una secuencia en el sistema, visitando una serie de tecnologías y consultas. De este modo,

como se modelizan 8 tipos de pacientes, existen 8 secuencias distintas dentro del centro, presentadas anteriormente en este trabajo (tabla 1).

El modelo de simulación del CAMTNA se compone de 14 procesos, entre los que se encuentran los recursos tecnológicos (rayos X, resonancia magnética, TAC, etc) y recursos humanos (médicos/as, enfermeros/as).

Basándose en la experiencia y con la ayuda de expertos se han determinado las siguientes distribuciones de probabilidad para los tiempos de servicio en cada una de las tecnologías.

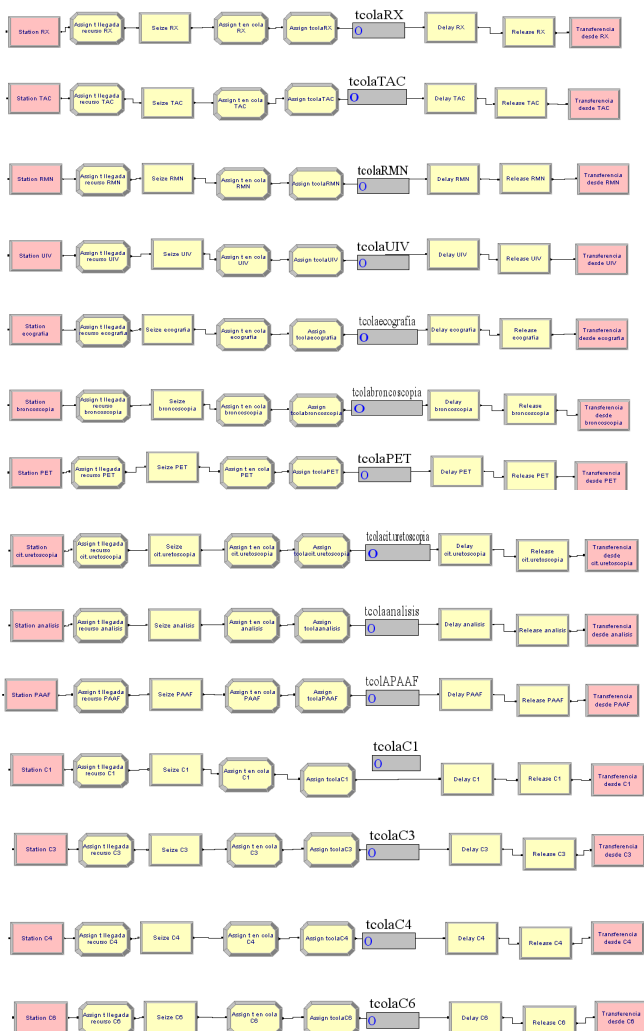
TECNOLOGÍA	TIEMPO DE PROCESO (min)
RX	TRIA(12,15,18)
TAC	UNIF(45,60)
RMN	TRIA(55,60,65)
UIV	TRIA(55,60,65)
Ecografía	TRIA(22,30,35)
Broncoscopia	TRIA(15,40,60)
PET	UNIF(30,45)
Citoscopia/Uretoscopia	UNIF(8,15)
Análisis	UNIF(15,30)
PAAF	TRIA(22,30,35)
Consulta Unidad 1	TRIA(18,20,22)
Consulta Unidad 3	TRIA(18,20,22)
Consulta Unidad 4	TRIA(18,20,22)
Consulta Unidad 6	TRIA(18,20,22)

Tabla 3: Distribuciones de los Tiempos de Proceso.

Implementación en Arena:

Para esta tarea, se hace uso de los módulos *station*, *route*, *seize*, *delay* y *release*.

El atributo *Entity.Sequence* atribuido a cada entidad que entra al sistema, queda definido su secuencia por las sucesivas tecnologías del centro. De este modo, el módulo *route hacia las tecnologías* dirige a los pacientes a su recurso correspondiente.



Servicios fundamentales del CAMTNA:

Las 14 tecnologías se modelan como se muestra en la figura adjacente. El módulo *process* se ha desglosado en este caso en *seize*, *delay* y *release* por motivos de programación; de este modo, es posible recoger el tiempo que cada entidad pasa en espera, gracias al atributo *tcola*, así como recoger en la variable *tcolatecnología_i* los valores de los tiempos en cola transcurridos en cada una de las 14 tecnologías presentes.

Ilustración 17: Modelado de Procesos.

Secuencias para cada tipo de paciente: Cada una de las 8 secuencias correspondientes a los distintos tipos de paciente son programadas en el módulo *Schedule*. En la figura anexa se muestra el *Plan Proceso paciente tipo 1* a modo de ejemplo, donde se puede observar que quedan definida la trayectoria ordenada por las tecnologías necesarias, así como sus tiempos de proceso.



Ilustración 18: Secuencias de cada Tipo de Paciente.

BLOQUE 3.-SALIDA DEL CENTRO Y RECOGIDA DE DATOS.

Después de ser atendidos, los pacientes salen del centro. Finalmente, se recogen también las medidas de funcionamiento para el análisis de resultados final.

Implementación en Arena:

Los datos se recogen a través de los módulos *Record*.

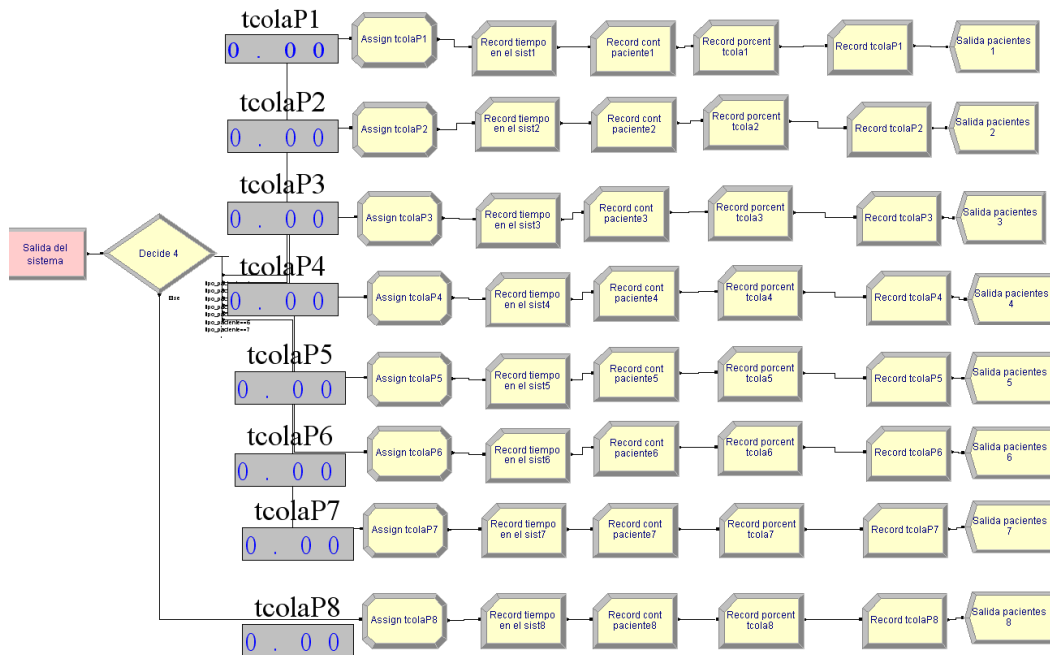


Ilustración 19: Bloque 3. Salida del Centro y Recogida de Datos.

En los *capítulos 5 y 7* se presentan los datos recogidos y las conclusiones extraídas a partir de ellos, respectivamente.

BLOQUE 4.- PROGRAMACIÓN LÓGICA PARA INICIALIZAR CONTADORES Y VACIAR LAS COLAS.

Para poder construir correctamente el modelo de simulación, se ha de hacer uso de ciertas variables y módulos que ayuden a la programación lógica. De esta forma, es preciso inicializar las variables diarias, así como vaciar las colas de los recursos al final

del día, es decir, sacar del sistema a los pacientes que no hayan sido atendidos en el horario de servicio del centro y contabilizarlos para futuras medidas.

- *Inicialización de las variables*

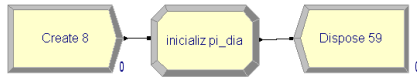


Ilustración 20: Inicializador 1.

El *create 8* genera una entidad lógica al principio de cada día, y dicha entidad inicializa las variables *pi_dia* (número de pacientes tipo *i* que han sido citados para el día). Finalmente la entidad lógica sale del sistema.

Antes de hacer la búsqueda de pacientes en la bolsa se inicializan las siguientes variables:

- *cont_sacai*: se inicializa a 0. Cuenta el número de pacientes tipo *i* que son sacados de las colas después del cierre del centro, sin haber sido completada su secuencia.
- *ent_inicial*: se inicializa a 1. Su función ha sido explicado anteriormente en este capítulo.
- *cont_”tecnología”*: se inicializan a 0. Es el recuento de los pacientes que se citan para usar dicho recurso en ese día.
- *tcolaPi*: se inicializa a 0. Tiempo en cola que acumulan en media los pacientes tipo *i* al final de su recorrido por el centro.
- *Tcola”tecnología”*: se inicializa a 0. Tiempo en cola que se acumula en media en dicha tecnología a lo largo del día.
- *num_pacientes_dia*: se inicializa a 0. Es la suma de los pacientes que han entrado al centro ese día.

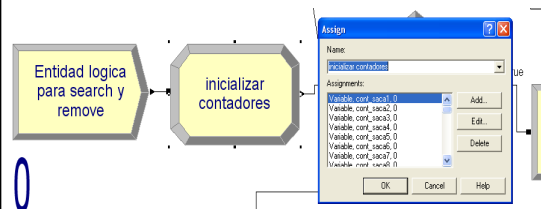


Ilustración 21: Inicializador 2.

El *create lógico* genera una entidad diaria después del cierre del centro (a las 23h), la cual va examinando si después del cierre del centro (los recursos acaban su turno a las 8 h de la tarde, aunque damos un margen hasta las 9 h) ha quedado algún paciente en cola. Si los hay, éstos son sacados del sistema y contabilizados por tipo de paciente.

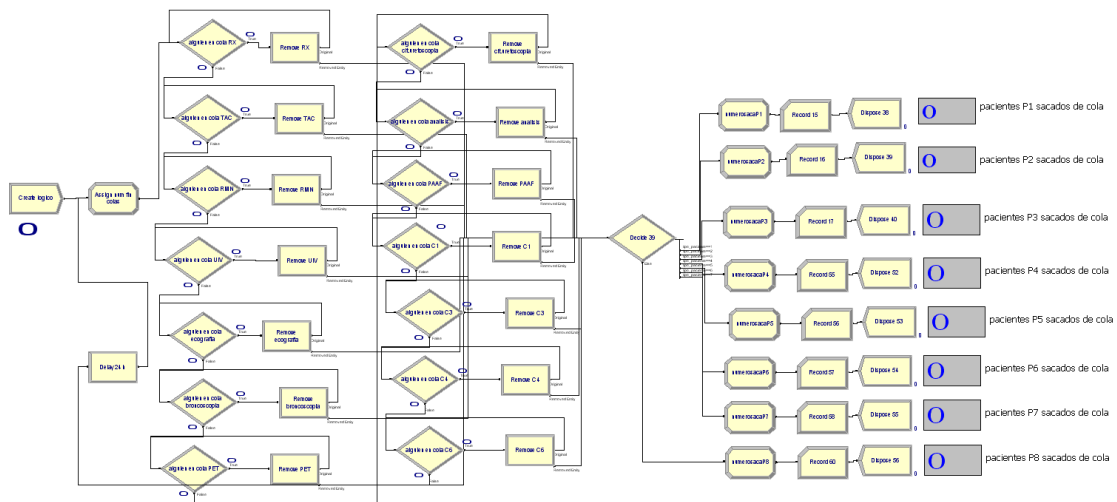


Ilustración 22: Vaciado de las Colas al Final del Día.

La programación lógica es la siguiente:

- 1- En primer lugar se asignan los valores del número de pacientes en cola (NQ) en cada tecnología a las variables `n_cola_”tecnología”`.

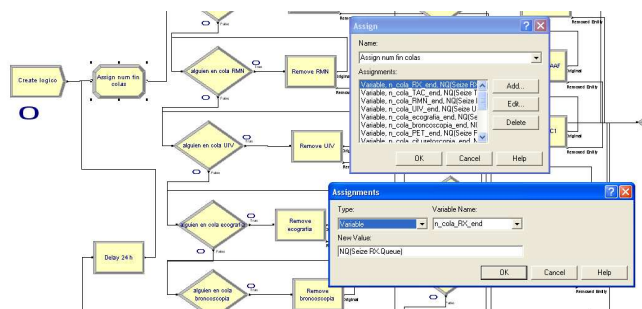


Ilustración 23: Asignación Número Final en Colas.

- 2- Se chequea si hay alguien en las colas de las 14 tecnologías. Si es así, el módulo *Remove* saca del sistema al paciente y manda a la variable lógica a chequear de nuevo si todavía sigue alguien en cola.

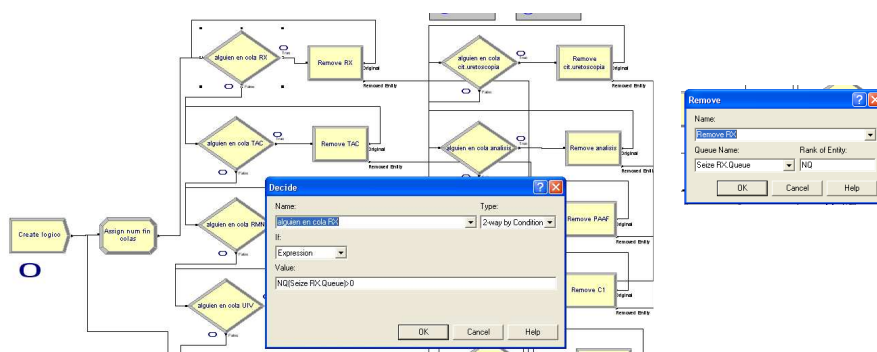


Ilustración 24: Decide “alguien en cola” y Remove.



BLOQUE 5.- ANIMACIÓN.

La animación del modelo permite observar la progresión de la simulación del modelo de forma gráfica. Además es una herramienta eficaz para la búsqueda de errores en el modelado.

Además de reproducir el flujo de pacientes dentro del centro, se presentan una serie de variables y gráficos relevantes. En una tabla se muestran los datos por tipo de paciente, se recogen los tiempos medios en cola y en el sistema (en minutos), así como el porcentaje de tiempo en cola respecto al tiempo en el sistema. En una segunda tabla se pueden observar los datos de interés por tecnología: tasa instantánea de utilización, número de unidades de recurso en uso y tiempo restante en bolsa de cada tecnología.

3.5 Dimensionamiento Inicial del Modelo

Para la construcción del modelo, es necesario realizar un dimensionamiento previo de las unidades. De este modo, hemos estimado el número de recursos necesarios en cada una de las tecnologías haciendo uso de las herramientas de Teoría de Colas.

A continuación se define una serie de parámetros de la Teoría de colas que intervienen en el cálculo:

λ_i = tasa media de llegadas de pacientes tipo i por día

μ_j = tasa media de servicio por cada recurso de tecnología j por día (número medio de pacientes que completan su servicio por día)

ρ_j = tasa de utilización de tecnología j (fracción esperada de tiempo que los recursos individuales de cada tecnología están ocupados)

n_j = número de recursos disponibles de tecnología j

La tasa de utilización de la tecnología j (la cual es utilizada por una suma de pacientes tipo i) se puede expresar como:

$$\rho_j = \sum \lambda_i / (n_j \cdot \mu_j)$$

Para que un sistema permanezca en estado estable, es decir, no exista saturación, es necesario que la capacidad de los recursos cubra las llegadas de pacientes, es decir, para cada paciente de tipo i, que necesita un servicio por parte de un recurso de la tecnología j, se debe cumplir:

$$\sum \lambda_i < n_j \mu_j \text{ o lo que es lo mismo } \rho_j < 1$$

➔ CÁLCULO DE LAS TASAS DE LLEGADAS DE CADA TIPO DE PACIENTE

Para el cálculo de las tasas de llegadas de los tipos de pacientes incluidos en el modelo de simulación del CAMTNA nos hemos basado en la previsión de la producción asistencial incluida en el Plan Funcional y de Gestión del Centro de Alta Resolución Ambulatoria de la Comunidad Foral de Navarra. Dicho análisis de necesidades fue proporcionado por el equipo médico responsable del nuevo centro.

A continuación se muestra la tabla de estimaciones, donde el número de consultas en acto único fue calculado con el porcentaje de atracción estimado, y la actividad total fue calculada para Navarra considerando la actividad concertada y la variación de la lista de espera entre 2005 y 2006. Dicho cálculos se han llevado a cabo tomando como datos de referencia los del año 2006.



Especialidad	Rango Poblacion	2006				2010			
		Población	Actividad Total	Porcentaje de atracción	Consultas en Acto Único	Población	Frecuentación Escenario 1	Porcentaje de atracción	Consultas en Acto Único
Alergología	población > 4 años	571.230	7.522	0,9	6.624	588.558	14,0	0,9	7.200
Cardiología	población > 14 años	515.703	8.177	0,8	6.477	530.146	13,7	0,7	4.955
Cirugía General	población > 4 años	571.230	11.794	0,4	4.681	588.558	19,4	0,3	3.565
C.Vascular y Torácica	población > 4 años	571.230	3.970	0,8	3.120	588.558	7,3	0,7	3.109
Dermatología	población total	601.874	27.892	1,0	27.138	624.098	48,0	0,8	25.348
Digestivo	población > 14 años	515.703	13.135	0,2	2.637	530.146	27,5	0,1	1.686
Endocrinología	población > 14 años	515.703	4.758	0,2	1.001	530.146	9,9	0,2	851
Ginecología	mujeres > 14 años	259.122	29.935	0,0	1.358	268.571	97,4	0,0	0
Hematología	población > 14 años	515.703	3.150	0,2	478	530.146	6,5	0,0	0
Neurología	población > 14 años	515.703	8.545	0,5	4.666	530.146	16,2	0,4	3.272
Neumología	población > 14 años	515.703	5.245	0,2	819	530.146	12,3	0,1	729
Oftalmología	población total	601.874	42.457	0,3	11.672	624.098	73,8	0,3	11.788
ORL	población total	601.874	23.763	0,4	8.958	624.098	41,0	0,3	6.796
Psicología	población > 14 años	515.703	194	3,5	682	530.146	0,3	0,0	0
RHA	población > 14 años	515.703	18.605	0,2	2.996	530.146	38,2	0,2	3.262
Reumatología	población > 14 años	515.703	3.893	0,4	1.421	530.146	8,9	0,1	678
Traumatología	población total	601.874	45.675	0,8	36.846	624.098	79,4	0,7	35.694
Urología	población > 14 años	515.703	12.054	0,4	4.504	530.146	22,5	0,2	2.431
Total	población total	601.874	318.477	0,4	126.081	624.098	536,6	0,3	111.364

Tabla 4: Número de Consultas en Acto Único (2006, 2010).



Especialidad	Rango Poblacion	2011			2016			
		Población	Frecuentación Escenario 1	Consultas en Acto Único	Población	Frecuentación Escenario 1	Porcentaje de atracción	Consultas en Acto Único
Alergología	población > 4 años	593.452	14,5	7.502	617.978	16,8	0,9	9.135
Cardiología	población > 14 años	533.892	14,2	5.733	550.464	16,5	0,8	7.177
Cirugía General	población > 4 años	593.452	20,0	4.716	617.978	23,2	0,4	5.703
C.Vascular y Torácica	población > 4 años	593.452	7,5	3.239	617.978	8,7	0,8	4.245
Dermatología	población total	630.142	49,6	28.593	658.133	57,6	1,0	36.862
Digestivo	población > 14 años	533.892	28,4	2.168	550.464	33,0	0,2	3.642
Endocrinología	población > 14 años	533.892	10,3	886	550.464	11,9	0,2	1.383
Ginecología	mujeres > 14 años	271.021	100,7	603	280.680	116,9	0,0	1.489
Hematología	población > 14 años	533.892	6,7	0	550.464	7,8	0,2	650
Neurología	población > 14 años	533.892	16,8	4.003	550.464	19,5	0,5	5.852
Neumología	población > 14 años	533.892	12,8	759	550.464	14,8	0,2	1.273
Oftalmología	población total	630.142	76,2	12.767	658.133	88,5	0,3	16.013
ORL	población total	630.142	42,3	9.371	658.133	49,2	0,4	12.196
Psicología	población > 14 años	533.892	0,3	0	550.464	0,3	3,5	611
RHA	población > 14 años	533.892	39,5	3.395	550.464	45,8	0,2	4.064
Reumatología	población > 14 años	533.892	9,2	1.349	550.464	10,6	0,4	2.137
Traumatología	población total	630.142	82,0	40.387	658.133	95,3	0,8	50.581
Urología	población > 14 años	533.892	23,3	3.508	550.464	27,0	0,4	5.556
Total	población total	630.142	553,7	128.977	658.133	640,2	0,4	168.569

Tabla 5: Número de Consultas en Acto Único (2011, 2016).

Identificando cada una de las áreas a las que pertenecen la muestra de pacientes, estudiamos el número de consultas en acto único por año y por día, para una situación hipotética intermedia, año 2014, como se refleja en la siguiente tabla. Para ello, se interpolan los datos, teniendo en cuenta que el total de consultas en acto único para dicho año sería de 152.732 y suponiendo 250 días hábiles al año:

	Año 2014	Por día
Traumatología - (Pacientes tipo 1 y 2)	46.503,4	186
Ginecología y Urología - (Pacientes tipo 3, 4, 5 y 6)	5.871,4	23
Neumología - (Paciente tipo 7)	1.067,4	4
Endocrinología - (Pacientes tipo 8)	11.841,2	5

Tabla 6: Número de Consultas en Acto Único Estimado para 2014.

A partir del número de consultas en acto único diarias por tipo de paciente, se calculan los porcentajes de tipo de paciente calculado respecto al total (611 consultas por día), y el número absoluto por día, es decir la tasa de llegadas:

		λ (Número de pacientes / día)
Paciente tipo 1	18%	110
Paciente tipo 2	12,4%	76
Paciente tipo 3	1,6%	10
Paciente tipo 4	1,3%	8
Paciente tipo 5	0,33%	2
Paciente tipo 6	0,5%	3
Paciente tipo 7	0,65%	4
Paciente tipo 8	0,8%	5
Total	35,58%	218

Tabla 7: Porcentaje de cada Tipo de Paciente y Tasa de Llegada respecto al Total de Llegadas al Centro Médico Real.

Sin embargo, como se ha dicho anteriormente, el modelo de simulación presente en este proyecto estudia una simplificación del total de los 611 pacientes al día en media (procedentes de los 80 procesos existentes); dicha parte sería la indicada en la tabla anterior, 35,58%, 218 pacientes en media en números absolutos. Por lo tanto, para no sobrecargar innecesariamente el programa de simulación y minimizar el tiempo de procesamiento, el modelo se ha desarrollado con una tasa media de llegadas de un total de 218 pacientes diarios, y los porcentajes de los 8 tipos de pacientes se han calculado sobre este total, como se muestra en la siguiente tabla:

	λ (Número de pacientes / día)	
Paciente tipo 1	50,46%	110
Paciente tipo 2	34,86%	76
Paciente tipo 3	4,59%	10
Paciente tipo 4	3,67%	8
Paciente tipo 5	0,92%	2
Paciente tipo 6	1,38%	3
Paciente tipo 7	1,83%	4
Paciente tipo 8	2,29%	5
Total	100%	218

Tabla 8: Porcentaje de cada Tipo de Paciente y Tasa de Llegada respecto al Total de Llegadas al Centro Médico del Presente Estudio.

🔹 **CÁLCULO DE LA TASAS DE SERVICIO DE CADA RECURSO**

Para el cálculo de las tasas de servicio de cada recurso se ha teniendo en cuenta la información proporcionada por el equipo de expertos. En la siguiente tabla se muestran las distribuciones propuestas para los tiempos de proceso y las tasas medias de servicio para cada recurso de las 14 tecnologías incluidas en el modelo de simulación:

TECNOLOGÍA	DISTRIBUCIÓN DE TIEMPO DE PROCESO (MIN)	TASA MEDIA DE SERVICIO
		μ
RAYOS X	TRIA(12,15,18)	48
TAC	UNIF(45,60)	13
RESONANCIA MAGNÉTICA	TRIA(55,60,65)	12
UIV	TRIA(55,60,65)	12
ECOGRAFÍA	TRIA(22,30,35)	24
BRONCSCOPIA	TRIA(15,40,60)	18
PET	UNIF(30,45)	19
CITOSCOPIA URETOSCOPIA	UNIF(8,15)	62
ANÁLISIS	UNIF(15,30)	32
PAAF	TRIA(22,30,35)	24
CONSULTA UNIDAD 1	TRIA(18,20,22)	36
CONSULTA UNIDAD 3	TRIA(18,20,22)	36
CONSULTA UNIDAD 4	TRIA(18,20,22)	36
CONSULTA UNIDAD 6	TRIA(18,20,22)	36

Tabla 9: Distribución de los Tiempos de Proceso y Tasas medias de Servicio de Cada Recurso.

➤ **CÁLCULO DE LA TASAS DE OCUPACIÓN DE CADA TECNOLOGÍA Y DEL NÚMERO DE SERVIDORES**

Como se ha apuntado anteriormente, la tasa de utilización de la tecnología j (la cual es utilizada por el tipo de paciente i) se puede expresar como el cociente de la tasa de llegadas de ese tipo de paciente entre la tasa de servicio total de la tecnología (es decir, teniendo en cuenta los n servidores que existen):

$$\rho_j = \sum \lambda_i / (n_j \cdot \mu_j)$$

Para calcular las tasas de ocupación es necesario estimar previamente el número de servidores para cada tecnología nj, teniendo en cuenta que se ha de cumplir la ecuación de estado estable ($\rho_j < 1$). Los resultados aparecen en la siguiente tabla:

TECNOLOGÍA	N	ρ
RAYOS X	4	0,99
TAC	11	0,92
RESONANCIA MAGNÉTICA	16	0,97
UIV	2	0,96
ECOGRAFÍA	1	0,41
BRONCSCOPIA	1	0,21
PET	1	0,21
CITOSCOPIA Y URETOSCOPIA	1	0,29
ANÁLISIS	1	0,31
PAAF	1	0,21
CONSULTA UNIDAD 1	6	0,86
CONSULTA UNIDAD 3	1	0,64
CONSULTA UNIDAD 4	1	0,11
<i>Consulta unidad 6</i>	<i>1</i>	<i>0,27</i>

Tabla 10: Tasa de Ocupación y Número de Servidores en cada Tecnología.

3.6 Verificación del Modelo de Simulación

Finalmente, una vez construido el modelo de simulación, éste debe verificarse, asegurándose que todos sus procesos funcionen correctamente y por lo tanto haya sido correctamente programado. Se debe verificar que los pacientes sigan la ruta correcta; que a la hora de cierre del centro sanitario ningún paciente queda en cola en ninguna tecnología; que la cola de la bolsa no se sature por error en la programación de la búsqueda de pacientes en ella; que los contadores diarios se actualicen correctamente... Para ello, la animación se considera de gran ayuda, ya que da visión de los puntos de fallo. Además se cree interesante pintar ciertas variables de control, así como los contadores más importantes para llevar control de que se inicializan y actualizan correctamente.

3.7 Validación del Modelo

Se debe comprobar que el modelo de simulación cumple con el objetivo establecido, es decir, que puede reproducir correctamente el funcionamiento del CAMTNA.

Toda simulación tiene que validarse para asegurar que la inferencia a partir del modelo es una predicción correcta del proceso que se quiere simular.

No existen normas precisas sobre cómo debe realizarse la validación. Pero sí se pueden tener en cuenta ciertas pautas que los expertos consideran relevantes para el desarrollo de un modelo válido y creíble. Éstas son presentadas a continuación, y situadas en el marco temporal de la realización del proyecto.

- Utilizar técnicas cuantitativas para validar los componentes del modelo. Por ejemplo, el uso de la teoría de colas en el dimensionamiento inicial. Asimismo el muestreo secuencial y las técnicas de reducción de varianza fueron de gran ayuda en el diseño de experimentos.
- Llevar a cabo análisis de sensibilidad para determinar factores importantes en el modelo. En caso de detectar que un factor más influyente, éste deberá modelarse concienzudamente.
- Revisar los resultados de la simulación y la animación para ver si parecen coherentes. Se puede considerar una única entidad que entre en el modelo y siga la lógica del sistema para ver si es coherente. También se puede analizar el comportamiento del sistema en condiciones extremas...

Así, en el presente proyecto se han tenido en cuenta aquellas pautas que quedaban dentro del alcance.

NOTA: Todos los detalles referentes a la programación del modelo se pueden ver en el fichero del modelo de simulación en Arena incluido en el CD adjunto.

CAPÍTULO 4. DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Una vez validado el modelo de simulación del CAMTNA, es preciso tomar una serie de decisiones tácticas como la longitud de las replicaciones, el periodo de calentamiento, y el número necesario de replicaciones para alcanzar unos resultados adecuados.

4.1 Análisis Estadísticos de los Resultados de Simulación

4.1.1. Propiedades Estadísticas de los Datos de Salida

La simulación de un sistema es un experimento de muestreo estadístico artificial basado en el ordenador; por ello, los resultados de un estudio de simulación tendrán sentido si se utilizan las herramientas estadísticas apropiadas para su diseño y análisis. Un aspecto relevante de los datos obtenidos de la simulación es que, en general, forman procesos autocorrelados y no estacionarios, por lo que las técnicas estadísticas basadas en observaciones independientes e idénticamente distribuidas no son aplicables.

Veamos más detenidamente cuál es la naturaleza aleatoria de una salida de simulación. Consideremos un proceso estocástico que represente la salida de una característica específica del sistema en cuestión, por ejemplo el tiempo en cola de los pacientes en un centro médico. Representamos de esta manera, el tiempo de paciente i -ésimo por la variable Y_i . Estas variables aleatorias Y_i no son, en general, ni independientes ni idénticamente distribuidas. Está claro que el tiempo de espera del cliente que llega en la posición i estará relacionado con el tiempo que haya esperado el cliente que lo ha precedido, y que si el sistema arranca vacío, es decir, con las tecnologías desocupadas, $Y_1=0$, teniendo distinta distribución al resto.

Supongamos que ejecutamos de forma independiente n veces el modelo de simulación, utilizando distintas semillas e inicializando en cada una de ellas los contadores estadísticos. Si en cada ejecución hemos tomado m datos, los resultados son:

$$\begin{array}{cccccc} y_{11} & \cdots & y_{1i} & \cdots & y_{1m} \\ y_{21} & \cdots & y_{2i} & \cdots & y_{2m} \\ & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{n1} & \cdots & y_{ni} & \cdots & y_{nm} \end{array}$$

Si nos fijamos en los resultados por columnas, las observaciones $y_{1i}, \dots, y_{ji}, \dots, y_{ni}$ son independientes y proceden de la misma distribución Y_i , tiempo en cola del i -ésimo cliente.

4.1.2. Estado Transitorio y Estado Estacionario de un Proceso Estocástico

Consideremos la función de distribución de cada variable aleatoria del proceso estocástico de salida de la simulación, $F_i(y/I) = P(Y_i \leq y / I)$ $i = 1, 2, \dots$ donde I representa las condiciones iniciales en que se encuentra el sistema en el tiempo $t=0$. En general, $F_i(y/I)$ será diferente para cada valor de i y también para cada valor de i y también para cada conjunto distinto de condiciones iniciales I . Diremos que, dado un conjunto de condiciones iniciales I , el proceso estocástico sigue una distribución estacionaria $F(y/I)$ si, para cualquier valor y , las series $F_1(y/I), F_2(y/I), \dots$ satisfacen

$$F_i(y/I) \xrightarrow{n \rightarrow \infty} F(y/I)$$

Normalmente, el límite de la distribución no depende de las condiciones iniciales; en este caso el proceso se denomina ergódico, pues se olvida de las condiciones iniciales, y la distribución $F(y)$ es la distribución estacionaria del proceso.

Aunque $F(y)$ se obtiene cuando $i \rightarrow \infty$, en la práctica existe un valor k , de forma que se puede considerar $F_{k+1}(y) \approx F_{k+m}(y)$ diciéndose que el estado estacionario del proceso comienza en el tiempo $k+1$. Se considera entonces que las variables aleatorias Y_{k+1}, Y_{k+2}, \dots tienen aproximadamente la misma distribución y que ésta es la distribución estacionaria $F(y)$. de todos modos, las observaciones de estas variables en una ejecución de la simulación y_{k+1}, y_{k+2}, \dots siguen siendo dependientes.

Aunque la distribución estacionaria $F(y)$ no dependa de las condiciones iniciales I , sí depende la velocidad a la que se produce la convergencia y por tanto, el punto k a partir del cual se puede considerar que se ha alcanzado el estado estacionario.

4.1.3. Simulación con o sin Punto de Finalización

El funcionamiento de un sistema puede tener un punto en el tiempo a partir del cual el sistema se regenera y vuelve a funcionar como en el instante inicial. Por ejemplo, el centro de salud que al cabo de 12 horas de atención al público cierra sus puertas, comenzando cada día de nuevo en situación similar. En este caso existe un evento natural que nos especifica el final de la simulación. A la simulación que se emplea para el estudio de estas situaciones se le denomina simulación con punto de finalización.

En otras ocasiones el sistema funciona de forma ininterrumpida siendo el objetivo del estudio conocer cómo se comporta en el largo plazo. En esta situación el modelo de

simulación no tiene ningún evento que le marque de forma lógica su finalización. A este tipo de simulación se le conoce con el nombre de simulación sin punto de finalización. Podemos pensar en un proceso de producción o más similar al estudio del presente proyecto, en un centro de urgencias de un hospital, en el que se quiere conocer alguna medida de desempeño a largo plazo, como el tiempo medio en espera por paciente. Las primeras observaciones que se tomen vendrán muy influenciadas por la situación inicial que se defina no siendo de interés para el estudio. Las conclusiones habrá que sacarlas de las observaciones que se tomen cuando el sistema esté suficientemente rodado, esto es, cuando haya alcanzado su estado estacionario.

4.2 Simulación del CAMTNA. Simulación sin Punto de Finalización

A priori, el funcionamiento del centro médico conduce a pensar que su simulación sería con punto de finalización, ya que el centro abre y cierra todos los días a la misma hora, por lo tanto hay un evento E , el cierre al final del día, que inicializa todas las variables de funcionamiento. Si este fuera efectivamente el caso, los datos deberían ser recogidos realizando n ejecuciones independientes del programa de simulación, todas inicializadas bajo las mismas condiciones iniciales en el $t=0$, y finalizadas cuando ocurre el evento E .

Sin embargo, cabe destacar la existencia de la bolsa de espera, donde los pacientes derivados desde Atención Primaria, Urgencias o consultas especializadas esperan a ser citados para un día determinado al CAMTNA. El estudio de esta bolsa es de carácter continuo, es decir, es de máxima importancia conocer cómo evoluciona su tamaño a lo largo de las semanas y de los meses; por lo tanto, carece de sentido considerar el presente modelo de simulación con punto de finalización. Dicho esto, contemplamos el modelo del CAMTNA como una **simulación sin punto de finalización**.

4.2.1 Simulación sin Punto de Finalización. Cálculo del Periodo de Calentamiento

En modelos de simulación sin punto de finalización, nos interesa evaluar el comportamiento a largo plazo del sistema. Por ejemplo, en el presente proyecto, una variable interesante a estudiar sería el tamaño de la bolsa de espera.

Supongamos Y_1, Y_2, \dots el proceso estocástico que representa la característica de interés durante la ejecución del modelo. Por ejemplo, Y_j puede ser el tiempo de espera en la bolsa al principio del día j . Asumimos que

$$P(Y_j \leq y) = F_j(y) \xrightarrow{j \rightarrow \infty} F(y) = P(Y \leq y)$$

donde Y es la variable aleatoria, tiempo de espera en la bolsa, en el estado estacionario.

Veamos como estimar el valor medio de la variable:

$$\mu = \lim_{j \rightarrow \infty} E(Y_j) = E(Y)$$

Como cada distribución F_j son, en general, distintas a F , la media de las primeras m variables, denotada como:

$$\bar{Y}(m) = \sum_{i=1}^m Y_i / m$$

no será igual que μ , la media en el estado estacionario, es decir:

$$E(\bar{Y}(m)) \neq \mu \quad \forall m$$

Sin embargo, como el proceso alcanza el estado estacionario, las variables que forman parte de la sucesión tienden a tomar el valor de la variable límite Y . De hecho, una forma de estimar la media de la variable en estado estacionario es omitiendo las observaciones tomadas durante el inicio de la simulación y usar solo las últimas observaciones para los cálculos. El periodo de simulación durante el cual no se toman observaciones para los cálculos se denomina **periodo de calentamiento**. Si, después de una simulación larga del modelo se ha recogido la muestra $y_1, y_2, \dots, y_l, y_{l+1}, \dots, y_m$ entonces la media se estima a partir de las observaciones tomadas después del periodo de calentamiento, el cual se denota por l , será:

$$\bar{y}(m, l) = \frac{\sum_{i=l+1}^m y_i}{m - l}$$

Por lo tanto, se omiten las observaciones que están más intensamente influenciadas por las condiciones iniciales del modelo, en el caso del modelo de simulación del CAMTNA, éstas serían el llenado inicial de la bolsa.

La cuestión es cómo determinar la longitud del periodo de calentamiento l , periodo durante los procesos estocásticos de interés se encontrarán en su estado transitorio. Una de las técnicas más simples es el método gráfico propuesto por Welch (1983), el cual presenta un procedimiento que determina el valor de l tal que

$$E(Y_i) \approx \mu \quad \forall i \geq l$$

El método consta de cuatro pasos:

- 1- El modelo de simulación se ejecuta n veces ($n \geq 5$) y cada ejecución tiene una longitud m (donde m sea suficientemente grande). Suponemos y_{ji} la i -ésima observación de la j -ésima ejecución del modelo de simulación con $j = 1, \dots, n$ e $i = 1, \dots, m$.

- 2- Se define el proceso de valores de media $\bar{y}_i = \frac{\sum_{j=1}^n y_{ji}}{n}$ $i=1, \dots, m$ que satisface la propiedad $E(\bar{Y}_i) = E(Y_i)$ pero con menos varianza que las variables originales, $V(\bar{Y}_i) = V(Y_i)/n$. Esto proporciona un nuevo proceso con la misma media pero menor varianza.

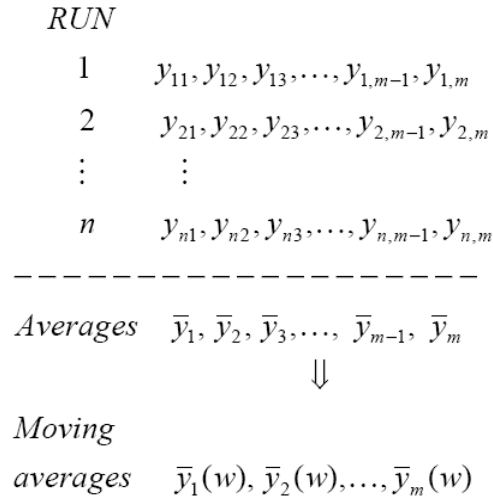
- 3- Ahora el proceso de medias ha sido suavizado mediante el uso del método de las medias móviles con una ventana w . Este procedimiento elimina las altas frecuencias y conserva las bajas, que son las que definen la tendencia de las series. Las medias móviles se calculan de la siguiente manera:

$$\bar{y}_i(w) = \begin{cases} \frac{\sum_{s=-w}^w \bar{y}_{i+s}}{2w+1} & \text{si } i = w+1, \dots, m-w \\ \frac{\sum_{s=-(i-1)}^{i-1} \bar{y}_{i+s}}{2i-1} & \text{si } i = 1, \dots, w \end{cases}$$

- 4- La nueva serie $\bar{y}_i(w)$ $i = 1, \dots, m-w$, es representada. El valor para l se escoge como el mínimo valor a partir del cual la serie parece que converge.



El procedimiento se resume en el siguiente gráfico:



Siguiendo el método descrito en el apartado anterior, se ha procedido a estimar el periodo de calentamiento.

Para ello, se ha usado el módulo *ReadWrite* de Arena y se ha procedido a la recogida de datos en un fichero Excel. El estudio se ha realizado basado en una variable que representa el tamaño de la bolsa, ya que es este parámetro el que interesa que sea estable. Dicha variable es la denominada *num_en_bolsa*, que representa el número de pacientes que permanecen en la bolsa de espera al final de cada día.

Se han ejecutado 5 replicaciones, con una longitud de replicación de 2000 días hábiles, es decir, 8 años. En cada replicación se han obtenido 2000 datos, el número de pacientes en bolsa al final del día. A continuación, se presenta la gráfica en la que vienen representadas las 5 curvas, junto con la media convencional de los valores del número de pacientes en bolsa de cada día, y las medias móviles para ventanas de 10 y 20 días.

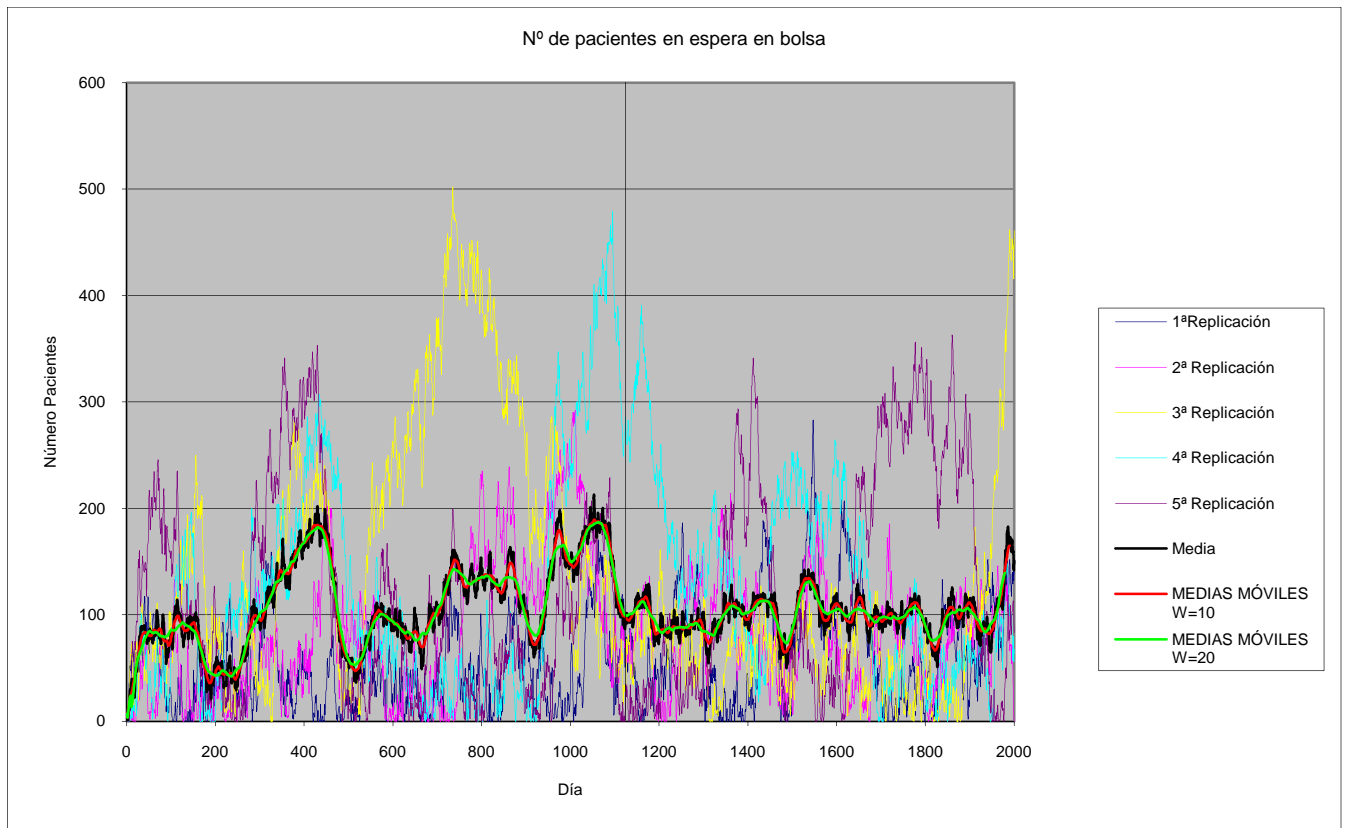


Ilustración 25: Gráfico Excel para la Determinación del Periodo de Calentamiento.

Como se puede observar en el gráfico, a partir de aproximadamente el día 1.100 las curvas comienzan a estabilizarse; este punto marca el paso del estado transitorio al estacionario. Por tanto consideramos el *periodo de calentamiento es de 1.100 días*.

El fichero Excel donde quedan recogidos todos los datos y el gráfico para la determinación del periodo de calentamiento se ha incluido en el CD adjunto a la memoria.

4.2.3 Muestreo Secuencial. Cálculo del Número de Replicaciones

El muestreo secuencial es un método para aproximar el número de replicaciones o la longitud de la replicación necesarios para alcanzar la precisión de la estimación deseada, y así obtener observaciones independientes de las variables a estudiar.

Tanto para el caso de modelos con punto de finalización como para modelos en estado estable con replicaciones truncadas es necesario programar en Arena un bucle para mantener la simulación durante una “etapa” y parar cuando se haya alcanzado la precisión deseada. En el caso de nuestro modelo, que es sin punto de finalización, una “etapa” se corresponde con otra replicación.

Para entender la lógica del bucle en Arena, definiremos algunas variables internas del software:

- ORUNHALF(Output ID) = amplitud (half-width) del IC al 95% utilizando las replicaciones completadas.

En el modelo de simulación del CAMTNA utilizamos como salida de control el número medio de pacientes en espera en la bolsa.

- MREP = número total de replicaciones consideradas. Inicialmente, MREP es el número de replicaciones en *Run/Setup/Replication Parameters*.
- NREP = número de replicaciones realizadas hasta el momento (1, 2, 3, ...).

Por tanto, la lógica programada en el modelo de simulación del centro médico es la siguiente:

- Si sólo ha realizado una replicación ($n=MREP=1$), hace otra ya que con una replicación es incapaz de calcular un I.C. Una replicación es una muestra.
- Habiendo realizado una replicación, si la amplitud del IC con las replicaciones completadas no es menor que la deseada sigue aumentando el número de replicaciones (MREP).
- Cuando ninguna de las dos opciones se cumpla entonces el número de replicaciones realizadas hasta el momento (la variable NREP en Arena), se igualará al número total de replicaciones consideradas (MREP).

En el presente proyecto se ha utilizado como medida que la amplitud del IC del número medio en cola de la bolsa fuera menor que 10 pacientes y Arena se detuvo en la cuarta ejecución de 4.850 días.

4.2.4 Técnica de Reducción de Varianza

Para reducir la variabilidad de los datos que tanto influye en la precisión de las estimaciones de los intervalos de confianza, en los contrastes de hipótesis etc. es necesario aplicar técnicas de reducción de varianza.

Una forma de reducir la varianza cuando se quiere comparar configuraciones es mediante los números aleatorios comunes. La idea es sincronizar los números aleatorios que están detrás de todos los datos con los que Arena opera, para que simulemos bajo las mismas condiciones externas. Esto será especialmente útil cuando queremos comparar dos configuraciones alternativas y no queremos que la aleatoriedad sea debida a los números aleatorios.

Arena tiene programado un generador de números aleatorios denominado *combined multiple recursive generator (CMRG)*; su funcionamiento es el siguiente:

$$A_n = (1403580 A_{n-2} - 810728 A_{n-3}) \bmod 4294967087$$

$$B_n = (527612 B_{n-1} - 1370589 B_{n-3}) \bmod 4294944443$$

$$Z_n = (A_n - B_n) \bmod 4294967087$$

$$U_n \left\{ \begin{array}{l} Z_n / 4294967088 \text{ si } Z_n > 0 \\ 4294967087 / 4294967088 \text{ si } Z_n = 0 \end{array} \right\}$$

Programar esto en Arena es sencillo gracias a la división del generador de Arena en Streams y Substreams. La secuencia se divide en 1.8×10^{19} streams de longitud 1.7×10^{38} cada uno. A su vez, cada stream puede dividirse en 2.3×10^{15} substreams de longitud 7.6×10^{22} . Por defecto, Arena usa el stream 10. La primera replicación la hará en el substream 1 del stream 10, la segunda replicación la hará en el substream 2 del stream 10 y así sucesivamente. Para conseguir la sincronización indicaremos el stream cada vez que tengamos una distribución. Tanto en la alternativa 1 como en la alternativa 2, tendremos que usar los mismos streams en los módulos análogos. Esto se consigue sencillamente añadiendo el número del stream que se quiere utilizar detrás de los parámetros de la distribución, por ejemplo, UNIF(12,14,4), para usar el stream 4 en la generación de la distribución uniforme de mínimo 12 y máximo 14.

En las siguientes figuras se muestra como se ha programado la técnica en distintos módulos:

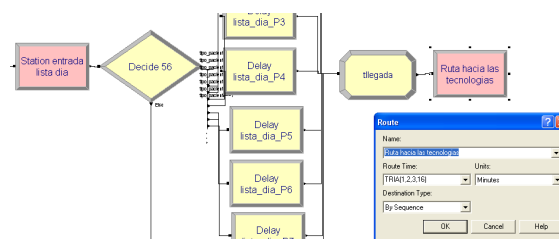


Ilustración 26: Programación de la Técnica de Reducción de Varianza en el Tiempo de Ruta.

Station Name	Step Name	Next Step	Assignments
1 TAC	step 1 de paciente_P1		1 rows
2 RX	step 2 de paciente_P1		1 rows
3 RMN	step 3 de paciente_P1		1 rows
4 C1	step 4 de paciente_P1		1 rows
5 Salida del sistema	step 5 de paciente_P1		0 rows

Assignment Type	Attribute Name	Value
Attribute	tiempo de proceso TAC	UNIF(45,60,3)

Ilustración 27: Programación de la Técnica de Reducción de Varianza en los Tiempos de Proceso.

Para controlar los números aleatorios en los sorteos (módulo *decide*, “by chance”), es necesario desglosar la programación del módulo, introduciendo un módulo *assign* para generar una observación de la distribución $U(0,1)$ donde se puede controlar la secuencia de números aleatorios, y utilizar el módulo *decide*, con “by condition” para programar el resultado del sorteo, como se muestra en la siguiente figura:

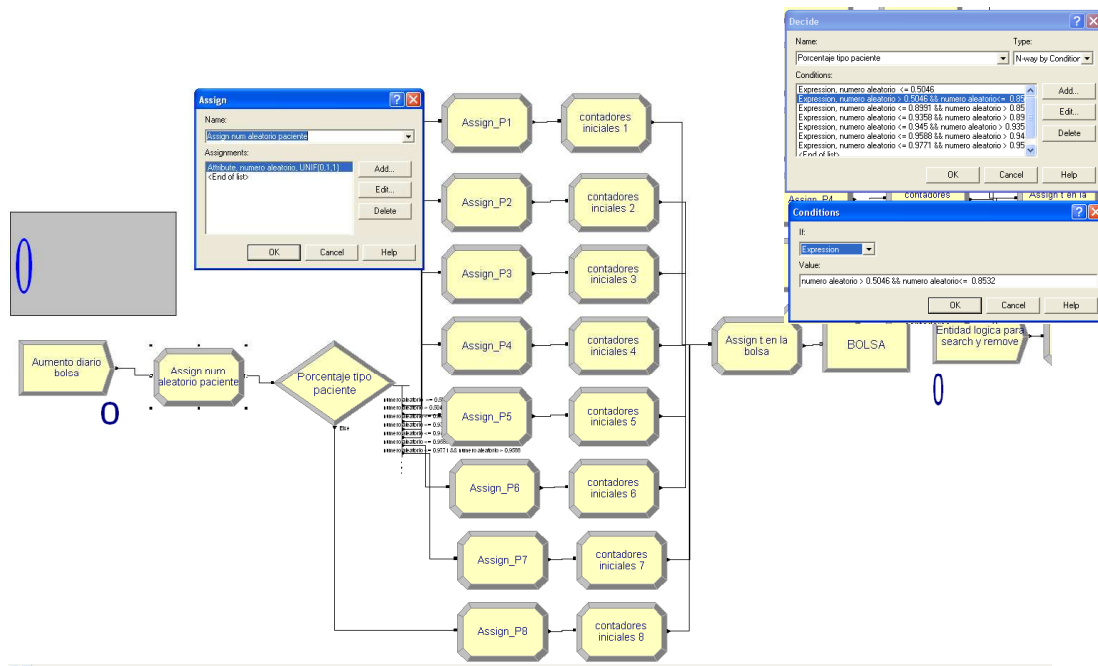


Ilustración 28: Programación de la Técnica de Reducción de Varianza en el Sorteo de Paciente.

4.2.5 Parámetros de Ejecución de la Simulación

Con todo lo anterior, la simulación ha sido ejecutada para 50 replicaciones de 4850 días (15 años más el periodo de calentamiento que son 1100 días) por replicación.

CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La simulación está diseñada para ser flexible y capaz de evaluar los resultados para diferentes escenarios. En el presente proyecto, se lleva a cabo el análisis de los resultados generados tras la ejecución de las dos alternativas de gestión de los pacientes en bolsa, descritas en el capítulo 3.

Con el fin de comparar los dos posibles políticas de gestión de la bolsa, se ha hecho uso de uno de los paquetes de Arena, el *Output Analyzer*. Para ello, se han definido varios estadísticos con el módulo *Statistic*, y obtenido varios ficheros de salida con toda la información estadística acerca de las variables incluidas en dicho módulo. En la siguiente figura se muestran algunos de las variables recogidas en ficheros, que globalmente son: los datos de la bolsa (número total de pacientes en espera en la bolsa y clasificados por tipo de paciente); las tasas de utilización de los recursos; y los tiempos en cola por tipo de paciente.

Statistic - Advanced Process								
	Name	Type	Tally Name	Tally Output File	Expression	Report Label	Output File	
12	tasa_utilizacion_TAC8	Output	Tally 12		ResUtil(Recurso_TAC8)	tasa_utilizacion_TAC8	tasa_utilizacion_TAC8.dat	
13	tasa_utilizacion_TAC9	Output	Tally 13		ResUtil(Recurso_TAC9)	tasa_utilizacion_TAC9	tasa_utilizacion_TAC9.dat	
14	tasa_utilizacion_TAC10	Output	Tally 14		ResUtil(Recurso_TAC10)	tasa_utilizacion_TAC10	tasa_utilizacion_TAC10.dat	
15	tasa_utilizacion_TAC11	Output	Tally 15		ResUtil(Recurso_TAC11)	tasa_utilizacion_TAC11	tasa_utilizacion_TAC11.dat	
16	tasa_utilizacion_RMN1	Output	Tally 16		ResUtil(Recurso_RMN1)	tasa_utilizacion_RMN1	tasa_utilizacion_RMN1.dat	
17	tasa_utilizacion_RMN2	Output	Tally 17		ResUtil(Recurso_RMN2)	tasa_utilizacion_RMN2	tasa_utilizacion_RMN2.dat	
18	tasa_utilizacion_RMN3	Output	Tally 18		ResUtil(Recurso_RMN3)	tasa_utilizacion_RMN3	tasa_utilizacion_RMN3.dat	
19	tasa_utilizacion_RMN4	Output	Tally 19		ResUtil(Recurso_RMN4)	tasa_utilizacion_RMN4	tasa_utilizacion_RMN4.dat	
20	tasa_utilizacion_RMN5	Output	Tally 20		ResUtil(Recurso_RMN5)	tasa_utilizacion_RMN5	tasa_utilizacion_RMN5.dat	
21	tasa_utilizacion_RMN6	Output	Tally 21		ResUtil(Recurso_RMN6)	tasa_utilizacion_RMN6	tasa_utilizacion_RMN6.dat	
22	tasa_utilizacion_RMN7	Output	Tally 22		ResUtil(Recurso_RMN7)	tasa_utilizacion_RMN7	tasa_utilizacion_RMN7.dat	
23	tasa_utilizacion_RMN8	Output	Tally 23		ResUtil(Recurso_RMN8)	tasa_utilizacion_RMN8	tasa_utilizacion_RMN8.dat	
24	tasa_utilizacion_RMN9	Output	Tally 24		ResUtil(Recurso_RMN9)	tasa_utilizacion_RMN9	tasa_utilizacion_RMN9.dat	
25	tasa_utilizacion_RMN10	Output	Tally 25		ResUtil(Recurso_RMN10)	tasa_utilizacion_RMN10	tasa_utilizacion_RMN10.dat	
26	tasa_utilizacion_RMN11	Output	Tally 26		ResUtil(Recurso_RMN11)	tasa_utilizacion_RMN11	tasa_utilizacion_RMN11.dat	
27	tasa_utilizacion_UIV1	Output	Tally 27		ResUtil(Recurso_UIV1)	tasa_utilizacion_UIV1	tasa_utilizacion_UIV1.dat	
28	tasa_utilizacion_UIV2	Output	Tally 28		ResUtil(Recurso_UIV2)	tasa_utilizacion_UIV2	tasa_utilizacion_UIV2.dat	
29	tasa_utilizacion_ecografia	Output	Tally 29		ResUtil(Recurso_ecografia)	tasa_utilizacion_ecografia	tasa_utilizacion_ecografia.dat	
30	tasa_utilizacion_PET	Output	Tally 30		ResUtil(Recurso_PET)	tasa_utilizacion_PET	tasa_utilizacion_PET.dat	
31	tasa_utilizacion_cit.uretoscopia	Output	Tally 31		ResUtil(Recurso_cit.uretoscopia)	tasa_utilizacion_cit.uretoscopia	tasa_utilizacion_cit.uretoscopia.dat	
32	tasa_utilizacion_broncoscopia	Output	Tally 32		ResUtil(Recurso_broncoscopia)	tasa_utilizacion_broncoscopia	tasa_utilizacion_broncoscopia.dat	
33	tasa_utilizacion_analisis	Output	Tally 33		ResUtil(Recurso_analisis)	tasa_utilizacion_analisis	tasa_utilizacion_analisis.dat	
34	tasa_utilizacion_PAAF	Output	Tally 34		ResUtil(Recurso_PAAF)	tasa_utilizacion_PAAF	tasa_utilizacion_PAAF.dat	
35	tasa_utilizacion_C1_1	Output	Tally 35		ResUtil(Recurso_C1_1)	tasa_utilizacion_C1_1	tasa_utilizacion_C1_1.dat	
36	tasa_utilizacion_C1_2	Output	Tally 36		ResUtil(Recurso_C1_2)	tasa_utilizacion_C1_2	tasa_utilizacion_C1_2.dat	
37	tasa_utilizacion_C1_3	Output	Tally 37		ResUtil(Recurso_C1_3)	tasa_utilizacion_C1_3	tasa_utilizacion_C1_3.dat	
38	tasa_utilizacion_C1_4	Output	Tally 38		ResUtil(Recurso_C1_4)	tasa_utilizacion_C1_4	tasa_utilizacion_C1_4.dat	
39	tasa_utilizacion_C1_5	Output	Tally 39		ResUtil(Recurso_C1_5)	tasa_utilizacion_C1_5	tasa_utilizacion_C1_5.dat	
40	tasa_utilizacion_C1_6	Output	Tally 40		ResUtil(Recurso_C1_6)	tasa_utilizacion_C1_6	tasa_utilizacion_C1_6.dat	
41	tasa_utilizacion_C3	Output	Tally 41		ResUtil(Recurso_C3)	tasa_utilizacion_C3	tasa_utilizacion_C3.dat	
42	tasa_utilizacion_C4	Output	Tally 42		ResUtil(Recurso_C4)	tasa_utilizacion_C4	tasa_utilizacion_C4.dat	
43	tasa_utilizacion_C6	Output	Tally 43		ResUtil(Recurso_C6)	tasa_utilizacion_C6	tasa_utilizacion_C6.dat	
44	numero_total_en_bolsa	Tally	ptotal en bolsa al final del dia	numero_total_en_bolsa.dat		numero_total_en_bolsa		
45	pacientesP1_en_bolsa	Tally	p1 en bolsa al final del dia	pacientesP1_en_bolsa.dat		pacientesP1_en_bolsa		
46	pacientesP2_en_bolsa	Tally	p2 en bolsa al final del dia	pacientesP2_en_bolsa.dat		pacientesP2_en_bolsa		
47	pacientesP3_en_bolsa	Tally	p3 en bolsa al final del dia	pacientesP3_en_bolsa.dat		pacientesP3_en_bolsa		
48	pacientesP4_en_bolsa	Tally	p4 en bolsa al final del dia	pacientesP4_en_bolsa.dat		pacientesP4_en_bolsa		
49	pacientesP5_en_bolsa	Tally	p5 en bolsa al final del dia	pacientesP5_en_bolsa.dat		pacientesP5_en_bolsa		
50	pacientesP6_en_bolsa	Tally	p6 en bolsa al final del dia	pacientesP6_en_bolsa.dat		pacientesP6_en_bolsa		
51	pacientesP7_en_bolsa	Tally	p7 en bolsa al final del dia	pacientesP7_en_bolsa.dat		pacientesP7_en_bolsa		
52	pacientesP8_en_bolsa	Tally	p8 en bolsa al final del dia	pacientesP8_en_bolsa.dat		pacientesP8_en_bolsa		
53	tiempo_en_cola_P1	Tally	t_colaP1	tiempo_en_cola_P1.dat		tiempo_en_cola_P1		

Ilustración 29: Módulo Statistic.

El interés de este proyecto se centra en determinar qué alternativa es más favorable en base a una serie de criterios:

- Minimización de tiempo en espera de los pacientes.
- Maximización de la tasa de utilización de los recursos.
- Minimización del tamaño de la bolsa de espera.

Los resultados proporcionados por Arena (*Category Overviews*) para la alternativa 1 y 2 se encuentran recogidos en el CD adjunto a la memoria. A continuación se hace una análisis preliminar con la información obtenida, es decir, se comentan los resultados a simple vista, haciendo hincapié en las medidas de funcionamiento más importantes para el proyecto y en las diferencias de éstas dentro de una alternativa o la otra. Para finalizar el capítulo, se presentan los resultados obtenidos del *output analyzer*, es decir la comparación de medias entre ambas alternativas y su estudio estadístico.

Uno de los aspectos fundamentales a comentar a partir de estos informes es la ausencia de una alternativa notoriamente superior a la otra. Ambas han sido pensadas y programadas para resultar políticas de gestión eficientes para el dimensionamiento propuesto, de ahí que las diferencias sean mínimas.

➤ *Resultados referentes a la bolsa de espera*

Analizamos en primer lugar los datos referentes a la bolsa: el tiempo medio en la bolsa de espera de los pacientes que llegan al CAMTNA, así como el tiempo medio en bolsa recogido por tipo de paciente. Los resultados se muestran en la siguiente figura:

Interval	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
tiempo en bolsa	1044.96	57,13	739.59	1681.22	360.00	7560.00
tiempo en la bolsa P1	1068.98	64,75	712.43	1787.61	360.00	6120.00
tiempo en la bolsa P2	1064.90	64,91	706.88	1787.00	360.00	6120.00
tiempo en la bolsa P3	1044.69	26,40	853.79	1223.81	360.00	7560.00
tiempo en la bolsa P4	1043.52	26,75	846.85	1226.69	360.00	7560.00
tiempo en la bolsa P5	1410.37	56,30	1090.12	2050.37	360.00	7560.00
tiempo en la bolsa P6	1408.06	56,27	1082.14	2068.41	360.00	7560.00
tiempo en la bolsa P7	400.90	2,09	385.57	419.14	360.00	3240.00
tiempo en la bolsa P8	360.00	0,00	360.00	360.08	360.00	1800.00

Ilustración 30: Resultados de la Bolsa. Alternativa 1.

Interval	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
tiempo en bolsa	1000.94	57,24	685.65	1639.02	360.00	6120.00
tiempo en la bolsa P1	1057.56	64,30	701.61	1774.85	360.00	6120.00
tiempo en la bolsa P2	1057.94	64,32	701.46	1777.52	360.00	6120.00
tiempo en la bolsa P3	709.84	12,51	632.83	823.89	360.00	4680.00
tiempo en la bolsa P4	708.97	12,62	627.24	826.12	360.00	4680.00
tiempo en la bolsa P5	1058.16	63,92	695.55	1763.85	360.00	6120.00
tiempo en la bolsa P6	1058.21	64,31	695.74	1782.25	360.00	6120.00
tiempo en la bolsa P7	394.13	1,78	382.00	408.77	360.00	3240.00
tiempo en la bolsa P8	360.00	0,01	360.00	360.31	360.00	1800.00

Ilustración 31: Datos de la Bolsa. Alternativa 2.

A partir de los resultados anteriores se observan unos intervalos de confianza al 95% para el tiempo medio en bolsa de [987.83 , 1102.09] min para la alternativa 1 y [943.7 , 1058.18] min para la 2. Así, se puede hablar de una ligera mejoría de la alternativa 2 frente a la 1, 44.02 min en media.

Si nos fijamos en el tiempo medio en la bolsa de espera por tipo de paciente, se hace clara la diferencia entre alternativas para los pacientes tipo 3, 4, 5 y 6, con unas diferencias en media en horas de 5.58, 5.58, 5.87, y 5.83, respectivamente, de la alternativa 1 sobre la 2. Éstos son los 4 tipos pertenecientes a la unidad 3 (Urología y Ginecología). Esto manifiesta una mejora significativa de la política 2 frente a la 1 en cuanto a la gestión de los pacientes de dicha unidad.

En cuanto al número de pacientes en la bolsa de espera recogidos al final de cada día, podemos apreciar cifras superiores en la alternativa 1; así por ejemplo, contemplamos cómo el número total de pacientes en espera en la bolsa en media se encuentra comprendido en [95.05 , 112.41] para la alternativa 1 y en [88.37 , 105.75] para la 2, con un nivel de confianza del 95% (ilustraciones 34 y 35). Se observa así un mayor tamaño de la bolsa de espera con el primer modelo de gestión.

Expression	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
p1 en bolsa al final del día	54.1983	4,97	26.7872	109.31	0.00	397.00
p2 en bolsa al final del día	37.2093	3,44	18.2779	75.4696	0.00	272.00
p3 en bolsa al final del día	4.7567	0,19	3.3944	6.0589	0.00	50.0000
p4 en bolsa al final del día	3.7970	0,15	2.7117	4.8045	0.00	42.0000
p5 en bolsa al final del día	1.4618	0,08	1.0189	2.3320	0.00	18.0000
p6 en bolsa al final del día	2.1895	0,12	1.4848	3.5680	0.00	19.0000
p7 en bolsa al final del día	0.1131	0,01	0.07253333	0.1637	0.00	11.0000
p8 en bolsa al final del día	0.00000533	0,00	0.00	0.00026667	0.00	1.0000
ptotal en bolsa al final del día	103.73	8,68	57.3157	200.39	0.00	652.00

Ilustración 32: Número de Pacientes en Bolsa. Alternativa 1.

Expression	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
p1 en bolsa al final del día	53.3254	4,94	25.9629	108.34	0.00	397.00
p2 en bolsa al final del día	36.8421	3,40	17.9917	74.9683	0.00	272.00
p3 en bolsa al final del día	2.4298	0,09	1.8763	3.2331	0.00	31.0000
p4 en bolsa al final del día	1.9384	0,07	1.4883	2.6067	0.00	28.0000
p5 en bolsa al final del día	0.9714	0,09	0.4619	1.9368	0.00	15.0000
p6 en bolsa al final del día	1.4588	0,13	0.6997	2.9704	0.00	18.0000
p7 en bolsa al final del día	0.0944	0,00	0.06213333	0.1349	0.00	12.0000
p8 en bolsa al final del día	0.00002133	0,00	0.00	0.00106667	0.00	4.0000
ptotal en bolsa al final del día	97.0603	8,69	49.1629	193.99	0.00	650.00

Ilustración 33: Número de Pacientes en Bolsa. Alternativa 2.

Resultados referentes a las tasas de utilización de los recursos

Las tasas de utilización de las diferentes tecnologías del CAMTNA, son similares a las obtenidas de forma teórica en el capítulo 3, con una ligera disminución ya que en el modelo de simulación se simulan 13 horas de servicio (de 8 h a 21 h) y las teóricas han sido calculadas en base a 12 horas de funcionamiento.

En la comparativa entre ambas alternativas, no se encuentran grandes diferencias, ya que ambas han logrado maximizar las tasas de utilización hasta el límite, obteniendo para las tecnologías de más uso tasas cercanas al 100%.

Tiempo de espera de los pacientes

El tiempo en cola de los pacientes dentro del centro tampoco sufre diferencias significativas a simple vista de los resultados obtenidos de Arena. Se observan de uno a dos minutos de diferencia entre las medias de ambas alternativas. El porcentaje de tiempo en cola no se ve mejorado significativamente de una alternativa a otra, ya que por un lado, la alternativa 1 proporciona porcentajes medios en cola inferiores para los pacientes tipo 2, 5, 6 y 8; mientras que la segunda alternativa lo hace para el resto de tipos de paciente.

Número de pacientes sacados del centro sin ser atendidos

También es interesante estudiar la cantidad de pacientes que se sacan del centro al final del día sin haber sido atendidos. A continuación se muestran los resultados para ambas alternativas:



Expression	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
num_saca1	7.5109	0,09	6.9280	8.3923	1.0000	38.0000
num_saca2	3.9380	0,02	3.7419	4.1132	1.0000	24.0000
num_saca3	1.8591	0,02	1.7416	2.0278	1.0000	7.0000
num_saca4	1.6877	0,01	1.6088	1.7961	1.0000	7.0000
num_saca5	1.1878	0,00	1.1640	1.2246	1.0000	5.0000
num_saca6	1.2878	0,00	1.2636	1.3259	1.0000	5.0000
num_saca7	1.9542	0,03	1.6968	2.1592	1.0000	14.0000
num_saca8	2.9279	0,02	2.7718	3.0555	1.0000	16.0000

Ilustración 34: Número de Pacientes sacados del Centro. Alternativa 1.

Expression	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
num_saca1	6.1844	0,04	5.8852	6.5559	1.0000	39.0000
num_saca2	3.7095	0,03	3.5372	3.9498	1.0000	19.0000
num_saca3	1.8655	0,02	1.7221	2.0391	1.0000	7.0000
num_saca4	1.6949	0,01	1.6054	1.8048	1.0000	7.0000
num_saca5	1.3945	0,01	1.3410	1.4467	1.0000	7.0000
num_saca6	1.5839	0,01	1.5241	1.6518	1.0000	8.0000
num_saca7	1.9177	0,03	1.6438	2.1388	1.0000	12.0000
num_saca8	2.4945	0,03	2.3289	2.7349	1.0000	15.0000

Ilustración 35: Número de Pacientes sacados del Centro. Alternativa 2.

No se aprecian diferencias alarmantes entre ambas formas de gestión. Sin embargo, se contempla un alto número de pacientes tipo 1, los más frecuentes, obligados a abandonar el centro sin ser atendidos. Para la alternativa 1 este número estaría comprendido en el IC al 95% [7.42 , 7.60] de pacientes en media, y [6.14 , 6.22] pacientes en media para la segunda alternativa. De igual manera, se contempla que para los pacientes tipo 2 este valor estaría en torno a 4 pacientes en media, no tan alto como para los primeros pero importante igualmente. Sería preciso un reajuste en su modo de citación en ambos casos.

5.1 Análisis Estadístico de la Comparativa de Medias entre ambas Alternativas

En la sección anterior se han comentado los resultados proporcionados por Arena de las medidas de funcionamiento más importantes en media. Sin embargo, para poder hablar con precisión y en términos estadísticos de intervalos de confianza, se presenta a continuación el análisis de diferencia de medias entre ambas alternativas llevado a cabo con el *Output Analyzer*, donde la hipótesis nula es que las medias son iguales a un nivel de confianza del 95%, es decir, el intervalo de confianza al 95% contiene al 0.

Resultados referentes a la bolsa de espera

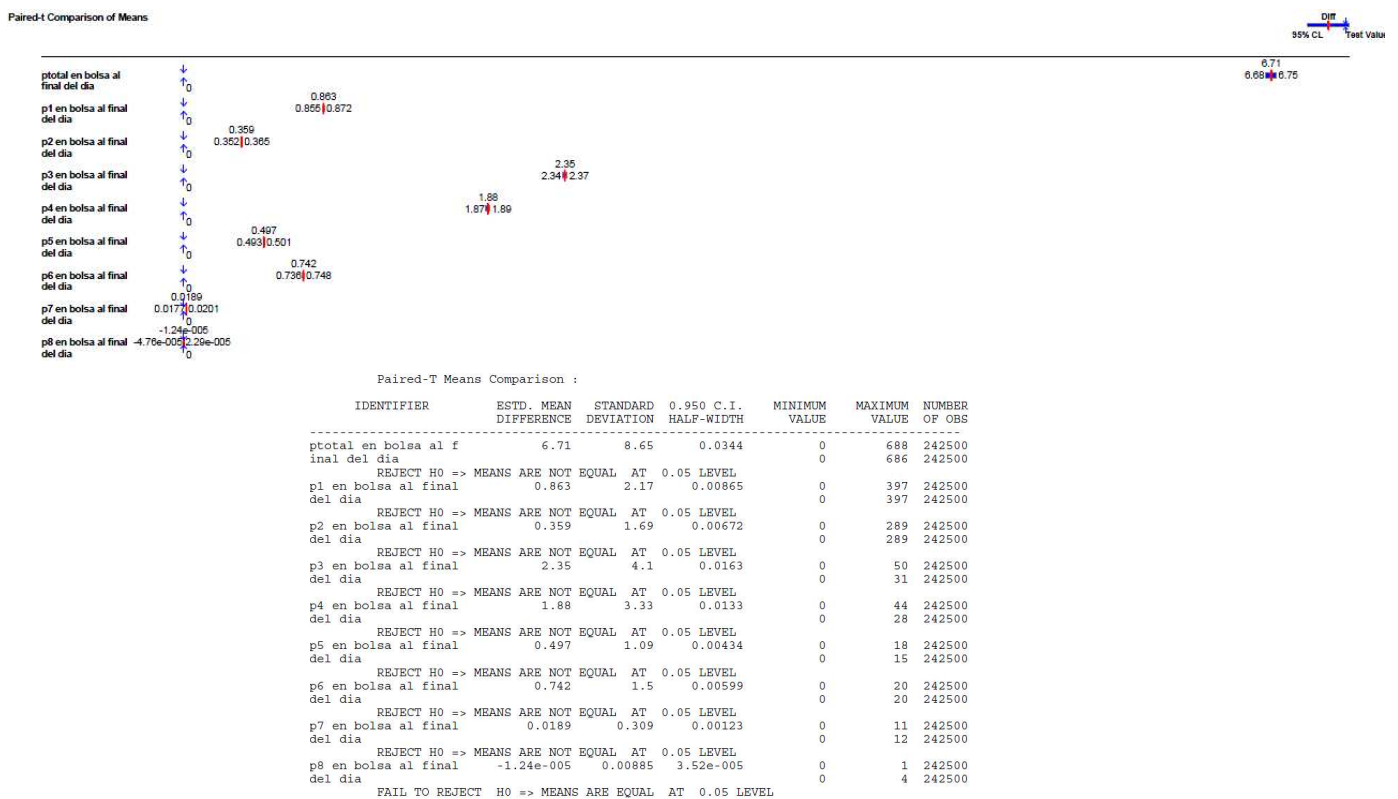


Ilustración 36: Comparación de Medias de Datos de la Bolsa.

Se aprecia como existe diferencia significativa a un nivel de confianza del 95% para el número total de pacientes en la bolsa y para todos los tipos de paciente exceptuando el 7 y 8, es decir, se rechaza la hipótesis nula (las medias no son iguales a un nivel de confianza del 95%) para todos esos casos. La diferencia mayor se obtiene para el valor total de pacientes en bolsa, donde la diferencia en número de pacientes medio está comprendido en el IC 95% [6.68 , 6.75] con media 6.71 pacientes más en la alternativa 1 que en la 2.

Este contraste de medias revela una ligera mejor gestión de la alternativa 2 frente a la 1, en cuanto al tamaño en bolsa.

Resultados referentes a las tasas de utilización de los recursos

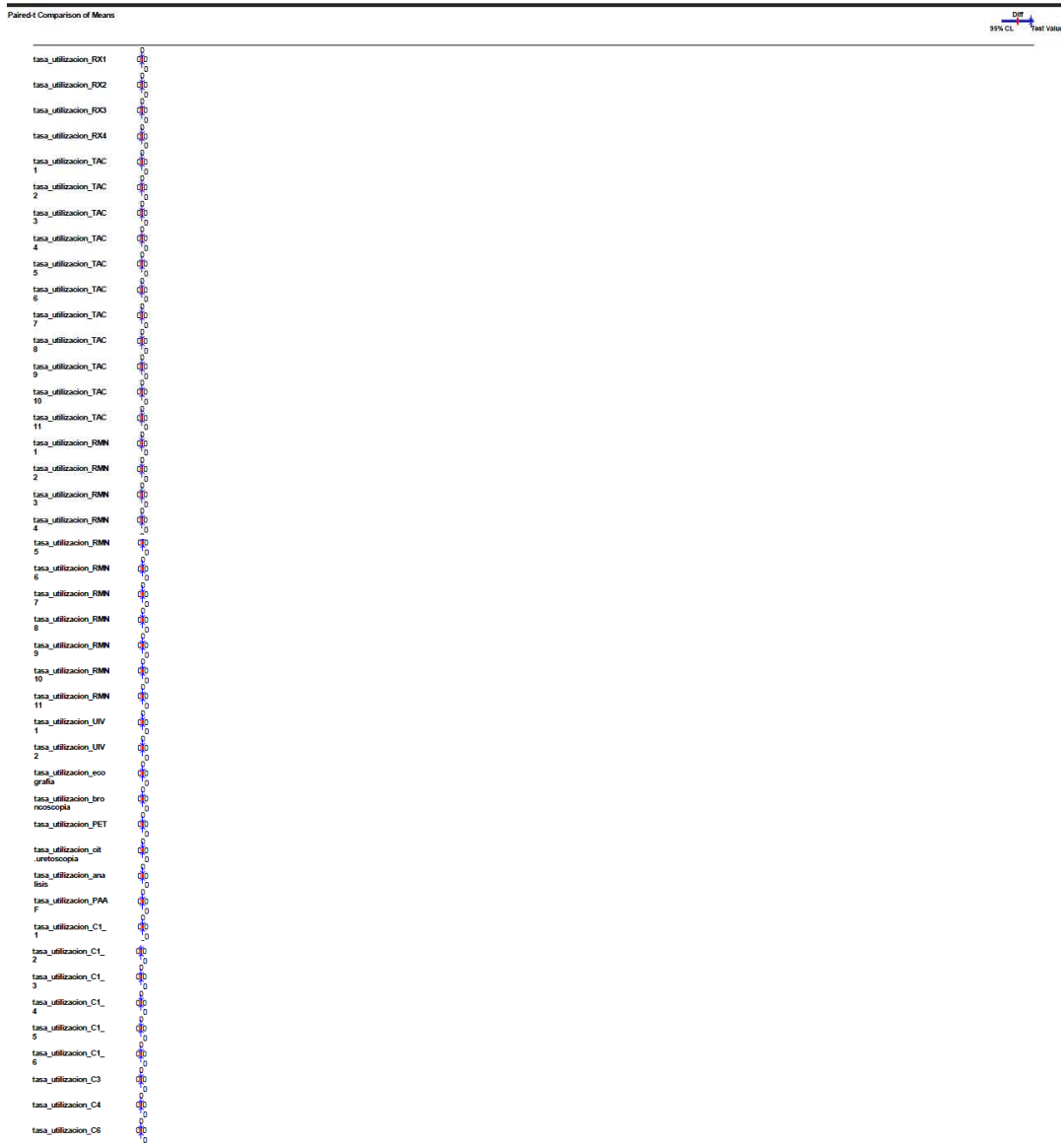


Ilustración 37: Comparación de Medias de Tasas de Utilización.

Se acepta la hipótesis nula de igualdad de medias en este caso, a un nivel de significación del 5%.

Las dos políticas de gestión proporcionan tasas de ocupación de los recursos cercanos a los teóricos.

🕒 *Tiempo de espera de los pacientes*

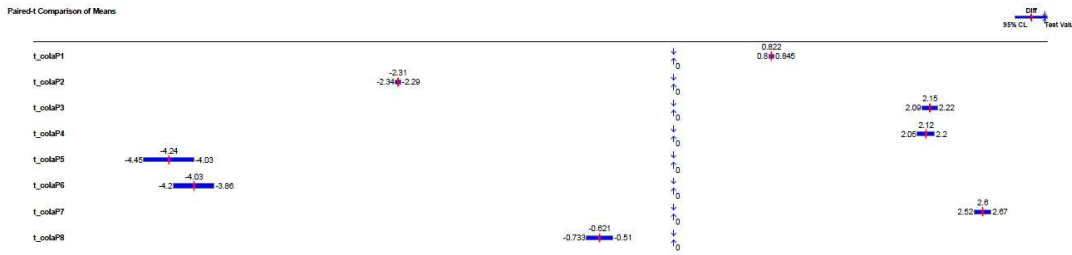


Ilustración 38: Comparación de Medias de Tiempos en Cola por Tipo de Paciente.

Tal y como se había estimado al analizar los resultados a simple vista, la diferencia de tiempo medio en cola por tipo de paciente es favorable en un 50% en cada tipo de alternativa. Por lo tanto no se podría concluir que alguna de las dos formas de gestionar la bolsa aporte una mejora respecto a la otra en cuanto a la reducción de los tiempos medios en espera.

CAPÍTULO 6.- LÍNEAS DE TRABAJO FUTURAS

El presente proyecto constituye una fuente de posibles líneas de trabajo en el futuro, tomando como base este modelo de simulación; la mejora del sistema de citación, la optimización del dimensionamiento del centro o la organización de los turnos de trabajo del equipo médico, son algunas de ellas.

Realmente, son numerosas las líneas de mejora existentes, tanto a nivel de programación del modelo (desarrollando y generalizando el existente), como a nivel organizativo y de gestión.

Otro de los posibles perfeccionamientos sería el uso de técnicas de optimización y reglas de scheduling, que quedan fuera del alcance del presente proyecto. Sin embargo, se plantean y describen a continuación el punto de partida para la posible incorporación futura a este trabajo.

6.1 Optimización y Reglas de Scheduling

Los problemas de *scheduling* (es decir, asignación de recursos y espacios temporales a tareas concretas) pueden surgir en numerosos dominios del mundo real. Las tecnologías de información (IT) son actualmente extensamente utilizadas en producción para resolver este tipo de problemas; sin embargo, el *scheduling* cuando se trata del terreno administrativo y en particular el control del servicio médico, se ha procesado en la gran parte de las situaciones hasta día de hoy manualmente. Esto es debido, en mayor parte, al hecho de que los ERPs (Enterprise resource planning) de hoy en día se aplican al tratamiento de sistemas de naturaleza monolítica. En ambientes heterogéneos tales como servicios sanitarios (hospitales, clínicas, ambulatorios, etc), los ERPs no son fáciles de implementar y tampoco eficaces. El uso de inteligencia artificial (IA) para resolver los problemas de *scheduling* en dichos escenarios resulta prometedor, ya que es capaz de reflejar la naturaleza real del sistema y ayudar a resolver problemas más eficazmente con acciones locales.

En medicina y cuidados sanitarios hay numerosas situaciones en las que los pacientes tienen que ser ordenados, organizados y citados de acuerdo a un horario, para recibir un cierto servicio por parte de recursos tales como tecnologías, máquinas, personal médico, etc. Para una organización óptima, las actividades planeadas deben realizarse en el menor tiempo posible, minimizando el tiempo de espera del paciente y maximizando la tasa de utilización de los recursos. Dado que la planificación de los pacientes de un hospital es una tarea de máxima complejidad, es imposible hacer un diseño cualitativo a mano o incluso con métodos heurísticos exactos. Por ello, existen diversos métodos de optimización para la planificación o *scheduling*, tales como los **algoritmos genéticos** y



la **programación por metas** (*goal programming*), que, junto con un modelo de simulación, ayudan a la obtención de las mejores soluciones en estos casos. Con independencia del método utilizado, hay varias reglas básicas que deben ser cumplidas para poder construir correctamente un sistema de *scheduling* efectivo:

- En primer lugar, se debe garantizar que las soluciones obtenidas sean factibles y que satisfagan las restricciones dadas en problema.
- Además, el sistema tiene que ser eficiente como para encontrar una solución adecuada en un determinado periodo de tiempo y que sea útil para la aplicación al problema real.
- Además de las restricciones básicas, hay muchas otras no obligatorias que, en el caso de ser satisfechas, ayudan a mejorar la calidad del sistema de *scheduling*; y en el caso particular de *scheduling* de pacientes, éstas son indispensables. Una de estas propiedades es la generalidad del sistema; garantizará la posibilidad de usar el sistema para diferentes tipos de problemas de *scheduling*. Otra de las propiedades no obligatorias es la posibilidad de interacción del usuario en la fase de desarrollo de la solución; cuando se trata de *scheduling* de pacientes, esta propiedad es necesaria, ya que es muy probable que haya cambios en la demanda de recursos, bajas, horas punta, etc.
- También es de gran ayuda que el sistema sea capaz de continuar la búsqueda de la solución cuando alguna actividad programada con anterioridad es cancelada y eliminada del plan, o cuando la ejecución de las actividades programadas empieza casi simultáneamente con el *scheduling*. Es lo que se denominaría Aprendizaje Automático o capacidad de retroalimentación.

En los apéndices 8.3 y 8.4 se adjuntan dos posibles métodos de optimización para una futura combinación con el modelo de simulación; éstos son el algoritmo genético y la programación por metas.

CAPÍTULO 7. CONCLUSIÓN

El objetivo del proyecto se enunció en la introducción del presente documento; es la construcción de un modelo de simulación que reproduzca el funcionamiento de una simplificación del futuro Complejo Asistencial Médico Técnico Navarro, CAMTNA, y proporcionar un dimensionamiento inicial, a partir del cual poder evaluar distintas políticas de gestión de la lista de espera, así como ayudar en la toma de decisiones relacionadas con la planificación del uso de los recursos tecnológicos y humanos. Se considera objetivo cumplido ya que se ha validado el modelo en Arena propuesto y se han propuesto dos formas eficientes de gestionar la bolsa de espera.

Se ha simulado el modelo propuesto para el CAMTNA durante 50 repeticiones de 15 años, con un periodo de calentamiento de 1100 días hábiles. El modelo ha sido configurado en base a dos alternativas para la gestión de la bolsa, que proponen distintas políticas para la citación de los pacientes que se encuentran en la bolsa de espera para un día determinado: la alternativa 1 propone la salida de los pacientes de la lista de espera sin prioridad alguna en cuanto a tipo de paciente, chequeando que toda su secuencia de tecnologías esté libre; en cambio la alternativa 2, prioriza el uso de las tecnologías con mayor tasa de utilización, para evitar posibles cuellos de botella en ellas.

A la vista de los resultados presentados en el capítulo 5 se llega a una serie de conclusiones. En primer lugar, es preciso destacar la ausencia de una alternativa notoriamente mejor que la otra; ambas son políticas eficientes de gestión y las diferencias encontradas no son de vital importancia a la hora de tomar decisiones futuras. Cabe resaltar sin embargo, una ligera mejora con la alternativa 2, en base a los resultados referentes a la bolsa de espera. Existe diferencia significativa a un nivel de confianza del 95% entre las medias del número de pacientes en la bolsa de espera, y del mismo modo, se observan tiempos medios de espera de los pacientes en la bolsa menores para la segunda forma de gestión.

La optimización del uso de los recursos está considerada otro de los puntos a analizar. Ambas alternativas operan con unas tasas cercanas a las teóricas, que fueron calculadas como las máximas. Por lo tanto, en vistas a la maximización de la utilización de las tecnologías, ambas alternativas son óptimas, y no se han encontrado diferencias significativas en las medias de estas medidas. De igual forma, los resultados referentes a los tiempos medios de espera en el centro no presentan una mejora clara de una alternativa frente a la otra.

En cuanto al sistema real, el equipo que actualmente se encuentra trabajando y fijando objetivos a corto y medio plazo presenta una serie de aspiraciones, de las cuales las siguientes son de especial interés tanto para el Sistema Navarro de Salud como para el paciente:



- Se espera que se trate por proceso, en acto único y con alta resolución un 80% de la actividad especializada extrahospitalaria de Navarra, cinco años después de su inicio.
- La eficiencia se incrementará en un 29%, como resultado de una parte de evitar actividades sin valor añadido y de otra de incrementar el tiempo promedio de atención en *consulta* para mejorar la calidad de las mismas, en relación con el sistema convencional actual.
- La actividad en proceso y acto único disminuirá drásticamente la lista de espera en la Atención Especializada extrahospitalaria, que además se medirá en tiempo de espera de los procesos (lista de espera por procesos) y no en actividades, como ahora, incorporando una mayor transparencia y racionalidad a la visualización de la situación sanitaria de la Comunidad.
- La atención con procesos definidos provocará una disminución drástica de la variabilidad médica, en relación al número de actividades por proceso.
- El centro de procesos incrementará la oferta asistencial, al incorporar nuevos facultativos y, derivado de la atención en proceso y acto único liberará más capacidad de resolución, especialmente en los hospitales.
- El circuito de Alta Resolución Especializada incrementará en 2,33 veces el tiempo de atención a los pacientes, respecto al circuito convencional de Atención Primaria- Especializada.
- Las consultas en acto único reducirán en 12 días el tiempo medio de espera del paciente por consulta.
- El circuito de los procesos en alta resolución especializada permitirá al paciente obtener su diagnóstico en 8,57 días menos que en circuito convencional (actualmente situado en alrededor de 30).
- Se reducirá un promedio de 20,57 días el periodo de diagnóstico, lo que repercutirá positivamente en la salud de la población.
- El número de desplazamientos de los pacientes y acompañantes, se reducirá hasta un tercio al ser atendidos en el circuito de alta resolución que supone el proceso en una única consulta.

Y finalmente, en términos más generales, este proyecto emprendedor del CAMTNA estima la Comunidad Foral de Navarra ahorrará 15 millones de euros al reducir el tiempo de diagnóstico. Además, el centro creará más de 63 nuevos puestos de trabajo de forma directa y tendrá un impacto en la contratación de forma indirecta (construcción y servicios anexos).



Definitivamente, este centro va a ser el modelo pionero a seguir para desarrollar la transición desde el sistema tradicional de atención sanitaria en Navarra, y en particular en el área de atención especializada.

CAPÍTULO 8. APÉNDICE

8.1 Cartera de Servicios del CAMTNA

Rehabilitación

- Patología de raquis. Cervicalgia, dorsalgia y lumbalgia. Esguinces cervicales y ciáticas.
- Rehabilitación Vestibular.
- Extremidad Superior. Dolor de hombro, epicondilitis y epitrocleitis. Tendinitis de D'Quervain y otras patologías de mano y muñeca.
- Extremidad Inferior. Bursitis trocanterea. Síndrome fémoro patelar. Fascitis plantar. Esguinces de tobillo.
- Osteoporosis.
- Procesos crónicos: Revisión de lesiones medulares.

Reumatología

- Osteoporosis.
- Monoartritis aguda.
- Poliartritis aguda.
- Lumbalgia de perfil inflamatorio.
- Uveitis (apoyo a Oftalmología).
- Artrosis (manos, cadera, rodilla).

Medicina Interna

- Anemias.
- Hipertensión arterial y/o riesgo vascular.
- Uveitis.
- Mareos.
- Adenopatias.
- Pérdida significativa de peso.

- Inflamación piernas (sospecha TVP/nódulos).
- Revisión/tratamiento pluripatología crónica.

Traumatología

- Procesos tipo COT.
- Sospecha de patología tumoral del aparato locomotor, (nivel óseo como de partes blandas).
- Patología extremidad superior.
 - Glangliones.
 - Tenosinovitis (D´Quervain, dedo resorte).
 - Síndromes canaliculares (STC, compresión cubital en codo y Guyon, Fröshe).
- Patología extremidad inferior.
 - Gonalgia postraumática en paciente joven (15-50 años).
 - Patología antepié (desaxaciones, Hallux Valgus, metatarsalgias, artrodesis, neuroma de Morton).
 - Talagia.
- Patología de raquis.
 - Lumbociática aguda tras tratamiento inicial en primaria: Valoración por Rehabilitación, indicación y realización de bloqueo epidural.
 - Síndrome facetario: indicación de infiltración facetaria. Rizolisis.
- Síndrome osteoporótico: indicación de tratamiento con ácido zolendrónico.

Neumología

- Sospecha de cáncer pulmonar.
- Diagnóstico y clasificación del EPOC severo.
- Diagnóstico de determinados tipos de ASMA.



Hematología

- Procedimientos de procedimientos diagnósticos: Anemias, trombopenias.
- Evaluación de respuestas en tratamiento QMT: Linfomas, mielomas, otros.
- Evaluación de pacientes pre-trasplante de médula ósea.

ORL

- Otolgia y otorrea.
- Hipoacusia.
- Acúfenos e hiperacusia.
- Vértigos.
- Disfonía.
- Disfagia y molestias faríngeas inespecíficas.
- Obstrucción nasal.
- Epistaxis.
- Disnea obstructiva alta.
- Roncopatías.
- Parálisis facial periférica.
- Masas cervicales.

Alergología

- Asma.
- Rinitis alérgica.
- Alergia alimentaria.
- Alergia a fármacos.



Cirugía Vascular

- Insuficiencia arterial periférica.
- Insuficiencia venosa.
- S. varicoso. Flebitis y tromboflebitis.
- Úlceras crónicas en EEII.

Cirugía General

- Hemorroides y otros procesos proctológicos: fisuras, abscesos.
- Quiste /sinus pilonidal.
- Hidrosadenitis.
- Enfermedades de la pared abdominal: hernias inguinocrurales, umbilicales, epigástricas, eventraciones.
- Laparocèle primario y recidivante.
- Litiasis biliar.
- Tumores de partes blandas.

Cirugía Maxilofacial

- Lesiones de la mucosa oral.
- Extirpación de lesiones benignas.
- Extirpación de restos radiculares.
- Extirpación de cordales semiincluidos.
- Extracción dental en pacientes comprometidos.
- Alteraciones de la ATM.

Cardiología

- Palpitaciones. Arritmias.
- Fibrilación auricular.
- Valvulopatías-Soplos.



- Desmayo-Síncope.
- Insuficiencia cardiaca.
- Cardiopatía isquémica.
- HTA. Cardiopatía HTA.
- Alteraciones ECG.
- Estudio de cardiopatías embolígenas.
- Riesgo cardiovascular: estudios específicos avanzados.

Dermatología

- Dermatitis y Eccemas.
- Dermatomicosis.
- Urticaria.
- Lesiones tumorales benignas.
- Acné.
- Piodermitis y lesiones por virus.
- Alopecia y alteraciones ungueales.
- Lesiones pigmentadas.
- Prurito.
- Eritema/rash.
- Enfermedades de las glándulas sudoríparas.
- Psoriasis.
- Lesiones tumorales malignas.
- Úlceras crónicas.

Aparato Digestivo

- Dispepsia/Pirosis.
- ERGE/ Hernia de hiato.
- Distensión abdominal. SII.



- Diarreas crónicas.
- Dolor en HPCD: litiasis biliar.
- Hepatitis crónicas/ agudas. Cirrosis.
- Hipertransaminasemia.
- Esteatosis hepática.
- Rectorragia.
- Síntomas y patología anal: dolor, tenesmo, nódulos, secreción y prurito.

Endocrinología

- Revisión anual DM tipo I.
- Carcinoma medular de tiroides.
- Bocio nodular.
- Hiper/hipotiroidismo.
- Dislipemias

Neurología

- Cefaleas.
- Vértigo.
- AIT/ACVA.
- Deterioro Cognitivo.
- Epilepsia.
- Enf de Parkinson.
- Temblor.
- Parestesias/Disestesias.



Oftalmología

- Alteraciones de refracción:
 - niños
 - adultos: 40-55 años.
 - adultos:>55 años.
- Antecedentes familiares de glaucoma: asintomático>40 años.
- Moscas volantes.
- Pérdida de agudeza visual lentamente progresiva.
- Ojo rojo crónico.
- Lesiones palpebrales.
- Cataratas.
- Revisión y seguimiento de procesos crónicos:
 - Seguimiento de glaucoma crónico.
 - Seguimiento de alteraciones retinianas (DMAE...)
 - Seguimiento de retinopatía diabética.
 - Seguimiento de patología corneal.

Urología – Andrología

- Hematuria.
- Cólico renal. Litiasis.
- S. prostático.
- Incontinencia urinaria.
- Patología escrotal. Fimosis.
- Disfunción eréctil.
- Alteraciones de la fertilidad.

8.2 Entorno de Simulación Arena

A continuación se describe de un modo sencillo el entorno de simulación del software de simulación Arena.

1 Modelo de Simulación de Eventos Discretos

Los modelos de eventos discretos son modelos dinámicos, estocásticos y discretos en los que las variables de estado cambian de valor en instantes no periódicos del tiempo. Estos instantes de tiempo se corresponden con la ocurrencia de un evento. Un evento se define como una acción instantánea que puede cambiar el estado de un modelo.

2 El Entorno de Simulación Arena

Con el modelo conceptual definido, el paso siguiente corresponde a su implementación en el software de simulación Arena, obedeciendo las reglas de funcionamiento del Complejo Asistencial. De esa manera, usando las funcionalidades del programa, se construye una estructura que representa correctamente el diseño establecido.

Como se ha comentado en el capítulo anterior, Arena es un simulador de alto nivel, con estructura e interfaz sencillos, un campo de aplicación restringido y flexibilidad limitada. El lenguaje de simulación que utiliza es Siman.

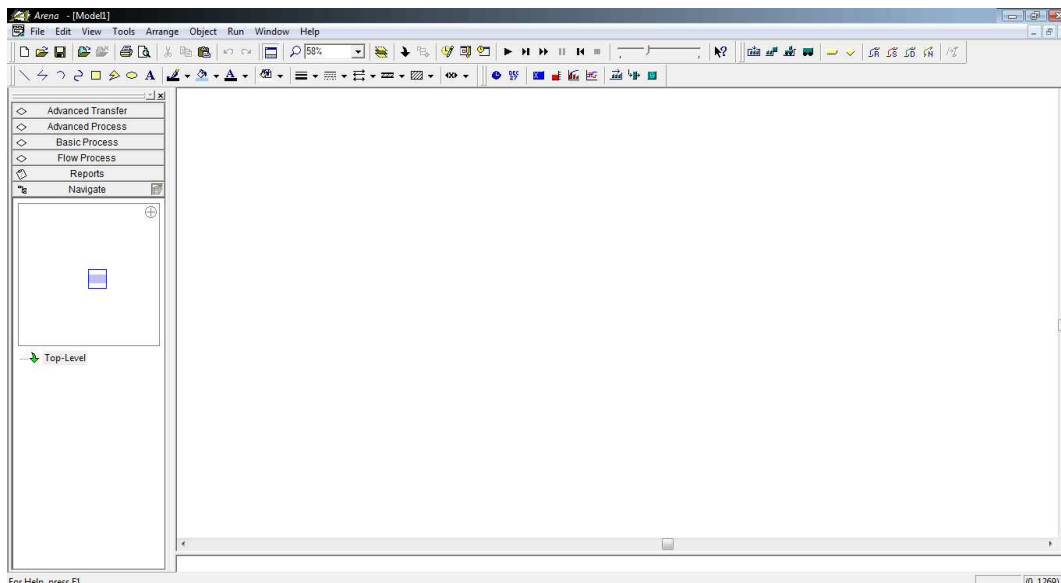


Ilustración 39: Ventana Principal de Arena.

En la figura anterior se muestra la interfaz de Arena en la que pueden observarse las herramientas de programación gráfica que permiten el desarrollo del modelo a partir de la interconexión de los módulos predefinidos.

Tal y como se puede apreciar en la figura, existen tres regiones en la ventana principal de Arena:

- *La barra de proyectos.* Localizada en la parte izquierda de la ventana y debajo de la barra de herramientas. La barra de proyectos contiene los distintos paneles de modelado; cada panel contiene varios módulos que se usan en la construcción de los modelos de simulación. Los 14 paneles de modelado son los siguientes: “Basic Process”, “Advanced Process”, “Blocks”, “Advanced Transfer”, “Contact Data”, “CSUtil”, “Elements”, “Factory Elements”, “Packaging”, “Factory Blocks”, “AgentUtil”, “Factory”, “Script” y “UtlArena”. También se encuentran los paneles de “Report” y “Navigate”.

Los más generales y que se pueden usar sin restricciones en la versión completa son los cuatro primeros. El panel que ofrece por defecto es “Basic Process”, que contiene bloques para un amplio rango de elementos frecuentes en modelados de forma que en este proyecto la mayor parte de bloques usados pertenecen a este panel. “Blocks” son bloques de construcción más elementales que los del panel “Basic Process”. La funcionalidad que ofrecen los elementos de “Basic Process” requiere, si se quiere modelar con elementos de “Blocks”, del ensamblaje de varios elementos. Los elementos de “Blocks” son de utilidad cuando no hay elementos simples de “Advanced Process” que modelen el comportamiento deseado y sin embargo ensamblando elementos más simples de “Blocks”, se puede conseguir. El resto de paneles contienen elementos de modelado orientados a tareas específicas y tienen ciertas restricciones de uso incluso en la versión completa.

- *El espacio de trabajo del modelo.* Localizado en la parte derecha de la ventana y debajo de la barra de herramientas. Este punto es de hecho el espacio de trabajo para el modelo de simulación. Este espacio contendrá todos los objetos gráficos del modelo: el organigrama de módulos, la animación, y otros gráficos.
- *La hoja de cálculo del modelo.* Localizada en la parte derecha y debajo del espacio de trabajo. En esta parte se muestra la información de los distintos módulos del modelo.

El programa contiene un conjunto de bloques que representan gráficamente los diversos tipos de procesos agrupados en categorías en función de su complejidad. Los

bloques se enlazan para representar el flujo de entidades entre ellos. Asiste para representar gráficamente la animación del proceso, pudiendo fijar el aspecto gráfico de las entidades que fluyen. También permite fácilmente crear cuadros en los que se muestren los valores de variables del modelo según transcurre la simulación. Recopila datos de estadísticas de la simulación; los cuales se pueden visualizar mediante informes al final de la misma. Permite incluir módulos de usuario elaborados en otros lenguajes de programación, tales como Visual Basic, con el que tiene una fácil integración, ya que contiene una herramienta que permite editar, compilar y enlazar código realizado en este lenguaje. Tiene incorporadas librerías Visual Basic que permite presentar o tomar datos de hojas de cálculo Microsoft Excel.

En cuanto a la animación de la simulación, su duración se puede fijar de forma temporal o bien indicando una condición (*terminating condition*). Se puede lanzar la simulación con animación o en modo *Batch*, en que la animación se suspende y la animación es mucho más rápida.

Tiene una aplicación capaz de realizar optimizaciones automáticas en el modelo "Optquest for Arena". Se accede a ella en la opción de menú "Tools". Una vez iniciada permite configurar la optimización en modo gráfico y luego permite lanzar el proceso.

Cuando se lanzan las simulaciones, Arena recopila de forma automática estadísticas sobre los distintos elementos del modelo, el porcentaje de utilización, el número total de veces que se han usado durante la simulación y el número de entidades puestas en juego. De las colas obtiene los tiempos mínimos, medios y máximos de espera; el número mínimo, máximo y promedio de entidades esperando. También admite que el usuario pueda definir estudios estadísticos.

Input/Output Analyzers

Arena contiene herramientas adicionales que resultan de gran valor para la elaboración de proyectos de simulación de éxito. El Input Analyzer es útil para determinar una distribución apropiada de entrada para el modelo de Arena. El Input Analyzer permite al usuario tomar listas de datos reales y corresponderlos con una distribución estadística adecuada. Después, esta distribución puede ser incorporada directamente en el modelo, y así conseguir aleatoriedad en los datos de entrada.

El Output Analyzer se usa para visualizar y analizar los datos del modelo después de la ejecución de la simulación. Las opciones gráficas de visualización incluyen gráficos, correlogramas, histogramas y similares. Las repeticiones múltiples pueden visualizarse en un único cuadro o agrupadas para la visualización de una representación agregada bajo múltiples ejecuciones. El Output Analyzer también proporciona análisis de distintos parámetros tales como intervalos de confianza, análisis de varianzas, comparaciones, etc. Tanto el Input como el Output Analyzer están directamente disponibles en el menú Herramientas de Arena.

3 Elementos Básicos de la Simulación

Entidades

Son los elementos centrales de la simulación de elementos discretos. Son objetos dinámicos, los que fluyen por la simulación y los protagonistas de los eventos. Cambian de estado, afectan y son afectadas por otras entidades y por el estado del sistema, y afectan a las medidas de eficiencia. Normalmente se crean, se mueven por el modelo durante un tiempo y finalmente abandonan el modelo. Son los protagonistas de los eventos clínicos de estudio del modelo. En el caso del modelo de simulación del CAMTNA las entidades vienen a ser los pacientes, que llegan al sistema, se mueven según su correspondiente secuencia y abandonan el centro después de su consulta.

Existen numerosos tipos de entidades. En el modelo que compete, la *Entity1* representa a los pacientes. Esta entidad se crea y se transporta a la *bolsa*, en la que espera a ser citado para el día y trasladada a la lista del día.

Los otros 4 tipos de entidades son lógicas y tienen distintas tareas dentro de la programación del modelo:

- *Entity 2*: Se encuentra en el bloque de vaciado de colas que se produce a las 11 de la noche todos los días.
- *Entity 3*: Se encuentra en el bloque de la búsqueda en bolsa que se produce a las 6 de la mañana todos los días.
- *Entity 4*: Se encuentra en el bloque final de recogida de datos y se genera una cada día a las 23.01 h.
- *Entity 5*: Se encuentra en el bloque inicial de inicializador de variables *pi_dia* y se genera una cada día a las 0 h.

Atributos

Cada entidad posee características propias, que se definen por medio del módulo Assign. Para ello se hace uso de los llamados *atributos*, teniendo cada entidad individual su propio valor de los distintos atributos. Por ejemplo, atributos comunes de los pacientes serían la edad, el sexo, la duración de sus pruebas clínicas y consultas, entre otras. En el modelo de simulación del presente proyecto se presentan los atributos: *tipo_paciente*, *Entity.Sequence*, *tcola*, *tiempo de proceso "tecnología"*, *atributo_seize_RX*, entre otros.

Todas las entidades tienen los mismos tipos de atributos, pero con diferentes valores para cada entidad; los valores de los atributos están, por tanto, ligados a una entidad

concreta. Por ejemplo, todos los pacientes tienen su “tipo de paciente” o su “tiempo en cola”, pero cada uno posee un valor específico.

La asignación del atributo puede realizarse de diversas formas: como un valor específico, una muestra de una distribución o el resultado de una expresión.

Eventos

Es todo aquello que puede ocurrir durante la simulación en función del proceso que se está estudiando. Por ejemplo, un evento puede ser la llegada de un nuevo paciente, la finalización de un servicio, la salida de un paciente del centro o la aplicación de un tratamiento concreto por parte de la enfermera.

Variables

Las variables definen el modelo y reflejan una característica del conjunto, no de entidades específicas. Son especificaciones que se mantienen a lo largo del modelo, aunque sus valores pueden cambiar durante el proceso de simulación, y van a definir el entorno de la simulación afectándolo a lo largo de todo el proceso.

Son únicas y pueden ser de dos tipos: definidas por Arena y definidas por el usuario. Las definidas por Arena de uso más común en el presente modelo de simulación son: el horizonte temporal (duración de la simulación); las entidades generadas, *EntitiesIn*(tipo de entidad), y las sacadas del sistema, *EntitiesOut*(tipo de entidad); número de unidades de recurso ocupadas, *NR*(nombre del recurso); tasa instantánea de utilización, *RESUTIL*(nombre del recurso); número actual de replicación, *NREP*; tiempo actual de la simulación, *TNOW*; entre otras.

Las variables definidas por el usuario han sido recogidas en un documento incluido en el CD adjunto para posibles continuaciones del presente proyecto.

Las variables son accesibles por todas las entidades, que pueden modificarlas.

Recursos

Definidos en un tiempo determinado, su consumo lleva asociado el gasto de una serie de unidades de dichos recursos en momentos de tiempo concretos. En el ámbito sanitario estos recursos se pueden dividir en personas (médicos/as, enfermeros/as, cuidadores), bienes (pruebas de laboratorio, tecnologías, medicamentos), espacios (camas hospitalarias, quirófanos, sala de preparación) y otros.

Algunos recursos pueden consumirse de manera simultánea en un momento dado, pero lo más frecuente es que las entidades tengan que competir por estos recursos, que además tienen un coste unitario de uso.

Un recurso puede tener diferentes unidades de capacidad (por ejemplo, puede que la consulta de endocrinología precise de dos enfermeros/as, mientras que para oftalmología solo se dispondrá de uno por consulta).

Colas

Cuando un paciente utiliza un determinado recurso, éste deja de estar disponible para el resto de los pacientes, lo cual puede generar colas en el sistema. Esta situación no suele tenerse en cuenta en otro tipo de modelos, en los que los recursos parecen gozar de una capacidad infinita (lo cual está alejado de la máxima de la escasez de recursos en función de las necesidades de la población, que es una característica de la toma de decisiones en sanidad). Esta conceptualización está vinculada a la idea del coste de oportunidad de los recursos en la propia estructura del modelo.

Retrasos

Se pueden generar dos tipos de retrasos: explícitos, que son los que se generan por algún tipo de acción o proceso (por ejemplo, la duración de los exámenes médicos) e implícitos, causados por otras acciones o condiciones en la simulación del modelo (por ejemplo, colas para acceder a cada una de las pruebas diagnósticas).

Reloj de la simulación

Puesto que en este tipo de simulación se está considerando la evolución temporal del sistema, cuyo estado se modifica sólo en instantes discretos de tiempo a causa de la aparición de algún evento, será necesario introducir un “reloj de simulación” que registre el tiempo virtual transcurrido desde la puesta en marcha del sistema, y que permita referenciar el instante exacto en que ocurre cada uno de los eventos. Es importante no confundir el tiempo virtual que marca el reloj de simulación con el tiempo de computación, el cual registra el tiempo real transcurrido desde que la simulación se puso en marcha.

El tiempo marcado por el reloj de simulación hace explícito el paso del tiempo a lo largo del modelo. Esto hace posible señalar el comienzo y el final de la simulación, y la aparición de eventos clínicos en su momento exacto, sin necesidad de ciclos de duración fija. Esto permite una simulación más eficiente y realista en función de la aparición de los eventos durante el curso del recorrido de los pacientes en busca de su pronóstico.

También permite la creación de relojes secundarios que marcan tiempo importantes, como la estancia en el centro hospitalario, el tiempo en cola total o el tiempo en cola en cierta tecnología.



Puesto que los cambios en el sistema se producen sólo cuando ocurre algún evento, queda claro que el estado del sistema no sufrirá ninguna variación entre dos eventos consecutivos. Este hecho da sentido a una de las políticas más habituales para controlar el reloj de simulación: si se sabe que el evento n se acaba de producir en el instante virtual actual t_n , y que el evento $n+1$ se producirá en el instante virtual t_{n+1} , dado que entre ambos instantes no pasará nada de interés, se “avanzará” el reloj de simulación hasta el instante t_{n+1} , y se asignará dicho instante a la variable del programa que representa el reloj de simulación. Tras avanzar el reloj hasta el instante t_{n+1} , se lleva a cabo la actualización de las variables de estado y estadísticas del sistema. Este proceso de “avance hasta el siguiente evento y actualización de variables” se repite de forma indefinida hasta que se verifique alguna condición de fin de simulación.

8.3 Uso de Algoritmo Genético

A continuación se desarrolla un método de planificación basado en algoritmos genéticos. Se presenta el método, junto con el proceso completo de generación del horario planificado y los parámetros principales para guiar la evolución, y cómo el algoritmo garantiza únicamente soluciones factibles, sin romper ninguna de las restricciones requeridas. Aplicamos el método descrito a un problema de planificación de pacientes con diferentes necesidades terapéuticas, contando con un número restringido de recursos; pero el algoritmo puede ser igualmente utilizado para situaciones similares. Los resultados son alentadores y como todas las soluciones son factibles, el método puede ser fácilmente incorporado a una interface de usuario interactiva, la cual puede resultar de vital importancia cuando se considera la planificación de pacientes, así como recursos humanos en general.

Los **algoritmos genéticos** son métodos de búsqueda heurísticos adaptativos que pueden ser usados para resolver todo tipo de problemas de optimización y de búsqueda compleja. Están basados en las ideas de la selección natural de la evolución y en los procesos genéticos de los organismos biológicos. Tal y como las poblaciones naturales evolucionan de acuerdo al principio de la selección natural y la “supervivencia del más fuerte”, teoría propuesta por Charles Darwin, en el ejercicio de simular este proceso, los algoritmos genéticos, si están adecuadamente diseñados, serán capaces de desarrollar soluciones a problemas reales. Habitualmente son capaces de encontrar soluciones óptimas incluso en los entornos de búsqueda más complejos y, como mínimo, ofrecen beneficios significativos para otras técnicas de optimización y búsqueda.

Los algoritmos genéticos se usan con frecuencia de la mano del **Aprendizaje Automático**, una rama de la Inteligencia Artificial cuyo objetivo es desarrollar técnicas que permitan a las computadoras aprender. De forma más concreta, se trata de crear programas capaces de generalizar comportamientos a partir de una información no estructurada suministrada en forma de ejemplos. Es, por lo tanto, un proceso de inducción del conocimiento. Los sistemas de Aprendizaje Automático son muy variados y complejos, por lo que resulta muy difícil dar una definición concreta; sin embargo, el denominador común de este tipo de sistemas es su capacidad de llevar a cabo cambios estructurales a lo largo del tiempo, con el objetivo de ser más eficiente en la búsqueda de la solución de los problemas propuestos. La forma más simple de producir estos cambios estructurales es mediante la modificación de los parámetros que influyen en el comportamiento del sistema.

A continuación se presenta un sistema de Aprendizaje Automático simple (Fig. 39). Se muestran algunas tareas que deben ser desarrolladas (en nuestro caso una generación del plan de citación de los pacientes) y el aprendizaje consiste tanto en adquisición de información y conocimiento como en refinamiento. El sistema está dividido en dos subsistemas:

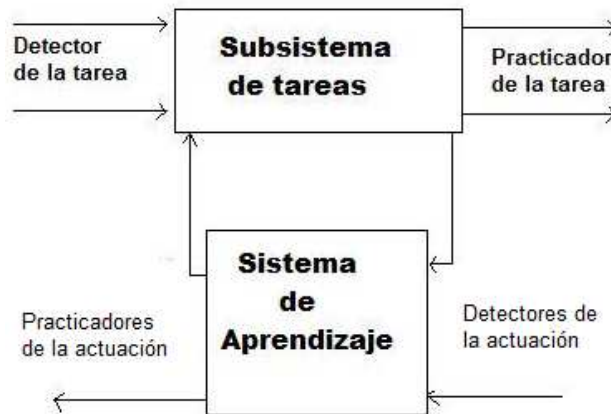


Ilustración 40: Sistema de Aprendizaje Orientado (Algoritmos Genéticos).

Una parte referida a las tareas, las cuales deben ver su funcionamiento mejorado con el método; en nuestro caso es un algoritmo genético que genera horarios.

- Otra parte referida al aprendizaje cuyo objetivo es hacer los cambios estructurales apropiados; en nuestro caso, nosotros intentamos encontrar valores óptimos para parámetros que influyen en la ejecución del algoritmo genético.

El método presenta una serie de reglas que indican si los valores de los parámetros tienen que ser aumentados o disminuidos y cuándo debe producirse dicha acción (figura K):

```
IF      (generationNum>150) AND
        (generationNum<200) AND
        (overallWaitingTime>100)
THEN
    IncreaseMutationProb BY 0,001%
WITH PROBABILITY
    62,17% ;
```

Ilustración 41: Ejemplo de una regla. (Algoritmos Genéticos).

(Los números en cursiva indican los valores que se actualizan a través de la máquina de conocimiento).

El método busca adquirir y mejorar el denominado *conocimiento*, basándose en los problemas resueltos a medida que se observa cómo la solución evoluciona dependiendo de los valores de los parámetros. Mientras la solución evoluciona, se eligen normas aleatoriamente y se les premia o penaliza (aumentando o disminuyendo la probabilidad de la regla a ser ejecutada) dependiendo de su efecto sobre la solución. Ejecutando

diferentes problemas se puede decidir qué reglas son útiles y cuáles no en la situación real.

➔ Generación del horario

Cuando se pretende construir un horario, ha de cumplirse una serie de restricciones fundamentales para llegar a soluciones factibles (una solución es factible si el problema se puede resolver mediante el horario propuesto). Dichas restricciones son:

- Cada paciente solo puede realizar una actividad al mismo tiempo, es decir, recibir un servicio.
- Cada recurso (tanto tecnologías como personal médico y de enfermería) solo puede ser usado por un solo paciente.
- Ciertas pruebas médicas solo pueden ser llevadas a cabo siguiendo un orden específico.

Un horario que satisfaga estas restricciones es un horario factible. Sin embargo, factibilidad no siempre denota optimización. Existen muchos otros criterios que influyen la calidad del horario. Cualquiera de estos criterios puede ser incluido en la función objetivo o de evaluación, como se describe más adelante.

- *Representación interna de los individuos*

Ha de definirse una representación interna de los individuos dentro de la población general, de manera que represente un Schedule factible y que simultáneamente deje suficiente espacio para los operadores genéticos. Se tiene que garantizar que todas las soluciones serán factibles después de la selección y del proceso de mutación, y que el usuario pueda ser capaz de seleccionar aleatoriamente punto de cruce, el punto de operación, así como la influencia de la mutación.

En el caso elegido, se representa los individuos con un modelo multidimensional. La primera dimensión es siempre el tiempo; mientras que las otras dimensiones representan todo los tipos de recursos necesarios. En el caso de horarios y organización de pacientes el modelo es tridimensional con las dos últimas dimensiones representando a los recursos humanos (médicos o enfermeras) y tecnológicos (máquinas terapéuticas). Los objetos del modelo son las terapias o procesos que deben ser planificadas. Sus posiciones dentro del modelo mostrarán los recursos necesarios para su realización y el orden temporal en el que se tiene que llevar a cabo.

Pero cómo se garantiza que todas las soluciones obtenidas sean factibles? Al construir nuevas soluciones, se define únicamente la secuencia temporal de cada proceso médico, no intervalos de tiempo absolutos, y es sobre esta estructura donde

opera el algoritmo genético. Después, en la segunda fase, los intervalos de tiempo exactos son definidos para todas las actividades, tan ajustados como sea posible siguiendo la ordenación cronológica de las actividades dada. Ver fig. 41:

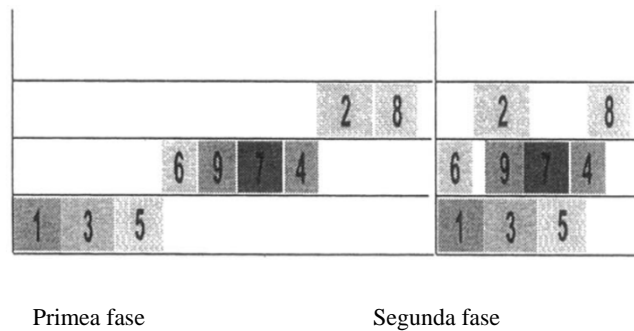


Ilustración 42: Ejemplo de representación interna de los individuos con un solo tipo de recurso. (Algoritmos Genéticos)

En primer lugar se define el orden temporal (primera fase), y a continuación se calculan los intervalos de tiempo absolutos (segunda fase). Las actividades de igual color pertenecen a un mismo paciente, por lo tanto no pueden intersecar entre ellas.

La representación interna de los individuos es de hecho un vector multidimensional, sus elementos son el número consecutivo de actividades. Los índices en la primera dimensión representan en orden temporal, y en las otras dimensiones, la localización de los recursos.

- *Semilla de la población inicial*

Uno de los parámetros que más influencia la evolución en un algoritmo genético es el tamaño de la población. El tamaño puede variar durante la ejecución del algoritmo, o puede mantenerse constante. Aquí se supondrá la segunda opción; de esta manera el número de individuos se permanecerá constante a lo largo del tiempo. El tamaño real se determina a partir del conocimiento obtenido en el subsistema de aprendizaje.

Antes de comenzar con la evolución, hay que plantar la semilla de la población inicial de individuos. Normalmente se crean aleatoriamente, pero es importante crear cierta diversidad. En nuestro caso didáctico, los individuos se crean al crear una tabla con terapias en un orden aleatorio.

- Selección

Para la selección se usa un método selectivo modificado de ranking exponencial. Después de la evaluación de cada uno de los individuos, se clasifican atendiendo a una marca de fitness. Después se reemplazan los individuos en un orden determinado, del mejor a peor marca, creando nuevos con el cruce de dos individuos seleccionados. Cuando todos los individuos han sido reemplazados, la nueva población habrá sido generada (aunque todavía quedaría una mutación).

En realidad, nunca se reemplazan todos los individuos de la población. De esta manera se garantiza que en cada población nueva habrá una solución por lo menos igual o mejor que la mejor de la población previa. El número de individuos mantenidos es el segundo parámetro que influencia la evolución. Tanto su valor inicial como su cambio son parámetros controlados durante la ejecución por el subsistema de aprendizaje.

Para obtener una selección efectiva, ha de definirse una función de evaluación adecuada que determine la marca de fitness de cada individuo. Para este caso, se implementa el método de adjudicar puntos negativos a los individuos, dependiendo de cómo satisfacen ciertos parámetros de la función de evaluación. Cuánto menos puntos negativos tenga el individuo, mejor será su marca fitness, y más oportunidades tendrá de ser escogido para el cruce de individuos.

Para cada problema de scheduling específico existe un conjunto de parámetros que determina la calidad de las soluciones obtenidas. Algunos de los criterios generales que, independientemente del problema a tratar, determinan la calidad de las soluciones son los siguientes:

- La duración total de todas las actividades
- Tiempo que los recursos están desocupados
- Tiempo en cola total de todos los pacientes (tiempo en espera entre dos de sus actividades)
- Tiempo medio en cola de los pacientes
- Máximo tiempo en cola de un paciente

Para todos los parámetros, cuanto menor sea su valor, mejor será la solución obtenida. Por lo tanto, podemos usar sus valores como puntos negativos; de este modo, la función de evaluación será simplemente la suma de los valores de los parámetros. Sin embargo, como cada parámetro posee una relevancia distinta al problema, es preciso introducir pesos que definan la importancia de cada uno. El usuario puede seleccionar dichos pesos según su preferencia, controlando de esta manera la búsqueda de

soluciones. Por ejemplo, si el peso del tiempo en cola medio es el más alto, el algoritmo priorizará las soluciones donde los pacientes no esperen mucho en media.

- *El cruce*

Cuando se seleccionan dos individuos de la población actual, con su cruce se logra construir una nueva solución que es situada en una nueva población (Fig. 42). Ambos individuos seleccionados se dividen en varias partes cortando el modelo multidimensional de la representación interna de los individuos a lo largo de la línea temporal (primera dimensión) en todos los tipos de recursos. El nuevo individuo se crea por tanto aleatoriamente escogiendo partes de sus individuos “padres” y uniéndolas.

1	3	5	0	0
13	7	10	11	4
6	9	8	12	0
2	15	14	0	0

Primer creador

3	1	5	0	0
10	7	11	13	4
6	12	8	9	0
14	15	2	0	0

Segundo creador

3	1	5	0	0
13	7	10	11	4
6	9	8	12	0
14	15	2	0	0

Nuevo individuo después del cruce

Ilustración 43: Un Ejemplo de un Modelo Bidimensional. (Algoritmos Genéticos).

- *Mutación*

Después de que la nueva población está llena de individuos, es preciso aplicar el operador de mutación (Fig. 43). Para cada uno de los individuos, excepto un cierto número de protegidos, el operador de mutación, con cierta probabilidad, intercambia dos actividades escogidas aleatoriamente. La probabilidad de mutación es el tercer y último parámetro que influencia la evolución y se determina nuevamente desde el subsistema de aprendizaje. Tal y como ha resultado de ejecutar diferentes tests, la probabilidad de mutación apropiada para el método descrito es mucho más alta que la usual; esto se debe mayormente al hecho de que el nuevo individuo creado por cruce hereda más información de sus padres. Preservar un número de individuos sin mezclarlos también tiene un papel importante en esta situación.

1	3	5	0	0
13		10		4
6	9	8	12	0

Antes de la mutación

1	3	5	0	0
13		10		4
6	9	8	12	0

Después de la mutación

Ilustración 44: Un Ejemplo de Mutación. (Algoritmos Genéticos).

(Los campos sombreados se intercambian).

- *El proceso de generación del horario*

Al enfrentarnos a un nuevo problema, en primer lugar se debe generar una serie de pruebas y ejecutarlas seguidamente. Es de este modo como se adquiere el conocimiento para establecer unos parámetros adecuados, experimentando. El problema real puede ejecutarse varias veces para refinar la información recolectada. El proceso evolutivo comienza con plantar la semilla inicial, es decir la población inicial, mediante la generación de un número de horarios aleatorios, teniendo en cuenta que todos los individuos sean factibles. A continuación, cada individuo es evaluado para determinar su marca fitness. Basándonos dicha marcas, los mejores tienen mayores probabilidades de ser seleccionados para producir nuevos individuos mediante un cruce. La fase del cruce se repite hasta que los nuevos individuos completen el tamaño de la población (con la excepción de un número de individuos, los mejores, que son preservados para la nueva generación). Nótese que como el tamaño de la población es contante, cada vez que se crea un nuevo individuo, otro viejo es eliminado (el correspondiente a la menor marca fitness). Cuando todos los nuevos individuos han sido generados, el operador de mutación se aplica, a cierto grado de probabilidad. Después, los parámetros se modifican en base al conocimiento adquirido a través de los experimentos. Todas las fases, desde la evaluación de las marcas fitness de cada solución, hasta la creación de una nueva población, son repetidas hasta que se evoluciona a una solución aceptable.

8.4 Uso de Programación por Metas

El *Goal Programming* o Programación por Metas es una herramienta muy útil, que combinada con la simulación, puede ofrecer resultados óptimos al problema de planificación de un hospital. Es un tipo específico de programación lineal.

A través de la simulación se pueden experimentar diversos escenarios, modificando el número de recursos, incrementando o disminuyendo las jornadas, reorganizando los itinerarios de los pacientes, etc. Así, se obtendrían evidencias de que la modificación de determinadas variables supondría un cambio en el tamaño de las colas o las tasas de utilización. Además de esto, si se implementa un sistema de Programación por Metas, obtendríamos un resultado más afinado.

En primer lugar, se establece el conjunto de soluciones posibles o factibles del problema de decisión analizado. A continuación, fundándose en un criterio, se asocia a cada solución o alternativa un número que representa el grado de deseabilidad que tiene cada alternativa para el centro decisor, es decir, se establece una ordenación de las soluciones factibles. Seguidamente, utilizando técnicas matemáticas más o menos sofisticadas, se procede a buscar entre las soluciones factibles aquella que posee un mayor grado de deseabilidad. Dicha alternativa es la solución óptima.

Se establece la función objetivo, que representa las preferencias del decisor con la consideración de ciertos criterios. Recurriendo a técnicas matemáticas relativamente sofisticadas se establece la solución óptima como aquella solución factible para la que la función objetivo alcanza un valor óptimo. En la mayoría de los casos reales, los decisores no están interesados en las soluciones factibles con arreglo a un único criterio, sino que desean efectuar esta tarea con arreglos a diferentes criterios que reflejan sus particularidades y preferencias; es lo que se denomina problema multicriterio.

Para analizar la estructura del método, es necesario en primer lugar conocer una serie de conceptos y definiciones:

- **Atributo:** Este concepto se refiere a valores del decisor relacionados con una realidad objetiva. Estos valores pueden medirse independientemente de los deseos del decisor, siendo usualmente susceptibles de expresarse como una función matemática $f(x)$ de las variables de decisión.
- **Objetivos:** Representan direcciones de mejora de los atributos. Puede tratarse de procesos de maximización o de minimización. De esta manera, se especifican una serie de funciones objetivo, indicando de igual manera el rango de prioridad entre ellos.
- Evidentemente la mejora simultánea de todos los atributos no es posible por lo que lo más operativo es establecer un nivel de aspiración para cada uno de ellos.

Un **nivel de aspiración** representa un nivel aceptable de logro para el correspondiente atributo. La combinación de un nivel de aspiración con un atributo genera una meta.

- Seguidamente, se conecta el atributo con el nivel de aspiración, por medio de la introducción de las **variables de desviación** negativa y positiva, respectivamente. Así para el atributo i -ésimo, se tiene la siguiente meta: donde, como es habitual, $f(x)$ representa la expresión matemática del atributo i -ésimo, T_i su nivel de aspiración, n_i y p_i las variables de desviación negativa y positiva, respectivamente. Las variables de desviación negativa cuantifican la falta de logro de una meta con respecto a su nivel de aspiración, mientras que las variables de desviación positiva cuantifican el exceso de logro de una meta con respecto a su nivel de aspiración.

De manera general, previa consulta con los responsables de los Servicios Médicos, los niveles de aspiración de las diferentes metas los establece la Dirección del Hospital conciliando las necesidades de la población y los recursos limitados del hospital. Para ello se tienen en cuenta, entre otras cosas, los datos históricos, por ejemplo aumentando el nivel de aspiración de las actividades con mayor lista de espera, o las situaciones que alteren el contexto de periodos anteriores, como la adquisición de tecnología que mejore la eficiencia en una determinada actividad.

El propósito general de la programación por metas es minimizar las desviaciones entre los valores alcanzados para cada meta y su nivel de aspiración. Es decir que la solución óptima de nuestro modelo pretende proporcionar el *scheduling* o planificación de los pacientes, que mejor se ajuste a las metas fijadas. Este proceso puede realizarse por diferentes métodos, los tres principales son programación por metas ponderadas, la programación por metas lexicográficas y la programación por metas MINIMAX. Nos decantaremos por la primera, la programación por metas ponderadas.

El significado de las variables de desviación no deseadas puede clarificarse por medio del siguiente cuadro.

Metas y variables de desviación:

Forma inicial de la meta	Forma de la meta transformada	Variable de desviación no deseada (a minimizar)
$F_i(x) \geq t_i$	$f_i(x) + n_i - p_i = t_i$	n_i
$F_i(x) \leq t_i$	$f_i(x) + n_i - p_i = t_i$	p_i
$F_i(x) = t_i$	$f_i(x) + n_i - p_i = t_i$	$n_i + p_i$

Tabla 11: Metas y Variables de Desviación. (Programación por Metas).

El presente proyecto estudia el comportamiento del CAMTNA y sus objetivos primordiales serán los siguientes:

- Tiempo en cola de los pacientes en tecnologías y consultas.
- Tiempo total en cola de los pacientes.
- Tiempo total en el sistema de los pacientes.
- Tiempo de desocupación de los recursos.

Los resultados de la simulación para distintos escenarios son implementados en el método de optimización:

Escenario: $i:1 \dots M$

Características:

- Escenario 1: especificar número de usuarios en cada recurso y jornada laboral de cada uno.
- Escenario 2: Ídem.
- Escenario k: Ídem.
- Escenario M: Ídem.

Variables:

TC_i tiempo total medio en cola en escenario i

TS_i tiempo total medio en el sistema en escenario i

RX_i	<i>Tiempo en cola medio en rayos X para escenario i</i>
TAC_i	<i>Tiempo en cola medio en TAC en escenario i</i>
RMN_i	<i>Tiempo en cola medio en resonancia magnética en escenario i</i>
UIV_i	<i>Tiempo en cola medio en UIV en escenario i</i>
Ecografía $_i$	<i>Tiempo en cola medio en ecografía en escenario i</i>
Broncoscopia $_i$	<i>Tiempo en cola medio en broncoscopia en escenario i</i>

PET_i	<i>Tiempo en cola medio en PET en escenario i</i>
$Cit.uretoscopia_i$	<i>Tiempo en cola medio en cit.uretoscopia en escenario i</i>
$Análisis_i$	<i>Tiempo en cola medio en análisis en escenario i</i>
$PAAF_i$	<i>Tiempo en cola medio en PAAF en escenario i</i>
$C1_i$	<i>Tiempo en cola medio en consulta nº1 en escenario i</i>
$C3_i$	<i>Tiempo en cola medio en consulta nº3 en escenario i</i>
$C4_i$	<i>Tiempo en cola medio en consulta nº4 en escenario i</i>
$C6_i$	<i>Tiempo en cola medio en consulta nº6 en escenario i</i>
URX_i	<i>Tasa de utilización media de recurso rayos X en escenario i</i>
$UTAC_i$	<i>Tasa de utilización media de recurso TAC en escenario i</i>
$URMN_i$	<i>Tasa de utilización media de recurso RMN en escenario i</i>
$UUIV_i$	<i>Tasa de utilización media de recurso UIV en escenario i</i>
$Uecografía_i$	<i>Tasa de utilización media de recurso ecografía en escenario i</i>
$Ubroncoscopia_i$	<i>Tasa de utilización media de recurso broncoscopia en escenario i</i>
$UPET_i$	<i>Tasa de utilización media de recurso PET en escenario i</i>
$Ucit.uretoscopia_i$	<i>Tasa de utilización media de recurso cit.uretoscopia en escenario i</i>
$Uanálisis_i$	<i>Tasa de utilización media de recurso análisis en escenario i</i>
$UPAAF_i$	<i>Tasa de utilización media de recurso PAAF en escenario i</i>
$UC1_i$	<i>Tasa de utilización media de recurso consulta nº1 en escenario i</i>
$UC3_i$	<i>Tasa de utilización media de recurso consulta nº3 en escenario i</i>
$UC4_i$	<i>Tasa de utilización media de recurso consulta nº4 en escenario i</i>
$UC6_i$	<i>Tasa de utilización media de recurso consulta nº6 en escenario i</i>

Tabla 12: Variables Programación por Metas.

Las variables de decisión, X están definidas como sigue:

$$X_i = \begin{cases} 1 \rightarrow \text{Si el escenario } i \text{ es escogido,} \\ 0 \rightarrow \text{en otro caso} \end{cases} \quad i = 1, \dots, M$$

➤ Formulación

El objetivo del modelo es minimizar las desviaciones positivas de los tiempos en cola y de los tiempos en el sistema, y las desviaciones negativas de las tasas de utilización de los recursos. La función objetivo de la técnica por metas ponderadas se muestra a continuación:

$$\begin{aligned} \text{Min} Z = & \frac{w_1 P_1}{b_1} + \frac{w_2 P_2}{b_2} + \frac{w_3 P_3}{b_3} + \frac{w_4 P_4}{b_4} + \frac{w_5 P_5}{b_5} + \frac{w_6 P_6}{b_6} + \frac{w_7 P_7}{b_7} + \frac{w_8 P_8}{b_8} + \frac{w_9 P_9}{b_9} + \frac{w_{10} P_{10}}{b_{10}} + \\ & + \frac{w_{11} P_{11}}{b_{11}} + \frac{w_{12} P_{12}}{b_{12}} + \frac{w_{13} P_{13}}{b_{13}} + \frac{w_{14} P_{14}}{b_{14}} + \frac{w_{15} P_{15}}{b_{15}} + \frac{w_{16} P_{16}}{b_{16}} + \frac{w_{17} n_1}{b_{17}} + \frac{w_{18} n_2}{b_{18}} + \frac{w_{19} n_3}{b_{19}} + \frac{w_{20} n_4}{b_{20}} + \\ & + \frac{w_{21} n_5}{b_{21}} + \frac{w_{22} n_6}{b_{22}} + \frac{w_{23} n_7}{b_{23}} + \frac{w_{24} n_8}{b_{24}} + \frac{w_{25} n_9}{b_{25}} + \frac{w_{26} n_{10}}{b_{26}} + \frac{w_{27} n_{11}}{b_{27}} + \frac{w_{28} n_{12}}{b_{28}} + \frac{w_{29} n_{13}}{b_{29}} + \frac{w_{30} n_{14}}{b_{30}} \end{aligned}$$

donde:

- P₁: desviación positiva de tiempo en cola medio en RX
- P₂: desviación positiva de tiempo en cola en TAC
- P₃: desviación positiva de tiempo en cola en RMN
- P₄: desviación positiva de tiempo en cola en UIV
- P₅: desviación positiva de tiempo en cola en ecografía
- P₆: desviación positiva de tiempo en cola en broncoscopia
- P₇: desviación positiva de tiempo en cola en PET
- P₈: desviación positiva de tiempo en cola en cit.uretoscopia
- P₉: desviación positiva de tiempo en cola en análisis
- P₁₀: desviación positiva de tiempo en cola en PAAF
- P₁₁: desviación positiva de tiempo en cola en C1
- P₁₂: desviación positiva de tiempo en cola en C3
- P₁₃: desviación positiva de tiempo en cola en C4
- P₁₄: desviación positiva de tiempo en cola en C6
- P₁₅: desviación positiva de tiempo total medio en cola de los pacientes
- P₁₆: desviación positiva de tiempo total medio en el sistema de los pacientes
- n₁: desviación negativa de tasa de utilización media de RX
- n₂: desviación negativa de tasa de utilización media de TAC
- n₃: desviación negativa de tasa de utilización media de RMN
- n₄: desviación negativa de tasa de utilización media de UIV
- n₅: desviación negativa de tasa de utilización media de ecografía
- n₆: desviación negativa de tasa de utilización media de broncoscopia
- n₇: desviación negativa de tasa de utilización media de PET
- n₈: desviación negativa de tasa de utilización media de cit.uretoscopia
- n₉: desviación negativa de tasa de utilización media de análisis

- n_{10} : desviación negativa de tasa de utilización media de PAAF
- n_{11} : desviación negativa de tasa de utilización media de C1
- n_{12} : desviación negativa de tasa de utilización media de C3
- n_{13} : desviación negativa de tasa de utilización media de C4
- n_{14} : desviación negativa de tasa de utilización media de C6

w son los pesos normalizados, derivados de las preferencias del decisor, los cuales pueden ser modificados de forma sencilla.

También es posible que solo nos interese optimizar algunas de las medidas anteriores, las que mayor importancia tengan para el modelo.

La función objetivo queda sujeta a los siguientes objetivos o restricciones:

$$G_1 : \sum_{i=1}^M RX_i x_i + n_1 - p_1 = b_1$$

$$G_2 : \sum_{i=1}^M TAC_i x_i + n_2 - p_2 = b_2$$

$$G_3 : \sum_{i=1}^M RMN_i x_i + n_3 - p_3 = b_3$$

·
·
·
·

$$G_{dks} : \sum_{i=1}^M x_i = 1$$

$$n, p \geq 0, x_i = 0 \text{ or } 1 \forall i$$

siendo b son los valores objetivo o ideales para los tiempos en cola medios en cada recurso.

Es preciso estimar unos valores para los parámetros ideales b. Esta tarea se debería llevar a cabo con la ayuda del equipo médico, cuya experiencia y conocimiento del entorno es crucial en dicha definición.

A partir de esto, podría realizarse un análisis de sensibilidad, en el que se valoren los distintos resultados en base a la modificación de los pesos.



CAPÍTULO 9. BIBLIOGRAFÍA

1. Aharonson-Daniel, L., Paul, R., Hedley, A. (1996). **“MANAGEMENT OF QUEUES IN OUT-PATIENT DEPARTMENTS: THE USE OF COMPUTER SIMULATION”**, *Journal of Management in Medicine*, 10, p 50-58.
2. Ahmed, M.A., Alkhamis, T.M. (2009). **“SIMULATION OPTIMIZATION FOR AN EMERGENCY DEPARTMENT HEALTHCARE UNIT IN KUWAIT”**, *European Journal of Operational Research*, Vol. 198, p 936-942.
3. Altinel, I.K., Ulas, E. (1996). **“SIMULATION MODELLING FOR EMERGENCY BED REQUIREMENT PLANNING”**, *Annals of Operations Research*, 67, p183-21.
4. Ashton, R., Hague, L., Brandreth, M., Worthington, D., Cropper, S. (2005). **“A simulation-based study of a NHS Walk-in Center”**, *Journal of the Operational Research Society*, 56, p 153-161.
5. Azcárate, C., Mallor, F., Gafaro, A. (2008). **“MULTIOBJECTIVE OPTIMIZATION IN HEALTH CARE MANAGEMENT. A METAHEURISTIC AND SIMULATION APPROACH”**, *Algorithmic Operations Research*, Vol. 3, p 186-202.
6. Babad, H., Sanderson, C., Naidoo, B., White, I., Wang, D. (2002). **“THE DEVELOPMENT OF A SIMULATION MODEL OF PRIMARY PREVENTION STRATEGIES FOR CORONARY HEART DISEASE”**, *Health Care Management Science*, 5, p 269-274.
7. Beaulieu H, Ferland JA, Gendron B, Michelon P. (2000). **“A MATHEMATICAL PROGRAMMING APPROACH FOR SCHEDULING PHYSICIANS IN THE EMERGENCY ROOM”**, *Health Care Management Science*, 3, p 193-200.
8. Blake, J., Carter, M. (2002). **“A GOAL PROGRAMMING APPROACH TO STRATEGIC RESOURCE ALLOCATION IN ACUTE CARE HOSPITAL”**, *European Journal of Operational Research*, 140, p 541-561.
9. Brailsford, S. C., Gutjahr, W., Rauner, M. S., Zeppelzauer, W. (2007). **“OPTIMAL SCREEN POLICIES FOR DIABETIC RETINOPATHY USING A NEW COMBINED DISCRETE EVENT SIMULATION AND**

- ANT COLONY OPTIMIZATION APPROACH**", *Computational Management Science*, Vol. 4, p 59-83.
10. Brailsford, S.C., Harper, P.R., Patel, B., Pitt, M. (2009). **"AN ANALYSIS OF THE ACADEMIC LITERATURE ON SIMULATION AND MODELLING IN HEALTH CARE"**, *Journal of Simulation*, Vol. 3, p 130-140.
 11. Brailsford, S., Vissers, J., (2010). **"OR IN HEALTHCARE: A EUROPEAN PERSPECTIVE"**, *European Journal of Operational Research*, DOI: 10.1016/j.ejor.2010.10.026.
 12. Brennan J.E., Golden B.L., Rappoport H.K. (1992). **"GO WITH THE FLOW: IMPROVING RED CROSS BLOODMOBILES USING SIMULATION ANALYSIS"**, *Interfaces*, 22, p 1-13.
 13. Cardoen B., Demeulemeester, E., Beliën, J., (2010). **"OPERATING ROOM PLANNING AND SCHEDULING: A LITERATURE REVIEW"**, *European Journal of Operational Research*, 201, p 921-932.
 14. Cayirly, T., Veral E., Rosen H. (2006). **"DESIGNING APPOINTMENT SCHEDULING SYSTEMS FOR AMBULATORY CARE SERVICES"**, *Health Care Management Science*, 9, p 47-58.
 15. Cheang B, Li H, Lim A, Rodrigues B. (2003). **"NURSE ROSTERING PROBLEMS, A BIBLIOGRAPHIC SURVEY"**, *European Journal of Operational Research*, 151, p 447-460.
 16. Chu, S., Lin, C.K., Lam, S.S. (2003). **"HOSPITAL LIFT SYSTEM SIMULATOR: A PERFORMANCE EVALUATOR-PREDICTOR"**, *European Journal of Operational Research*, 146, p 156-180.
 17. Cochran, J.K, Bharti, A. (2006). **"STOCHASTIC BED BALANCING OF AN OBSTETRICS HOSPITAL"**, *Health Care Management Science*, 9, p 31-45.
 18. Conway, R.W., Johnson, B.M., Maxwell, W.L. (1959). **"SOME PROBLEMS OF DIGITAL SYSTEMS SIMULATION"**, *Management Science (October)*, p 92-110.
 19. Conway, R.W. (1963). **"SOME TACTICAL PROBLEMS IN DIGITAL SIMULATION"**, *Management Science (October)*, p 47-61.
 20. Davies, R., Crabbe D., Roderick P., Goddard J.R., Raftery J., Patel P. (2002). **"A SIMULATION TO EVALUATE SCREENING FOR HELICOBACTER PYLORI INFECTION IN THE PREVENTION OF PEPTIC ULCERS AND GASTRIC CANCERS"**, *Health Care Management Science*, 5, p 249-58.



21. Davies, R., Roderick, P., Raftery, J. (2003). **“THE EVALUATION OF DISEASE PREVENTION AND TREATMENT USING SIMULATION MODELS”**, *European Journal of Operational Research*, 150, p 53-66.
22. De Angelis, V., Felici, G., Impelluso, P. (2003). **“INTEGRATING SIMULATION AND OPTIMISATION IN HEALTH CARE CENTER MANAGEMENT”**, *European Journal of Operational Research*, Vol. 50, p 101-114.
23. Eldabi, T., Paul, R.J., Young, T. (2007). **“SIMULATION MODELLING IN HEALTHCARE: REVIEWING LEGACIES AND INVESTIGATING FUTURES”**, *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 58, p 262 -270.
24. Everett, J.E. (2002). **“A DECISION SUPPORT SIMULATION MODEL FOR THE MANAGEMENT OF AN ELECTIVE SURGERY WAITING SYSTEM”**, *Health Care Management Science*, 5, p 89-95.
25. Fetter, R.B., Thompson, J.D. (1965). **“THE SIMULATION OF HOSPITAL SYSTEMS”**, *Operations Research*, 13, p 689-711.
26. Fishwick, P.A. (2004). **“TOWARD AN INTEGRATIVE MULTIMODELING INTERFACE: A HUMAN-COMPUTER INTERFACE APPROACH TO INTERRELATING MODEL STRUCTURES”**, *Journal Simulation*, Vol 80, n 9, p 421-432.
27. Fone, D., Hollinghurst, S., Temple, M., Round, A., Weightman, A., Roberts, K., Coyle, E., Bevan, G. (2003). **“SYSTEMATIC REVIEW OF THE USE AND VALUE OF COMPUTER SIMULATION MODELLING IN POPULATION HEALTH AND HEALTHCARE DELIVERY”**, *Journal of Public Health Medicine*, Vol. 25, p 325–335.
28. Gonsalves, T., Itoh, K., (2009). **“SERVICE OPTIMIZATION WITH PATIENT SATISFACTION IN HEALTHCARE SYSTEMS”**, *Journal of Simulation*, 3, p 150-162.
29. Günal, M.M., Pidd, M. (2010). **“DISCRETE EVENT SIMULATION FOR THE PERFORMANCE MODELLING IN HEALTH CARE: A REVIEW OF THE LITERATURE”**, *Journal of Simulation*, Vol. 4, p 42-51.
30. Gutjahr, W. J., Rauner, M. S. (2007). **“AN ACO ALGORITHM FOR A DYNAMIC REGIONAL NURSE-SCHEDULING PROBLEM IN AUSTRIA”**, *Computers & Operations Research*, Vol. 41, No. 3, p 642-666.
31. Harold, C.S. (2008). **“MEDICAL DECISION MAKING”**, *Editorial American College of Physicians*.



32. Harper, P.R., Shahani, A.K. (2002). **“MODELLING FOR THE PLANNING AND MANAGEMENT OF BED CAPACITIES IN HOSPITALS”**, *Journal of the Operational Research Society*, 53, p 19-24.
33. Harper, P.R., Sayyad, M.G., de Senna, V., Shahani, A.K., Yajnik, C.,S., Shelgikar, K.M., (2003). **“A SYSTEM MODELLING APPROACH FOR THE PREVENTION AND TREATMENT OF DIABETIC RETINOPATHY”**, *European Journal of Operational Research*, 150, p 81-91.
34. Harper, P.R., Jones, S.K. I (2005). **“MATHEMATICAL MODELS FOR THE EARLY DETECTION AND TREATMENT OF COLORECTAL CANCER”**, *Health Care Management Science*, 8, p 101-109.
35. Harper, P.R., Phillips, S., Gallagher, J.E. (2005). **“GEOGRAPHICAL SIMULATION MODELLING FOR THE REGIONAL PLANNING OF ORAL AND MAXILLOFACIAL SURGERY ACROSS LONDON”**, *Journal of the Operational Research Society*, 56, p 134-143.
36. Hupert N., Mushlin A.I., Callahan M.A. (2002). **“MODELLING THE PUBLIC HEALTH RESPONSE TO BIOTERRORISM: USING DISCRETE EVENT SIMULATION TO DESIGN ANTIBIOTIC DISTRIBUTION CENTERS”**, *Medical Decision Making*, 22, p 17-25.
37. Jun, J.B., Jacobson, S., Swisher, J. (1999). **“APPLICATION OF DISCRETE-EVENT SIMULATION IN HEALTH CARE CLINICS: A SURVEY”**, *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 50, p 109-123.
38. Katsaliaki, K, Brailsford, S. (2007). **“USING SIMULATION TO IMPROVE THE BLOOD SUPPLY CHAIN”**, *Journal of the Operational Research Society*, 58, p 219-227.
39. Katsaliaki, K., Mustafee, N. (2010). **“APPLICATIONS OF SIMULATION WITHIN THE HEALTHCARE CONTEXT”**, *Journal of the Operational Research Society*, DOI: 10.1057/jors.2010.20.
40. Kelton, W.D., Sadowski, R.P., Swets, N.B. (2010). **“SIMULATION WITH ARENA”**, Editorial McGraw-Hill.
41. Knepell, P.L., Arangno, D.C. (1993). **“SIMULATION VALIDATION: A CONFIDENCE ASSESSMENT METHODOLOGY”**, Editorial *IEEE Computer Society Press*.
42. Law, A.M. (2007). **“SIMULATION MODELING & ANALYSIS”**, Editorial McGraw-Hill.



43. Mallor, F., Omev, E., Van Gulck, S. (2010). **“INTRODUCTION TO THE MODELLING AND ANALYSIS OF QUEUING SYSTEMS”**, *Editorial Universidad Pública de Navarra*.
44. Naylor, T.H., Finger, J.M., McKenney, J.L., Schrank, W.E., Holt, C.C. (1967). **“VERIFICATION OF COMPUTER SIMULATION MODELS”**, *Management Science (October)*, B92-B106.
45. Oddoye, J.P., Jones, D.F., Tamiz, M., Schmidt, P. (2009). **“COMBINING SIMULATION AND GOAL PROGRAMMING FOR HEALTHCARE PLANNING IN A MEDICAL ASSESSMENT UNIT”**, *European Journal of Operational Research*, Vol 193, Issue 1, p 250-261.
46. Persson, M., Persson, J.A., (2009). **“HEALTH ECONOMIC MODELING TO SUPPORT SURGERY MANAGEMENT AT A SWEDISH HOSPITAL”**, *Omega*, 37, p 853-863.
47. Petrovski, A., McCall, J. (2001). **“MULTIOBJECTIVE OPTIMIZATION OF CANCER CHEMOTHERAPY USING EVOLUTIONARY ALGORITHMS, IN ZITLER, DEB, THIELE, COELLO EDS., EVOLUTIONARY MULTICRITERION OPTIMISATION”**, *Lecture notes in Computer Science*, nº1993, p 531-544.
48. Pilgrim, H, Tappendsen, P., Chilcott, J., Bending, M., Trueman, P., Shorthouse, A., Tappenden, J., (2009). **“THE COST AND BENEFITS OF BOWEL CANCER SERVICE DEVELOPMENTS USING DISCRETE EVENT SIMULATION”**, *Journal of the Operational Research Society*, 60, p 1305-1314.
49. Pritsker, A.B. (1995). **“INTRODUCTION TO SIMULATION AND SLAM II”**, *Editorial John Wiley and Sons*.
50. Biko 2 S.L., Fundación Miguel Servet, Rfid Osés , Servicio Navarro de Salud, Upna, (Noviembre 2009). **PROYECTO CORPORATIVO FASTER**.
51. Ratcliffe, J., Eldabi, T, Burroughs, A. et al. (2001). **“A SIMULATION MODELLING APPROACH TO EVALUATING ALTERNATIVE POLICIES FOR THE MANAGEMENT OF THE WAITING LIST FOR LIVER TRANSPLANTATION”**, *Health Care Management Science*, 4, p 117-124.
52. Rauner, M.S., Brailsford, S.C., Flessa, S. (2005). **“USE OF DISCRETE-EVENT SIMULATION TO EVALUATE STRATEGIES FOR THE PREVENTION OF MOTHER-TO-CHILD TRANSMISSION OF HIV IN**



- DEVELOPING COUNTRIES”, Journal of the Operational Research Society, 5, p 222-233.**
53. Rodríguez Barrios, J.M., Serrano, D., Monleón, T., Caro, J. (2008). **“LOS MODELOS DE SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS EN LA EVALUACIÓN ECONÓMICA DE TECNOLOGÍAS Y PRODUCTOS SANITARIOS”**, *Gaceta Sanitaria*, Vol 22, Issue 2, p 151-161.
54. Rohleder, T., Klassen, K. (2002). **“ROLLING HORIZON APPOINTMENT SCHEDULING: A SIMULATION STUDY”**, *Health Care Management Science*, 5, p 201-209.
55. Rosen, K.R. (2008). **“THE HISTORY OF MEDICAL SIMULATION”**, *Journal of Critical Care*, Vol 23, Issue 2, p 157-166.
56. Rossetti M.D., Felder R.A., Kumar A. (2000). **“SIMULATION OF ROBOTIC COURIER DELIVERIES IN HOSPITAL DISTRIBUTION SERVICES”**, *Health Care Management Science*, 3, p 201-13.
57. Santibáñez, P., Chow, V., French, J., Puterman, M., Tyldesley, S., (2009). **“REDUCING PATIENT WAIT TIMES AND IMPROVING RESOURCE UTILIZATION AT BRITISH COLUMBIA CANCER AGENCY’S AMBULATORY CARE UNIT THROUGH SIMULATION”**, *Health Care Management Science*, 12, p 392-407.
58. Schaefer, S., Bryce, C., Alagoz, O., Kreke, J. et al. (2005). **“A CLINICALLY BASED DISCRETE-EVENT SIMULATION OF END-STAGE LIVER DISEASE AND THE ORGAN ALLOCATION PROCESS”**, *Medical Decision Making*, 25, p 199-209.
59. Shannon, R.E. (1975). **“SYSTEMS SIMULATION: THE ART AND SCIENCE”**, *Editorial Prentice Hall*.
60. Stahl, J. E., Rattner, D., Wiklund, R., Lester, J, Beinfeld, M., Gazelle, S. (2004). **“REORGANIZING THE SYSTEM OF CARE SURROUNDING LAPAROSCOPIC SURGERY: A COST-EFFECTIVENESS ANALYSIS USING DISCRETE-EVENT SIMULATION”**, *Medical Decision Making*, 24, p 461-471.
61. Stevenson, M.D., Brazier, J.E., Calvert, N.W., Lloyd-Jones, M., Oakley, J.E., Kanis, J.A. (2005). **“DESCRIPTION OF AN INDIVIDUAL PATIENT METHODOLOGY FOR CALCULATING THE COST-EFFECTIVENESS OF TREATMENTS FOR OSTEOPOROSIS IN WOMEN”**, *Journal of the Operational Research Society*; 56, p 214-221.



62. Swisher, J.R., Jacobson, S. (2002). **“EVALUATING THE DESIGN OF A FAMILY PRACTICE HEALTHCARE CLINIC USING DISCRETE-EVENT SIMULATION”**, *Health Care Management Science*, 5, p 75-88.
63. Taylor, S., Eldabi, T., Riley, G., Paul, R.J., Pidd, M. (2009). **“SIMULATION MODELLING IS 50! DO WE NEED A REALITY CHECK?”**, *Journal of the Operational Research Society*, 60, p 569-582.
64. Testi, A., Tanfani, E., Torre, G., (2007). **“A THREE-PHASE APPROACH FOR OPERATING THEATRE SCHEDULES”**, *Health Care Management Science*, 10,p 163–172.
65. VanBerkel, P., Blake, J. (2007). **“A COMPREHENSIVE SIMULATION FOR WAIT TIME REDUCTION AND CAPACITY PLANNING, APPLIED IN GENERAL SURGERY”**, *Health Care Management Science*, 10, p 373-385.
66. Vasilakis C, El-Darzi E. (2001). **“A SIMULATION STUDY OF THE WINTER BED CRISIS”**, *Health Care Management Science*, 4, p 31-6.
67. Vissers, J., Adan I., Dellaert, N. (2007). **“DEVELOPING A PLATFORM FOR COMPARISON OF HOSPITAL ADMISSION SYSTEMS: AN ILLUSTRATION”**, *European Journal of Operational Research*, 180, p 1290-1301.
68. Wang, J., Xu, X., Ma, Y. (2008). **“AN EXPLORATION ON THE SIMULATION SYSTEM THEORY OF THE DISCIPLINE OF SIMULATION SCIENCE AND TECHNOLOGY”**, *Asia Simulation Conference – 7th International Conference on System Simulation and Scientific Computing (ICSC)*, p 375-9.
69. Winston, L.W. (1994). **“OPERATIONS RESEARCH: APPLICATIONS AND ALGORITHMS”**, Editorial Duxbury Press.
70. Web Gobierno de Navarra. www.navarra.es. Servicios
71. Yang, X., Wang, J. (2008). **“DISCUSSION OF THEORY FRAMEWORK FOR SIMULATION SCIENCE AND TECHNOLOGY DISCIPLINE”**, *Asia Simulation Conference – 7th International Conference on System Simulation and Scientific Computing (ICSC)*, p 964-9.

Desarrollo y Validación de un Modelo de Simulación para el Complejo Asistencial Médico Tecnológico de Navarra (CAMTNA)



Unnamed Project

Replications: 50

Time Units: Minutes

Key Performance Indicators

System

Number Out

Average

828,824

Unnamed Project

Replications: 50 Time Units: Minutes

Entity

Time

VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 3	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 4	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 5	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00

NVA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 3	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 4	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 5	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00

Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	1116.44	57,92	806.10	1760.35	360.00	7678.02
Entity 3	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 4	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 5	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00

Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	16.1342	0,01	16.0745	16.2027	1.0907	30.3913
Entity 3	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 4	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 5	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00

Other Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	560.46	0,70	555.37	565.65	206.08	941.13
Entity 3	0.00003635	0,00	0.00003626	0.00003642	0.00002651	0.00003951
Entity 4	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 5	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00

Total Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	1693.03	57,36	1387.60	2331.82	577.45	8302.17
Entity 3	0.00003635	0,00	0.00003626	0.00003642	0.00002651	0.00003951
Entity 4	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 5	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00

Other

Unnamed Project

Replications: 50 Time Units: Minutes

Entity

Other

Number In	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Entity 1	817565.56	264,35	815609.00	819150.00
Entity 2	0.00	0,00	0.00	0.00
Entity 3	3750.00	0,00	3750.00	3750.00
Entity 4	3750.00	0,00	3750.00	3750.00
Entity 5	3751.00	0,00	3751.00	3751.00



Number Out	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Entity 1	817573.06	265,45	815550.00	819195.00
Entity 2	0.00	0,00	0.00	0.00
Entity 3	3750.00	0,00	3750.00	3750.00
Entity 4	3750.00	0,00	3750.00	3750.00
Entity 5	3751.00	0,00	3751.00	3751.00

WIP	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	256.35	8,75	209.58	353.67	0.00	871.00
Entity 2	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Entity 3	0.00000003	0,00	0.00000003	0.00000003	0.00	1.0000
Entity 4	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	1.0000
Entity 5	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	1.0000

Unnamed Project

Replications: 50 Time Units: Minutes

Queue

Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
BOLSA.Queue	1044.96	57,13	739.59	1681.22	360.00	7560.00
Seize analisis.Queue	7.8439	0,14	6.7915	8.9087	0.00	188.31
Seize broncoscopia.Queue	23.4446	1,62	13.4852	37.4268	0.00	362.33
Seize C1.Queue	12.0385	0,06	11.5721	12.5621	0.00	172.81
Seize C3.Queue	13.9044	0,07	13.4265	14.4282	0.00	199.40
Seize C4.Queue	11.4345	0,55	7.9789	16.3298	0.00	120.00
Seize C6.Queue	24.7683	0,68	19.9236	29.3899	0.00	297.55
Seize cit.uretoscopia.Queue	4.2152	0,02	4.0721	4.4587	0.00	14.9988
Seize ecografia.Queue	13.6544	0,17	12.3862	15.0260	0.00	249.85
Seize PAAF.Queue	14.0020	0,37	11.4256	16.5740	0.00	136.41
Seize PET.Queue	9.5575	0,52	6.3130	13.8031	0.00	176.64
Seize RMN.Queue	11.3399	0,14	10.5095	12.5065	0.00	219.92
Seize RX.Queue	42.3629	0,56	38.4597	47.2678	0.00	253.19
Seize TAC.Queue	11.6244	0,20	10.3163	13.5346	0.00	120.00
Seize UIV.Queue	29.3003	0,89	23.6219	38.4999	0.00	281.88

Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
BOLSA.Queue	158.23	8,69	111.70	254.99	0.00	871.00
Seize analisis.Queue	0.05136691	0,00	0.04507280	0.05818352	0.00	5.0000
Seize broncoscopia.Queue	0.06486072	0,00	0.03780112	0.1026	0.00	12.0000
Seize C1.Queue	1.5359	0,01	1.4658	1.6087	0.00	26.0000
Seize C3.Queue	0.2023	0,00	0.1939	0.2113	0.00	7.0000
Seize C4.Queue	0.02758720	0,00	0.02075396	0.03610400	0.00	2.0000
Seize C6.Queue	0.1357	0,00	0.1151	0.1579	0.00	15.0000
Seize cit.uretoscopia.Queue	0.05268598	0,00	0.05099606	0.05588612	0.00	1.0000
Seize ecografia.Queue	0.08506727	0,00	0.07822572	0.0921	0.00	7.0000
Seize PAAF.Queue	0.03290372	0,00	0.02954975	0.03626554	0.00	2.0000
Seize PET.Queue	0.02503523	0,00	0.01725667	0.03452063	0.00	3.0000
Seize RMN.Queue	1.4607	0,02	1.3478	1.6153	0.00	32.0000
Seize RX.Queue	5.6208	0,08	5.0857	6.2836	0.00	53.0000
Seize TAC.Queue	1.0625	0,02	0.9431	1.2372	0.00	26.0000
Seize UIV.Queue	0.4647	0,01	0.3750	0.6126	0.00	7.0000

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 50 Time Units: Minutes

Resource

Usage

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 50 Time Units: Minutes

Resource

Usage

Instantaneous Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Recurso_analisis	0.1410	0,00	0.1377	0.1446	0.00	1.0000
Recurso_broncoscopia	0.1007	0,00	0.0959	0.1044	0.00	1.0000
Recurso_C1_1	0.4353	0,00	0.4327	0.4369	0.00	1.0000
Recurso_C1_2	0.4216	0,00	0.4183	0.4236	0.00	1.0000
Recurso_C1_3	0.4069	0,00	0.4033	0.4090	0.00	1.0000
Recurso_C1_4	0.3887	0,00	0.3846	0.3908	0.00	1.0000
Recurso_C1_5	0.3643	0,00	0.3603	0.3670	0.00	1.0000
Recurso_C1_6	0.3303	0,00	0.3256	0.3329	0.00	1.0000
Recurso_C3	0.2645	0,00	0.2615	0.2663	0.00	1.0000
Recurso_C4	0.04298124	0,00	0.03695066	0.04786360	0.00	1.0000
Recurso_C6	0.0983	0,00	0.0912	0.1063	0.00	1.0000
Recurso_cit.uretoscopia	0.1438	0,00	0.1423	0.1450	0.00	1.0000
Recurso_ecografia	0.1658	0,00	0.1601	0.1720	0.00	1.0000
Recurso_PAAF	0.05881183	0,00	0.05179239	0.06690126	0.00	1.0000
Recurso_PET	0.0910	0,00	0.08282975	0.0976	0.00	1.0000
Recurso_RMN1	0.5324	0,00	0.5309	0.5335	0.00	1.0000
Recurso_RMN10	0.4666	0,00	0.4639	0.4682	0.00	1.0000
Recurso_RMN11	0.4577	0,00	0.4535	0.4600	0.00	1.0000
Recurso_RMN12	0.4499	0,00	0.4447	0.4533	0.00	1.0000
Recurso_RMN13	0.4427	0,00	0.4359	0.4471	0.00	1.0000
Recurso_RMN14	0.4355	0,00	0.4276	0.4412	0.00	1.0000
Recurso_RMN15	0.4280	0,00	0.4194	0.4345	0.00	1.0000
Recurso_RMN16	0.4195	0,00	0.4099	0.4277	0.00	1.0000
Recurso_RMN2	0.5303	0,00	0.5291	0.5313	0.00	1.0000
Recurso_RMN3	0.5275	0,00	0.5265	0.5289	0.00	1.0000
Recurso_RMN4	0.5233	0,00	0.5219	0.5245	0.00	1.0000
Recurso_RMN5	0.5165	0,00	0.5156	0.5175	0.00	1.0000
Recurso_RMN6	0.5079	0,00	0.5069	0.5088	0.00	1.0000
Recurso_RMN7	0.4981	0,00	0.4966	0.4989	0.00	1.0000
Recurso_RMN8	0.4875	0,00	0.4865	0.4885	0.00	1.0000
Recurso_RMN9	0.4767	0,00	0.4748	0.4782	0.00	1.0000
Recurso_RX1	0.5014	0,00	0.4980	0.5038	0.00	1.0000
Recurso_RX2	0.4932	0,00	0.4905	0.4949	0.00	1.0000
Recurso_RX3	0.4903	0,00	0.4872	0.4921	0.00	1.0000
Recurso_RX4	0.4874	0,00	0.4840	0.4894	0.00	1.0000
Recurso_TAC1	0.5004	0,00	0.4967	0.5050	0.00	1.0000
Recurso_TAC10	0.4101	0,00	0.4084	0.4115	0.00	1.0000
Recurso_TAC11	0.3916	0,00	0.3856	0.3965	0.00	1.0000
Recurso_TAC2	0.4796	0,00	0.4741	0.4869	0.00	1.0000
Recurso_TAC3	0.4390	0,00	0.4376	0.4404	0.00	1.0000
Recurso_TAC4	0.4310	0,00	0.4294	0.4326	0.00	1.0000
Recurso_TAC5	0.4268	0,00	0.4250	0.4284	0.00	1.0000

Unnamed Project

Replications: 50 Time Units: Minutes

Resource

Usage

Instantaneous Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Recurso_TAC6	0.4234	0,00	0.4216	0.4250	0.00	1.0000
Recurso_TAC7	0.4203	0,00	0.4183	0.4221	0.00	1.0000
Recurso_TAC8	0.4172	0,00	0.4152	0.4190	0.00	1.0000
Recurso_TAC9	0.4140	0,00	0.4121	0.4156	0.00	1.0000
Recurso_UIV1	0.4835	0,00	0.4790	0.4870	0.00	1.0000
Recurso_UIV2	0.4410	0,00	0.4374	0.4446	0.00	1.0000

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 50 Time Units: Minutes

Resource

Usage

Number Busy	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Recurso_analisis	0.1410	0,00	0.1377	0.1446	0.00	1.0000
Recurso_broncoscopia	0.1007	0,00	0.0959	0.1044	0.00	1.0000
Recurso_C1_1	0.4353	0,00	0.4327	0.4369	0.00	1.0000
Recurso_C1_2	0.4216	0,00	0.4183	0.4236	0.00	1.0000
Recurso_C1_3	0.4069	0,00	0.4033	0.4090	0.00	1.0000
Recurso_C1_4	0.3887	0,00	0.3846	0.3908	0.00	1.0000
Recurso_C1_5	0.3643	0,00	0.3603	0.3670	0.00	1.0000
Recurso_C1_6	0.3303	0,00	0.3256	0.3329	0.00	1.0000
Recurso_C3	0.2645	0,00	0.2615	0.2663	0.00	1.0000
Recurso_C4	0.04298124	0,00	0.03695066	0.04786360	0.00	1.0000
Recurso_C6	0.0983	0,00	0.0912	0.1063	0.00	1.0000
Recurso_cit.uretoscopia	0.1438	0,00	0.1423	0.1450	0.00	1.0000
Recurso_ecografia	0.1658	0,00	0.1601	0.1720	0.00	1.0000
Recurso_PAAF	0.05881183	0,00	0.05179239	0.06690126	0.00	1.0000
Recurso_PET	0.0910	0,00	0.08282975	0.0976	0.00	1.0000
Recurso_RMN1	0.5324	0,00	0.5309	0.5335	0.00	1.0000
Recurso_RMN10	0.4666	0,00	0.4639	0.4682	0.00	1.0000
Recurso_RMN11	0.4577	0,00	0.4535	0.4600	0.00	1.0000
Recurso_RMN12	0.4499	0,00	0.4447	0.4533	0.00	1.0000
Recurso_RMN13	0.4427	0,00	0.4359	0.4471	0.00	1.0000
Recurso_RMN14	0.4355	0,00	0.4276	0.4412	0.00	1.0000
Recurso_RMN15	0.4280	0,00	0.4194	0.4345	0.00	1.0000
Recurso_RMN16	0.4195	0,00	0.4099	0.4277	0.00	1.0000
Recurso_RMN2	0.5303	0,00	0.5291	0.5313	0.00	1.0000
Recurso_RMN3	0.5275	0,00	0.5265	0.5289	0.00	1.0000
Recurso_RMN4	0.5233	0,00	0.5219	0.5245	0.00	1.0000
Recurso_RMN5	0.5165	0,00	0.5156	0.5175	0.00	1.0000
Recurso_RMN6	0.5079	0,00	0.5069	0.5088	0.00	1.0000
Recurso_RMN7	0.4981	0,00	0.4966	0.4989	0.00	1.0000
Recurso_RMN8	0.4875	0,00	0.4865	0.4885	0.00	1.0000
Recurso_RMN9	0.4767	0,00	0.4748	0.4782	0.00	1.0000
Recurso_RX1	0.5014	0,00	0.4980	0.5038	0.00	1.0000
Recurso_RX2	0.4932	0,00	0.4905	0.4949	0.00	1.0000
Recurso_RX3	0.4903	0,00	0.4872	0.4921	0.00	1.0000
Recurso_RX4	0.4874	0,00	0.4840	0.4894	0.00	1.0000
Recurso_TAC1	0.5004	0,00	0.4967	0.5050	0.00	1.0000
Recurso_TAC10	0.4101	0,00	0.4084	0.4115	0.00	1.0000
Recurso_TAC11	0.3916	0,00	0.3856	0.3965	0.00	1.0000
Recurso_TAC2	0.4796	0,00	0.4741	0.4869	0.00	1.0000
Recurso_TAC3	0.4390	0,00	0.4376	0.4404	0.00	1.0000
Recurso_TAC4	0.4310	0,00	0.4294	0.4326	0.00	1.0000
Recurso_TAC5	0.4268	0,00	0.4250	0.4284	0.00	1.0000

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 50 Time Units: Minutes

Resource

Usage

Number Busy	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Recurso_TAC6	0.4234	0,00	0.4216	0.4250	0.00	1.0000
Recurso_TAC7	0.4203	0,00	0.4183	0.4221	0.00	1.0000
Recurso_TAC8	0.4172	0,00	0.4152	0.4190	0.00	1.0000
Recurso_TAC9	0.4140	0,00	0.4121	0.4156	0.00	1.0000
Recurso_UIV1	0.4835	0,00	0.4790	0.4870	0.00	1.0000
Recurso_UIV2	0.4410	0,00	0.4374	0.4446	0.00	1.0000

Unnamed Project

Replications: 50 Time Units: Minutes

Resource

Usage

Number Scheduled	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Recurso_analisis	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_broncoscopia	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_C1_1	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_C1_2	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_C1_3	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_C1_4	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_C1_5	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_C1_6	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_C3	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_C4	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_C6	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_cit.uretoscopia	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_ecografia	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_PAAF	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_PET	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_RMN1	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_RMN10	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_RMN11	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_RMN12	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_RMN13	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_RMN14	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_RMN15	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_RMN16	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_RMN2	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_RMN3	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_RMN4	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_RMN5	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_RMN6	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_RMN7	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_RMN8	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_RMN9	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_RX1	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_RX2	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_RX3	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_RX4	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_TAC1	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_TAC10	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_TAC11	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_TAC2	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_TAC3	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_TAC4	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_TAC5	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 50 Time Units: Minutes

Resource

Usage

Number Scheduled	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Recurso_TAC6	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_TAC7	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_TAC8	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_TAC9	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_UIV1	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_UIV2	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000

Unnamed Project

Replications: 50 Time Units: Minutes

Resource

Usage

Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Recurso_analisis	0.2604	0,00	0.2542	0.2669
Recurso_broncoscopia	0.1859	0,00	0.1771	0.1928
Recurso_C1_1	0.8037	0,00	0.7988	0.8066
Recurso_C1_2	0.7784	0,00	0.7722	0.7820
Recurso_C1_3	0.7512	0,00	0.7445	0.7551
Recurso_C1_4	0.7176	0,00	0.7100	0.7215
Recurso_C1_5	0.6726	0,00	0.6652	0.6776
Recurso_C1_6	0.6098	0,00	0.6012	0.6146
Recurso_C3	0.4884	0,00	0.4828	0.4916
Recurso_C4	0.07934998	0,00	0.06821660	0.08836357
Recurso_C6	0.1814	0,00	0.1683	0.1962
Recurso_cit.uretoscopia	0.2654	0,00	0.2627	0.2677
Recurso_ecografia	0.3061	0,00	0.2956	0.3176
Recurso_PAAF	0.1086	0,00	0.0956	0.1235
Recurso_PET	0.1679	0,00	0.1529	0.1801
Recurso_RMN1	0.9829	0,00	0.9802	0.9849
Recurso_RMN10	0.8613	0,00	0.8563	0.8643
Recurso_RMN11	0.8450	0,00	0.8371	0.8492
Recurso_RMN12	0.8306	0,00	0.8211	0.8368
Recurso_RMN13	0.8173	0,00	0.8048	0.8254
Recurso_RMN14	0.8040	0,00	0.7894	0.8145
Recurso_RMN15	0.7902	0,00	0.7742	0.8022
Recurso_RMN16	0.7745	0,00	0.7567	0.7896
Recurso_RMN2	0.9791	0,00	0.9768	0.9809
Recurso_RMN3	0.9739	0,00	0.9720	0.9764
Recurso_RMN4	0.9660	0,00	0.9634	0.9683
Recurso_RMN5	0.9536	0,00	0.9519	0.9554
Recurso_RMN6	0.9377	0,00	0.9358	0.9393
Recurso_RMN7	0.9195	0,00	0.9169	0.9210
Recurso_RMN8	0.9000	0,00	0.8981	0.9019
Recurso_RMN9	0.8800	0,00	0.8765	0.8829
Recurso_RX1	0.9256	0,00	0.9194	0.9301
Recurso_RX2	0.9105	0,00	0.9056	0.9136
Recurso_RX3	0.9052	0,00	0.8995	0.9086
Recurso_RX4	0.8999	0,00	0.8936	0.9036
Recurso_TAC1	0.9239	0,00	0.9170	0.9323
Recurso_TAC10	0.7571	0,00	0.7539	0.7597
Recurso_TAC11	0.7229	0,00	0.7119	0.7319
Recurso_TAC2	0.8854	0,00	0.8752	0.8990
Recurso_TAC3	0.8104	0,00	0.8079	0.8130
Recurso_TAC4	0.7956	0,00	0.7927	0.7987
Recurso_TAC5	0.7880	0,00	0.7847	0.7908

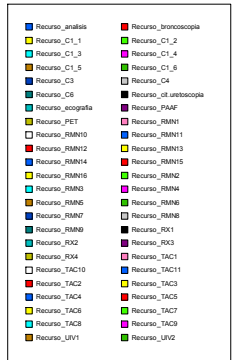
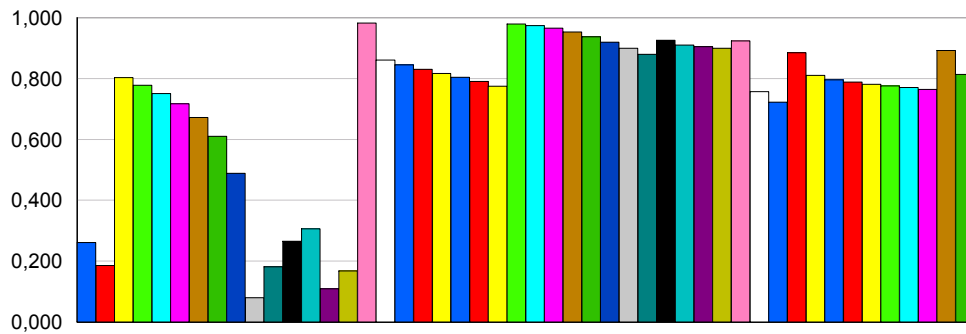
Unnamed Project

Replications: 50 Time Units: Minutes

Resource

Usage

Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Recurso_TAC6	0.7816	0,00	0.7783	0.7846
Recurso_TAC7	0.7760	0,00	0.7722	0.7792
Recurso_TAC8	0.7702	0,00	0.7664	0.7735
Recurso_TAC9	0.7644	0,00	0.7608	0.7673
Recurso_UIV1	0.8926	0,00	0.8844	0.8991
Recurso_UIV2	0.8141	0,00	0.8075	0.8209



Unnamed Project

Replications: 50 Time Units: Minutes

Resource

Usage

Total Number Seized	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Recurso_analisis	33858.06	116,70	33022.00	34694.00
Recurso_broncoscopia	14185.24	73,54	13505.00	14761.00
Recurso_C1_1	117544.02	73,64	116822.00	117959.00
Recurso_C1_2	113839.84	88,96	112914.00	114354.00
Recurso_C1_3	109863.56	98,76	108867.00	110445.00
Recurso_C1_4	104945.92	106,27	103844.00	105511.00
Recurso_C1_5	98363.68	117,37	97279.00	99072.00
Recurso_C1_6	89189.56	127,06	87914.00	89894.00
Recurso_C3	71427.52	78,84	70628.00	71893.00
Recurso_C4	11605.30	182,84	9977.00	12924.00
Recurso_C6	26534.44	279,09	24615.00	28692.00
Recurso_cit.uretoscopia	67496.58	78,68	66768.00	68114.00
Recurso_ecografia	30877.80	162,70	29831.00	32019.00
Recurso_PAAF	10952.80	192,40	9659.00	12462.00
Recurso_PET	13098.48	127,93	11939.00	14046.00
Recurso_RMN1	47917.10	13,69	47784.00	48013.00
Recurso_RMN10	41990.78	24,71	41754.00	42129.00
Recurso_RMN11	41195.18	37,60	40813.00	41407.00
Recurso_RMN12	40492.08	49,44	40033.00	40793.00
Recurso_RMN13	39844.06	64,54	39238.00	40239.00
Recurso_RMN14	39195.98	79,13	38466.00	39709.00
Recurso_RMN15	38523.64	90,31	37747.00	39107.00
Recurso_RMN16	37755.58	105,41	36888.00	38499.00
Recurso_RMN2	47729.60	14,13	47619.00	47820.00
Recurso_RMN3	47477.14	12,83	47392.00	47614.00
Recurso_RMN4	47093.24	12,78	46959.00	47193.00
Recurso_RMN5	46490.22	12,35	46403.00	46582.00
Recurso_RMN6	45711.52	11,49	45623.00	45791.00
Recurso_RMN7	44828.48	12,28	44690.00	44893.00
Recurso_RMN8	43876.36	13,77	43780.00	43965.00
Recurso_RMN9	42899.12	19,61	42732.00	43050.00
Recurso_RX1	180480.92	143,38	179227.00	181351.00
Recurso_RX2	177547.18	102,43	176573.00	178162.00
Recurso_RX3	176518.34	111,36	175431.00	177198.00
Recurso_RX4	175473.16	121,58	174258.00	176202.00
Recurso_TAC1	51474.78	57,80	51085.00	51945.00
Recurso_TAC10	42181.72	23,43	42012.00	42334.00
Recurso_TAC11	40280.32	73,38	39666.00	40810.00
Recurso_TAC2	49326.86	86,86	48772.00	50097.00
Recurso_TAC3	45149.84	20,77	44983.00	45316.00
Recurso_TAC4	44328.52	20,69	44183.00	44515.00
Recurso_TAC5	43902.48	24,64	43708.00	44071.00

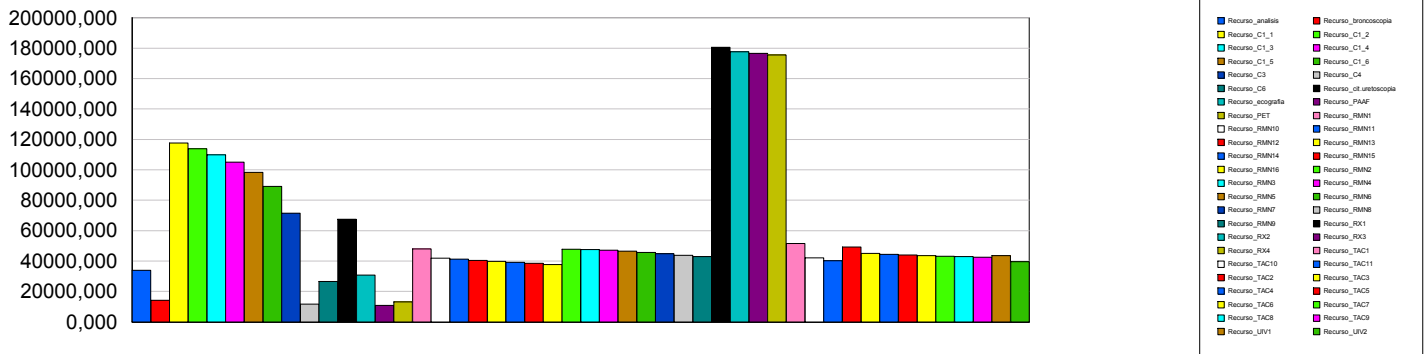
Unnamed Project

Replications: 50 Time Units: Minutes

Resource

Usage

Total Number Seized	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Recurso_TAC6	43546.44	23,11	43395.00	43723.00
Recurso_TAC7	43232.32	24,54	43020.00	43414.00
Recurso_TAC8	42914.92	23,23	42679.00	43108.00
Recurso_TAC9	42587.40	23,38	42386.00	42768.00
Recurso_UIV1	43512.64	39,80	43099.00	43827.00
Recurso_UIV2	39689.10	43,97	39372.00	40012.00



Station

Other

Number Entities Transferring	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
analisis	0.01924922	0,00	0.01873631	0.01970448	0.00	3.0000
broncoscopia	0.01106149	0,00	0.01082604	0.01128588	0.00	7.0000
C1	0.5103	0,00	0.5062	0.5128	0.00	11.0000
C3	0.05820119	0,00	0.05759504	0.05874526	0.00	5.0000
C4	0.00970416	0,00	0.00881996	0.01041640	0.00	1.0000
C6	0.01503914	0,00	0.01394413	0.01616711	0.00	16.0000
cit.uretoscopia	0.02499831	0,00	0.02473398	0.02522281	0.00	2.0000
ecografia	0.02493159	0,00	0.02436352	0.02555777	0.00	3.0000
PAAF	0.00944089	0,00	0.00860977	0.01042820	0.00	1.0000
PET	0.01050811	0,00	0.01000753	0.01094064	0.00	1.0000
RMN	0.4097	0,00	0.4075	0.4109	0.00	19.0000
RX	0.5307	0,00	0.5288	0.5320	0.00	16.0000
Salida del sistema	0.5383	0,00	0.5336	0.5419	0.00	8.0000
Station_lista_dia	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
TAC	0.2072	0,00	0.2068	0.2079	0.00	13.0000
UIV	0.06342987	0,00	0.06296942	0.06389965	0.00	2.0000

Unnamed Project

Replications: 50 Time Units: Minutes

User Specified

Tally

Expression	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
num_saca1	7.5109	0,09	6.9280	8.3923	1.0000	38.0000
num_saca2	3.9380	0,02	3.7419	4.1132	1.0000	24.0000
num_saca3	1.8591	0,02	1.7416	2.0278	1.0000	7.0000
num_saca4	1.6877	0,01	1.6088	1.7961	1.0000	7.0000
num_saca5	1.1878	0,00	1.1640	1.2246	1.0000	5.0000
num_saca6	1.2878	0,00	1.2636	1.3259	1.0000	5.0000
num_saca7	1.9542	0,03	1.6968	2.1592	1.0000	14.0000
num_saca8	2.9279	0,02	2.7718	3.0555	1.0000	16.0000
p1 en bolsa al final del dia	54.1983	4,97	26.7872	109.31	0.00	397.00
p2 en bolsa al final del dia	37.2093	3,44	18.2779	75.4696	0.00	272.00
p3 en bolsa al final del dia	4.7567	0,19	3.3944	6.0589	0.00	50.0000
p4 en bolsa al final del dia	3.7970	0,15	2.7117	4.8045	0.00	42.0000
p5 en bolsa al final del dia	1.4618	0,08	1.0189	2.3320	0.00	18.0000
p6 en bolsa al final del dia	2.1895	0,12	1.4848	3.5680	0.00	19.0000
p7 en bolsa al final del dia	0.1131	0,01	0.07253333	0.1637	0.00	11.0000
p8 en bolsa al final del dia	0.00000533	0,00	0.00	0.00026667	0.00	1.0000
porcent_tiempoCola_P1	0.2534	0,00	0.2396	0.2728	0.00	0.6461
porcent_tiempoCola_P2	0.3058	0,00	0.2809	0.3319	0.00	0.6846
porcent_tiempoCola_P3	0.2073	0,00	0.1899	0.2421	0.00	0.5601
porcent_tiempoCola_P4	0.2072	0,00	0.1890	0.2432	0.00	0.5463
porcent_tiempoCola_P5	0.2480	0,00	0.2441	0.2511	0.00	0.6958
porcent_tiempoCola_P6	0.2485	0,00	0.2442	0.2525	0.00	0.7012
porcent_tiempoCola_P7	0.0931	0,00	0.08354900	0.1042	0.00	0.5741
porcent_tiempoCola_P8	0.1152	0,00	0.1112	0.1202	0.00	0.7095
ptotal en bolsa al final del dia	103.73	8,68	57.3157	200.39	0.00	652.00
record_suma_NQ	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
t_colaP1	62.9356	0,79	57.9703	70.1904	0.00	296.93
t_colaP2	54.4680	0,85	48.2076	61.4549	0.00	236.95
t_colaP3	47.8082	0,98	42.6892	58.5122	0.00	209.14
t_colaP4	47.7787	0,99	42.4008	58.7727	0.00	190.59
t_colaP5	64.0526	0,22	62.0355	65.6673	0.00	389.29
t_colaP6	64.2543	0,21	62.6071	65.6427	0.00	385.62
t_colaP7	19.5568	0,33	17.3475	22.0857	0.00	203.52
t_colaP8	22.6366	0,15	21.5520	23.7817	0.00	326.42

Unnamed Project

Replications: 50 Time Units: Minutes

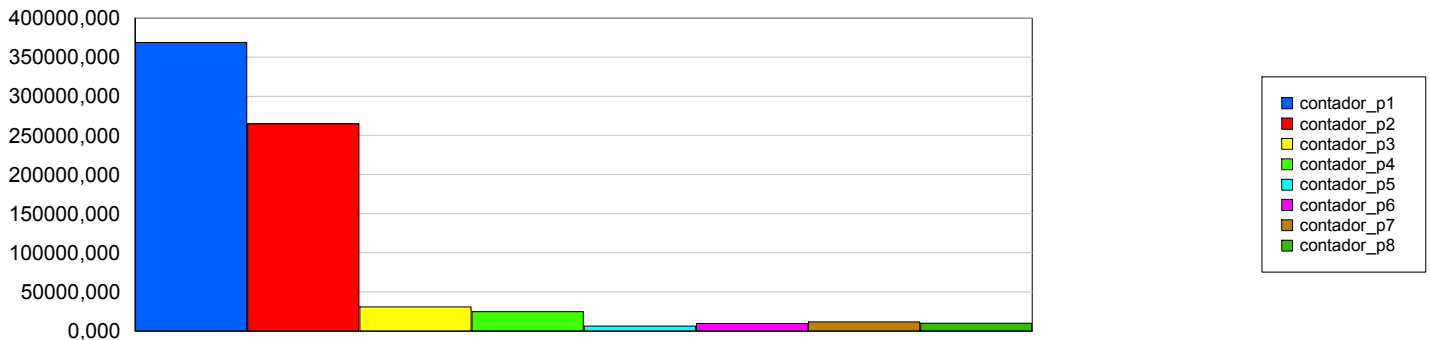
User Specified

Tally

Interval	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
tiempo en bolsa	1044.96	57,13	739.59	1681.22	360.00	7560.00
Tiempo en el sistema P1	228.37	0,79	223.41	235.63	146.38	459.61
Tiempo en el sistema P2	163.44	0,85	157.19	170.43	96.8323	346.92
Tiempo en el sistema P3	209.78	0,98	204.65	220.48	142.76	373.38
Tiempo en el sistema P4	209.74	0,99	204.30	220.73	143.92	367.17
Tiempo en el sistema P5	232.51	0,22	230.55	234.10	147.88	559.47
Tiempo en el sistema P6	232.72	0,21	231.03	234.16	147.35	549.96
Tiempo en el sistema P7	185.26	0,31	183.20	187.56	127.86	361.97
Tiempo en el sistema P8	164.99	0,16	163.80	166.11	119.95	470.14
tiempo en la bolsa P1	1068.98	64,75	712.43	1787.61	360.00	6120.00
tiempo en la bolsa P2	1064.90	64,91	706.88	1787.00	360.00	6120.00
tiempo en la bolsa P3	1044.69	26,40	853.79	1223.81	360.00	7560.00
tiempo en la bolsa P4	1043.52	26,75	846.85	1226.69	360.00	7560.00
tiempo en la bolsa P5	1410.37	56,30	1090.12	2050.37	360.00	7560.00
tiempo en la bolsa P6	1408.06	56,27	1082.14	2068.41	360.00	7560.00
tiempo en la bolsa P7	400.90	2,09	385.57	419.14	360.00	3240.00
tiempo en la bolsa P8	360.00	0,00	360.00	360.08	360.00	1800.00

Counter

Count	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
contador_p1	368910.82	616,20	363418.00	372876.00
contador_p2	264835.76	198,30	263060.00	266562.00
contador_p3	30854.68	107,02	29931.00	31584.00
contador_p4	24670.36	78,55	23891.00	25186.00
contador_p5	6357.78	41,42	6046.00	6736.00
contador_p6	9544.70	61,36	9077.00	9987.00
contador_p7	11605.30	182,84	9977.00	12924.00
contador_p8	9948.32	185,93	8630.00	11425.00



Output



Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 50 Time Units: Minutes

User Specified

Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
num_cola_bolsa	158.23	8,69	111.70	254.99
tasa_utilizacion_analisis	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_broncoscopia	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_C1_1	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_C1_2	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_C1_3	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_C1_4	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_C1_5	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_C1_6	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_C3	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_C4	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_C6	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_cit.uretoscopia	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_ecografia	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_PAAF	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_PET	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_RMN1	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_RMN10	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_RMN11	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_RMN12	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_RMN13	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_RMN14	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_RMN15	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_RMN16	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_RMN2	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_RMN3	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_RMN4	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_RMN5	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_RMN6	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_RMN7	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_RMN8	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_RMN9	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_RX1	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_RX2	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_RX3	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_RX4	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_TAC1	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_TAC10	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_TAC11	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_TAC2	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_TAC3	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_TAC4	0.00	0,00	0.00	0.00

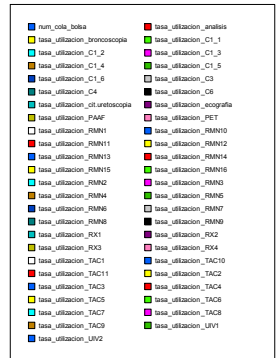
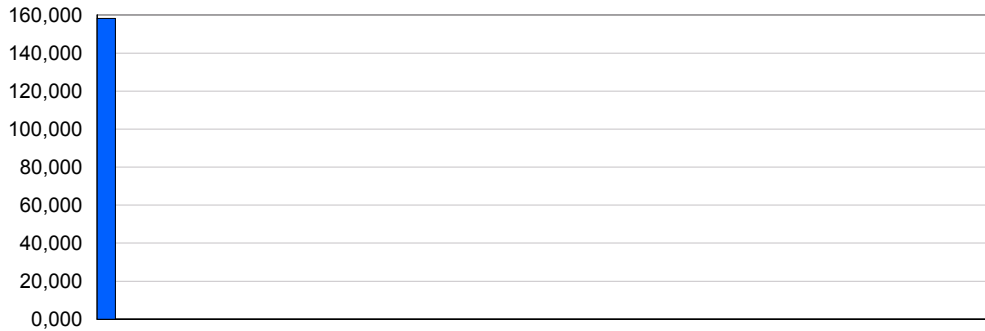
Unnamed Project

Replications: 50 Time Units: Minutes

User Specified

Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
tasa_utilizacion_TAC5	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_TAC6	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_TAC7	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_TAC8	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_TAC9	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_UIV1	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_UIV2	0.00	0,00	0.00	0.00



Unnamed Project

Replications: 50

Time Units: Minutes

Key Performance Indicators

System

Number Out

Average

828,823

Unnamed Project

Replications: 50 Time Units: Minutes

Entity

Time

VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 3	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 4	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 5	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00

NVA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 3	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 4	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 5	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00

Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	1070.38	58,18	748.44	1716.87	360.00	6316.37
Entity 3	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 4	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 5	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00

Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	16.2563	0,01	16.2048	16.2915	1.0062	29.9614
Entity 3	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 4	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 5	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00

Other Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	554.36	0,51	550.10	558.27	205.59	1296.10
Entity 3	0.00003635	0,00	0.00003625	0.00003642	0.00002517	0.00003951
Entity 4	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 5	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00

Total Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	1641.00	57,70	1322.98	2283.17	577.48	6731.87
Entity 3	0.00003635	0,00	0.00003625	0.00003642	0.00002517	0.00003951
Entity 4	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 5	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00

Other

Unnamed Project

Replications: 50 Time Units: Minutes

Entity

Other

Number In	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Entity 1	817565.56	264,35	815609.00	819150.00
Entity 2	0.00	0,00	0.00	0.00
Entity 3	3750.00	0,00	3750.00	3750.00
Entity 4	3750.00	0,00	3750.00	3750.00
Entity 5	3751.00	0,00	3751.00	3751.00



Number Out	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Entity 1	817571.80	265,15	815534.00	819197.00
Entity 2	0.00	0,00	0.00	0.00
Entity 3	3750.00	0,00	3750.00	3750.00
Entity 4	3750.00	0,00	3750.00	3750.00
Entity 5	3751.00	0,00	3751.00	3751.00

WIP	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	248.47	8,80	199.82	346.29	0.00	869.00
Entity 2	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Entity 3	0.00000003	0,00	0.00000003	0.00000003	0.00	1.0000
Entity 4	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	1.0000
Entity 5	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	1.0000

Unnamed Project

Replications: 50 Time Units: Minutes

Queue

Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
BOLSA.Queue	1000.94	57,24	685.65	1639.02	360.00	6120.00
Seize analisis.Queue	7.7136	0,09	7.0475	8.4674	0.00	567.93
Seize broncoscopia.Queue	22.2792	1,57	12.5983	36.2020	0.00	360.33
Seize C1.Queue	11.8564	0,08	11.3079	12.4560	0.00	173.57
Seize C3.Queue	13.0419	0,03	12.8645	13.2528	0.00	170.06
Seize C4.Queue	10.3847	0,53	7.0240	15.1112	0.00	120.00
Seize C6.Queue	15.8964	0,41	13.4979	19.4120	0.00	678.00
Seize cit.uretoscopia.Queue	4.3259	0,02	4.1828	4.5466	0.00	14.9988
Seize ecografia.Queue	12.3955	0,13	11.4895	13.4478	0.00	290.37
Seize PAAF.Queue	8.2321	0,25	6.7684	10.5439	0.00	142.49
Seize PET.Queue	8.3863	0,52	5.1302	12.8883	0.00	188.53
Seize RMN.Queue	11.3216	0,15	10.2933	12.5377	0.00	189.83
Seize RX.Queue	42.4113	0,63	37.8682	47.6728	0.00	231.00
Seize TAC.Queue	9.1022	0,12	8.4383	10.3159	0.00	215.44
Seize UIV.Queue	29.9155	1,01	22.9415	39.6366	0.00	279.00

Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
BOLSA.Queue	151.56	8,71	103.54	248.59	0.00	869.00
Seize analisis.Queue	0.05180411	0,00	0.04756925	0.05704848	0.00	8.0000
Seize broncoscopia.Queue	0.06163778	0,00	0.03531481	0.0993	0.00	11.0000
Seize C1.Queue	1.5249	0,01	1.4479	1.6054	0.00	26.0000
Seize C3.Queue	0.1880	0,00	0.1837	0.1921	0.00	6.0000
Seize C4.Queue	0.02566795	0,00	0.01869563	0.03429125	0.00	2.0000
Seize C6.Queue	0.0961	0,00	0.08419459	0.1133	0.00	14.0000
Seize cit.uretoscopia.Queue	0.05406913	0,00	0.05217452	0.05698326	0.00	1.0000
Seize ecografia.Queue	0.07964336	0,00	0.07274573	0.08542364	0.00	7.0000
Seize PAAF.Queue	0.02313976	0,00	0.01934248	0.02780904	0.00	2.0000
Seize PET.Queue	0.02221226	0,00	0.01416612	0.03265751	0.00	4.0000
Seize RMN.Queue	1.4618	0,02	1.3239	1.6224	0.00	31.0000
Seize RX.Queue	5.6229	0,09	5.0016	6.3336	0.00	51.0000
Seize TAC.Queue	0.8318	0,01	0.7705	0.9428	0.00	25.0000
Seize UIV.Queue	0.4700	0,02	0.3588	0.6265	0.00	7.0000

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 50 Time Units: Minutes

Resource

Usage

Unnamed Project

Replications: 50 Time Units: Minutes

Resource

Usage

Instantaneous Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Recurso_analisis	0.1455	0,00	0.1424	0.1478	0.00	1.0000
Recurso_broncoscopia	0.1018	0,00	0.0971	0.1055	0.00	1.0000
Recurso_C1_1	0.4392	0,00	0.4387	0.4398	0.00	1.0000
Recurso_C1_2	0.4262	0,00	0.4251	0.4269	0.00	1.0000
Recurso_C1_3	0.4119	0,00	0.4110	0.4126	0.00	1.0000
Recurso_C1_4	0.3942	0,00	0.3933	0.3950	0.00	1.0000
Recurso_C1_5	0.3703	0,00	0.3693	0.3712	0.00	1.0000
Recurso_C1_6	0.3370	0,00	0.3356	0.3379	0.00	1.0000
Recurso_C3	0.2642	0,00	0.2615	0.2660	0.00	1.0000
Recurso_C4	0.04457112	0,00	0.03851222	0.04953806	0.00	1.0000
Recurso_C6	0.1131	0,00	0.1045	0.1182	0.00	1.0000
Recurso_cit.uretoscopia	0.1437	0,00	0.1423	0.1450	0.00	1.0000
Recurso_ecografia	0.1748	0,00	0.1704	0.1781	0.00	1.0000
Recurso_PAAF	0.07515111	0,00	0.06706421	0.08029536	0.00	1.0000
Recurso_PET	0.0932	0,00	0.08506706	0.0998	0.00	1.0000
Recurso_RMN1	0.5322	0,00	0.5310	0.5334	0.00	1.0000
Recurso_RMN10	0.4681	0,00	0.4661	0.4697	0.00	1.0000
Recurso_RMN11	0.4605	0,00	0.4581	0.4624	0.00	1.0000
Recurso_RMN12	0.4541	0,00	0.4509	0.4566	0.00	1.0000
Recurso_RMN13	0.4479	0,00	0.4439	0.4513	0.00	1.0000
Recurso_RMN14	0.4416	0,00	0.4363	0.4462	0.00	1.0000
Recurso_RMN15	0.4347	0,00	0.4282	0.4399	0.00	1.0000
Recurso_RMN16	0.4267	0,00	0.4189	0.4332	0.00	1.0000
Recurso_RMN2	0.5304	0,00	0.5291	0.5314	0.00	1.0000
Recurso_RMN3	0.5278	0,00	0.5265	0.5289	0.00	1.0000
Recurso_RMN4	0.5235	0,00	0.5226	0.5242	0.00	1.0000
Recurso_RMN5	0.5167	0,00	0.5154	0.5175	0.00	1.0000
Recurso_RMN6	0.5079	0,00	0.5067	0.5088	0.00	1.0000
Recurso_RMN7	0.4980	0,00	0.4967	0.4992	0.00	1.0000
Recurso_RMN8	0.4876	0,00	0.4856	0.4885	0.00	1.0000
Recurso_RMN9	0.4773	0,00	0.4761	0.4784	0.00	1.0000
Recurso_RX1	0.5032	0,00	0.5001	0.5057	0.00	1.0000
Recurso_RX2	0.4954	0,00	0.4936	0.4965	0.00	1.0000
Recurso_RX3	0.4929	0,00	0.4909	0.4940	0.00	1.0000
Recurso_RX4	0.4905	0,00	0.4885	0.4916	0.00	1.0000
Recurso_TAC1	0.5020	0,00	0.4983	0.5066	0.00	1.0000
Recurso_TAC10	0.4106	0,00	0.4087	0.4120	0.00	1.0000
Recurso_TAC11	0.3881	0,00	0.3827	0.3918	0.00	1.0000
Recurso_TAC2	0.4811	0,00	0.4752	0.4892	0.00	1.0000
Recurso_TAC3	0.4382	0,00	0.4361	0.4396	0.00	1.0000
Recurso_TAC4	0.4305	0,00	0.4287	0.4319	0.00	1.0000
Recurso_TAC5	0.4267	0,00	0.4246	0.4281	0.00	1.0000

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 50 Time Units: Minutes

Resource

Usage

Instantaneous Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Recurso_TAC6	0.4237	0,00	0.4213	0.4260	0.00	1.0000
Recurso_TAC7	0.4208	0,00	0.4178	0.4226	0.00	1.0000
Recurso_TAC8	0.4179	0,00	0.4154	0.4202	0.00	1.0000
Recurso_TAC9	0.4146	0,00	0.4129	0.4165	0.00	1.0000
Recurso_UIV1	0.4788	0,00	0.4760	0.4817	0.00	1.0000
Recurso_UIV2	0.4359	0,00	0.4332	0.4388	0.00	1.0000

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 50 Time Units: Minutes

Resource

Usage

Number Busy	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Recurso_analisis	0.1455	0,00	0.1424	0.1478	0.00	1.0000
Recurso_broncoscopia	0.1018	0,00	0.0971	0.1055	0.00	1.0000
Recurso_C1_1	0.4392	0,00	0.4387	0.4398	0.00	1.0000
Recurso_C1_2	0.4262	0,00	0.4251	0.4269	0.00	1.0000
Recurso_C1_3	0.4119	0,00	0.4110	0.4126	0.00	1.0000
Recurso_C1_4	0.3942	0,00	0.3933	0.3950	0.00	1.0000
Recurso_C1_5	0.3703	0,00	0.3693	0.3712	0.00	1.0000
Recurso_C1_6	0.3370	0,00	0.3356	0.3379	0.00	1.0000
Recurso_C3	0.2642	0,00	0.2615	0.2660	0.00	1.0000
Recurso_C4	0.04457112	0,00	0.03851222	0.04953806	0.00	1.0000
Recurso_C6	0.1131	0,00	0.1045	0.1182	0.00	1.0000
Recurso_cit.uretoscopia	0.1437	0,00	0.1423	0.1450	0.00	1.0000
Recurso_ecografia	0.1748	0,00	0.1704	0.1781	0.00	1.0000
Recurso_PAAF	0.07515111	0,00	0.06706421	0.08029536	0.00	1.0000
Recurso_PET	0.0932	0,00	0.08506706	0.0998	0.00	1.0000
Recurso_RMN1	0.5322	0,00	0.5310	0.5334	0.00	1.0000
Recurso_RMN10	0.4681	0,00	0.4661	0.4697	0.00	1.0000
Recurso_RMN11	0.4605	0,00	0.4581	0.4624	0.00	1.0000
Recurso_RMN12	0.4541	0,00	0.4509	0.4566	0.00	1.0000
Recurso_RMN13	0.4479	0,00	0.4439	0.4513	0.00	1.0000
Recurso_RMN14	0.4416	0,00	0.4363	0.4462	0.00	1.0000
Recurso_RMN15	0.4347	0,00	0.4282	0.4399	0.00	1.0000
Recurso_RMN16	0.4267	0,00	0.4189	0.4332	0.00	1.0000
Recurso_RMN2	0.5304	0,00	0.5291	0.5314	0.00	1.0000
Recurso_RMN3	0.5278	0,00	0.5265	0.5289	0.00	1.0000
Recurso_RMN4	0.5235	0,00	0.5226	0.5242	0.00	1.0000
Recurso_RMN5	0.5167	0,00	0.5154	0.5175	0.00	1.0000
Recurso_RMN6	0.5079	0,00	0.5067	0.5088	0.00	1.0000
Recurso_RMN7	0.4980	0,00	0.4967	0.4992	0.00	1.0000
Recurso_RMN8	0.4876	0,00	0.4856	0.4885	0.00	1.0000
Recurso_RMN9	0.4773	0,00	0.4761	0.4784	0.00	1.0000
Recurso_RX1	0.5032	0,00	0.5001	0.5057	0.00	1.0000
Recurso_RX2	0.4954	0,00	0.4936	0.4965	0.00	1.0000
Recurso_RX3	0.4929	0,00	0.4909	0.4940	0.00	1.0000
Recurso_RX4	0.4905	0,00	0.4885	0.4916	0.00	1.0000
Recurso_TAC1	0.5020	0,00	0.4983	0.5066	0.00	1.0000
Recurso_TAC10	0.4106	0,00	0.4087	0.4120	0.00	1.0000
Recurso_TAC11	0.3881	0,00	0.3827	0.3918	0.00	1.0000
Recurso_TAC2	0.4811	0,00	0.4752	0.4892	0.00	1.0000
Recurso_TAC3	0.4382	0,00	0.4361	0.4396	0.00	1.0000
Recurso_TAC4	0.4305	0,00	0.4287	0.4319	0.00	1.0000
Recurso_TAC5	0.4267	0,00	0.4246	0.4281	0.00	1.0000

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 50 Time Units: Minutes

Resource

Usage

Number Busy	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Recurso_TAC6	0.4237	0,00	0.4213	0.4260	0.00	1.0000
Recurso_TAC7	0.4208	0,00	0.4178	0.4226	0.00	1.0000
Recurso_TAC8	0.4179	0,00	0.4154	0.4202	0.00	1.0000
Recurso_TAC9	0.4146	0,00	0.4129	0.4165	0.00	1.0000
Recurso_UIV1	0.4788	0,00	0.4760	0.4817	0.00	1.0000
Recurso_UIV2	0.4359	0,00	0.4332	0.4388	0.00	1.0000

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 50 Time Units: Minutes

Resource

Usage

Number Scheduled	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Recurso_analisis	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_broncoscopia	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_C1_1	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_C1_2	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_C1_3	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_C1_4	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_C1_5	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_C1_6	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_C3	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_C4	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_C6	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_cit.uretoscopia	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_ecografia	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_PAAF	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_PET	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_RMN1	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_RMN10	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_RMN11	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_RMN12	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_RMN13	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_RMN14	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_RMN15	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_RMN16	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_RMN2	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_RMN3	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_RMN4	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_RMN5	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_RMN6	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_RMN7	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_RMN8	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_RMN9	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_RX1	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_RX2	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_RX3	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_RX4	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_TAC1	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_TAC10	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_TAC11	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_TAC2	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_TAC3	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_TAC4	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_TAC5	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000

Unnamed Project

Replications: 50 Time Units: Minutes

Resource

Usage

Number Scheduled	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Recurso_TAC6	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_TAC7	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_TAC8	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_TAC9	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_UIV1	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000
Recurso_UIV2	0.5417	0,00	0.5417	0.5417	0.00	1.0000

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 50 Time Units: Minutes

Resource

Usage

Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Recurso_analisis	0.2687	0,00	0.2628	0.2729
Recurso_broncoscopia	0.1879	0,00	0.1793	0.1947
Recurso_C1_1	0.8109	0,00	0.8098	0.8119
Recurso_C1_2	0.7868	0,00	0.7849	0.7881
Recurso_C1_3	0.7605	0,00	0.7588	0.7618
Recurso_C1_4	0.7278	0,00	0.7261	0.7292
Recurso_C1_5	0.6836	0,00	0.6817	0.6854
Recurso_C1_6	0.6221	0,00	0.6196	0.6239
Recurso_C3	0.4877	0,00	0.4827	0.4911
Recurso_C4	0.08228515	0,00	0.07109949	0.0915
Recurso_C6	0.2087	0,00	0.1929	0.2182
Recurso_cit.uretoscopia	0.2654	0,00	0.2627	0.2676
Recurso_ecografia	0.3226	0,00	0.3146	0.3289
Recurso_PAAF	0.1387	0,00	0.1238	0.1482
Recurso_PET	0.1720	0,00	0.1570	0.1843
Recurso_RMN1	0.9825	0,00	0.9802	0.9848
Recurso_RMN10	0.8642	0,00	0.8606	0.8672
Recurso_RMN11	0.8502	0,00	0.8457	0.8537
Recurso_RMN12	0.8383	0,00	0.8324	0.8430
Recurso_RMN13	0.8268	0,00	0.8196	0.8333
Recurso_RMN14	0.8153	0,00	0.8055	0.8238
Recurso_RMN15	0.8026	0,00	0.7905	0.8121
Recurso_RMN16	0.7877	0,00	0.7734	0.7997
Recurso_RMN2	0.9792	0,00	0.9768	0.9810
Recurso_RMN3	0.9745	0,00	0.9719	0.9765
Recurso_RMN4	0.9664	0,00	0.9648	0.9678
Recurso_RMN5	0.9540	0,00	0.9515	0.9555
Recurso_RMN6	0.9377	0,00	0.9355	0.9393
Recurso_RMN7	0.9193	0,00	0.9170	0.9215
Recurso_RMN8	0.9002	0,00	0.8965	0.9019
Recurso_RMN9	0.8812	0,00	0.8789	0.8833
Recurso_RX1	0.9291	0,00	0.9232	0.9336
Recurso_RX2	0.9145	0,00	0.9113	0.9167
Recurso_RX3	0.9100	0,00	0.9064	0.9120
Recurso_RX4	0.9055	0,00	0.9018	0.9076
Recurso_TAC1	0.9267	0,00	0.9199	0.9353
Recurso_TAC10	0.7580	0,00	0.7546	0.7605
Recurso_TAC11	0.7164	0,00	0.7064	0.7233
Recurso_TAC2	0.8883	0,00	0.8774	0.9032
Recurso_TAC3	0.8089	0,00	0.8052	0.8116
Recurso_TAC4	0.7948	0,00	0.7915	0.7974
Recurso_TAC5	0.7877	0,00	0.7839	0.7904

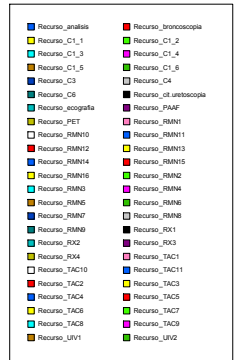
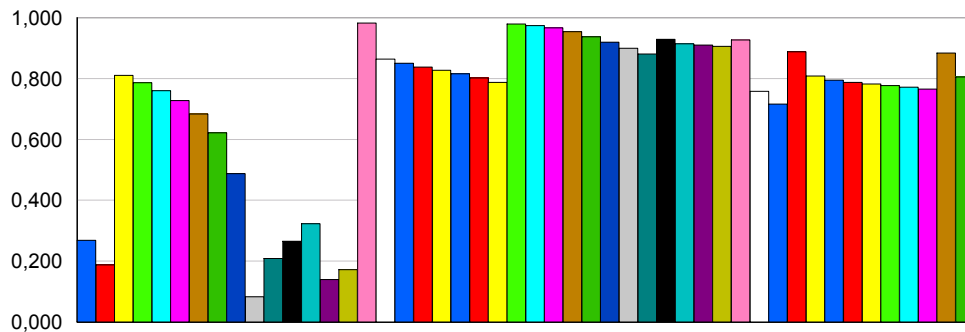
Unnamed Project

Replications: 50 Time Units: Minutes

Resource

Usage

Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Recurso_TAC6	0.7822	0,00	0.7778	0.7864
Recurso_TAC7	0.7769	0,00	0.7713	0.7803
Recurso_TAC8	0.7715	0,00	0.7670	0.7757
Recurso_TAC9	0.7654	0,00	0.7622	0.7690
Recurso_UIV1	0.8839	0,00	0.8788	0.8893
Recurso_UIV2	0.8048	0,00	0.7997	0.8101



Unnamed Project

Replications: 50 Time Units: Minutes

Resource

Usage

Total Number Seized	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Recurso_analisis	34932.08	73,02	34163.00	35473.00
Recurso_broncoscopia	14342.96	67,59	13683.00	14911.00
Recurso_C1_1	118588.98	16,94	118437.00	118754.00
Recurso_C1_2	115073.86	25,54	114799.00	115278.00
Recurso_C1_3	111219.30	26,92	110966.00	111413.00
Recurso_C1_4	106443.86	26,24	106184.00	106655.00
Recurso_C1_5	99983.16	31,24	99690.00	100223.00
Recurso_C1_6	90982.28	30,94	90628.00	91222.00
Recurso_C3	71324.70	82,22	70604.00	71820.00
Recurso_C4	12035.00	178,45	10393.00	13377.00
Recurso_C6	30528.48	204,47	28215.00	31910.00
Recurso_cit.uretoscopia	67495.12	78,97	66760.00	68106.00
Recurso_ecografia	32541.92	89,20	31707.00	33197.00
Recurso_PAAF	13996.86	137,08	12516.00	14945.00
Recurso_PET	13418.68	122,01	12254.00	14373.00
Recurso_RMN1	47899.88	12,54	47786.00	48010.00
Recurso_RMN10	42132.32	19,60	41958.00	42276.00
Recurso_RMN11	41447.58	25,63	41216.00	41634.00
Recurso_RMN12	40867.18	33,25	40581.00	41095.00
Recurso_RMN13	40308.40	42,67	39958.00	40611.00
Recurso_RMN14	39745.20	55,88	39265.00	40153.00
Recurso_RMN15	39123.84	67,51	38536.00	39603.00
Recurso_RMN16	38400.28	81,25	37710.00	38978.00
Recurso_RMN2	47734.32	13,08	47604.00	47808.00
Recurso_RMN3	47508.32	13,26	47391.00	47601.00
Recurso_RMN4	47113.72	11,14	47040.00	47190.00
Recurso_RMN5	46506.48	11,46	46388.00	46581.00
Recurso_RMN6	45714.86	10,09	45602.00	45791.00
Recurso_RMN7	44816.58	13,12	44706.00	44932.00
Recurso_RMN8	43883.32	14,31	43710.00	43969.00
Recurso_RMN9	42958.58	15,29	42842.00	43067.00
Recurso_RX1	181160.64	120,94	180000.00	182020.00
Recurso_RX2	178325.74	60,67	177634.00	178750.00
Recurso_RX3	177454.44	61,71	176770.00	177827.00
Recurso_RX4	176568.18	63,79	175864.00	177042.00
Recurso_TAC1	51630.86	56,64	51248.00	52096.00
Recurso_TAC10	42233.66	22,74	42014.00	42359.00
Recurso_TAC11	39914.74	63,21	39347.00	40315.00
Recurso_TAC2	49488.64	90,71	48842.00	50322.00
Recurso_TAC3	45067.06	22,04	44871.00	45219.00
Recurso_TAC4	44282.40	19,81	44131.00	44431.00
Recurso_TAC5	43882.70	27,55	43654.00	44038.00

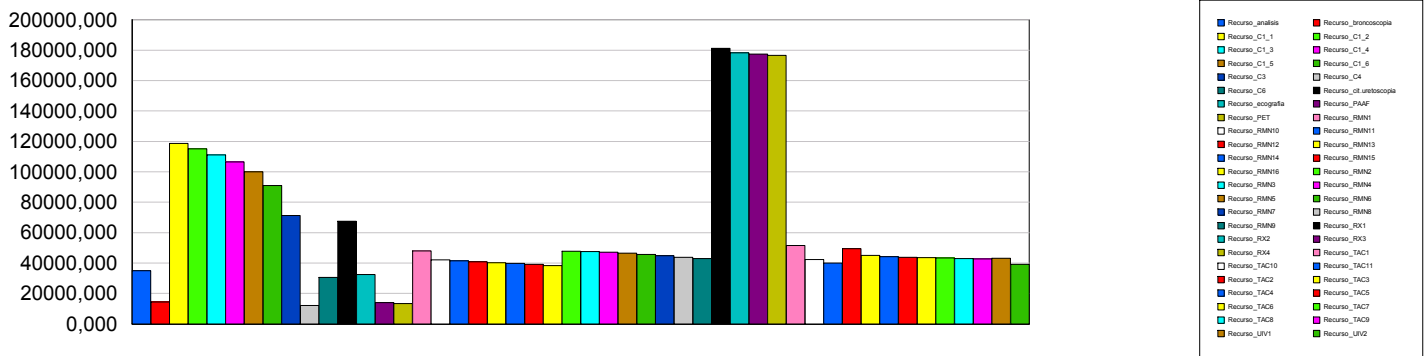
Unnamed Project

Replications: 50 Time Units: Minutes

Resource

Usage

Total Number Seized	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Recurso_TAC6	43585.38	32,21	43327.00	43817.00
Recurso_TAC7	43286.14	31,00	42947.00	43466.00
Recurso_TAC8	42988.96	26,94	42758.00	43246.00
Recurso_TAC9	42645.24	24,59	42507.00	42846.00
Recurso_UIV1	43089.62	31,46	42836.00	43355.00
Recurso_UIV2	39233.70	33,75	38985.00	39486.00



Station

Other

Number Entities Transferring	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
analisis	0.01991126	0,00	0.01941084	0.02019968	0.00	3.0000
broncoscopia	0.01106746	0,00	0.01081512	0.01127555	0.00	7.0000
C1	0.5145	0,00	0.5122	0.5158	0.00	13.0000
C3	0.05765635	0,00	0.05713832	0.05805131	0.00	4.0000
C4	0.00994190	0,00	0.00909872	0.01066682	0.00	1.0000
C6	0.01729502	0,00	0.01607122	0.01804243	0.00	15.0000
cit.uretoscopia	0.02499704	0,00	0.02475364	0.02522710	0.00	2.0000
ecografia	0.02569671	0,00	0.02518325	0.02610820	0.00	3.0000
PAAF	0.01126917	0,00	0.01035893	0.01184163	0.00	1.0000
PET	0.01062499	0,00	0.01016368	0.01105426	0.00	1.0000
RMN	0.4109	0,00	0.4091	0.4122	0.00	18.0000
RX	0.5303	0,00	0.5282	0.5318	0.00	16.0000
Salida del sistema	0.5472	0,00	0.5448	0.5489	0.00	8.0000
Station_lista_dia	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
TAC	0.2072	0,00	0.2066	0.2079	0.00	13.0000
UIV	0.06283235	0,00	0.06235655	0.06342002	0.00	2.0000

Unnamed Project

Replications: 50 Time Units: Minutes

User Specified

Tally

Expression	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
num_saca1	6.1844	0,04	5.8852	6.5559	1.0000	39.0000
num_saca2	3.7095	0,03	3.5372	3.9498	1.0000	19.0000
num_saca3	1.8655	0,02	1.7221	2.0391	1.0000	7.0000
num_saca4	1.6949	0,01	1.6054	1.8048	1.0000	7.0000
num_saca5	1.3945	0,01	1.3410	1.4467	1.0000	7.0000
num_saca6	1.5839	0,01	1.5241	1.6518	1.0000	8.0000
num_saca7	1.9177	0,03	1.6438	2.1388	1.0000	12.0000
num_saca8	2.4945	0,03	2.3289	2.7349	1.0000	15.0000
p1 en bolsa al final del dia	53.3254	4,94	25.9629	108.34	0.00	397.00
p2 en bolsa al final del dia	36.8421	3,40	17.9917	74.9683	0.00	272.00
p3 en bolsa al final del dia	2.4298	0,09	1.8763	3.2331	0.00	31.0000
p4 en bolsa al final del dia	1.9384	0,07	1.4883	2.6067	0.00	28.0000
p5 en bolsa al final del dia	0.9714	0,09	0.4619	1.9368	0.00	15.0000
p6 en bolsa al final del dia	1.4588	0,13	0.6997	2.9704	0.00	18.0000
p7 en bolsa al final del dia	0.0944	0,00	0.06213333	0.1349	0.00	12.0000
p8 en bolsa al final del dia	0.00002133	0,00	0.00	0.00106667	0.00	4.0000
porcent_tiempo_cola_P1	0.2517	0,00	0.2341	0.2720	0.00	0.6342
porcent_tiempo_cola_P2	0.3173	0,00	0.2925	0.3431	0.00	0.6800
porcent_tiempo_cola_P3	0.2000	0,00	0.1745	0.2387	0.00	0.5768
porcent_tiempo_cola_P4	0.2000	0,00	0.1744	0.2377	0.00	0.5889
porcent_tiempo_cola_P5	0.2596	0,00	0.2514	0.2658	0.00	0.8181
porcent_tiempo_cola_P6	0.2595	0,00	0.2508	0.2659	0.00	0.8240
porcent_tiempo_cola_P7	0.08215095	0,00	0.07522020	0.0942	0.00	0.5749
porcent_tiempo_cola_P8	0.1158	0,00	0.1111	0.1201	0.00	0.8546
ptotal en bolsa al final del dia	97.0603	8,69	49.1629	193.99	0.00	650.00
record_suma_NQ	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
t_colaP1	62.2304	0,89	55.9685	69.8938	0.00	280.43
t_colaP2	56.8358	0,86	50.4738	63.8223	0.00	235.89
t_colaP3	45.7294	1,17	38.2825	57.5136	0.00	227.50
t_colaP4	45.7510	1,18	38.2488	57.2157	0.00	226.37
t_colaP5	68.2843	0,19	66.8609	69.7320	0.00	723.47
t_colaP6	68.2481	0,16	66.7354	69.2566	0.00	725.58
t_colaP7	17.0619	0,31	15.4547	19.8310	0.00	200.13
t_colaP8	23.2644	0,17	21.7217	24.4435	0.00	789.62

Unnamed Project

Replications: 50 Time Units: Minutes

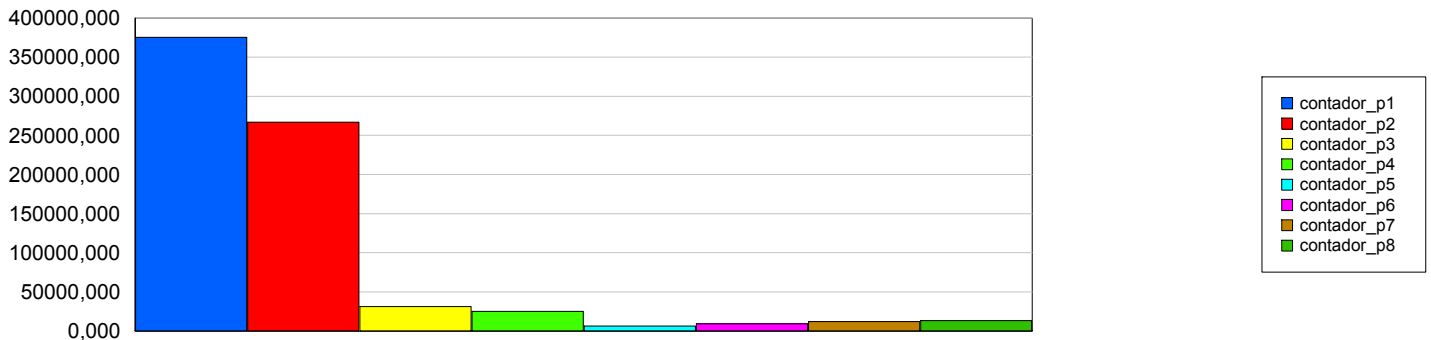
User Specified

Tally

Interval	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
tiempo en bolsa	1000.94	57,24	685.65	1639.02	360.00	6120.00
Tiempo en el sistema P1	227.67	0,89	221.41	235.34	146.76	447.25
Tiempo en el sistema P2	165.81	0,86	159.45	172.80	97.3034	350.60
Tiempo en el sistema P3	207.71	1,17	200.29	219.51	143.09	394.41
Tiempo en el sistema P4	207.72	1,18	200.18	219.12	144.51	396.36
Tiempo en el sistema P5	236.75	0,19	235.36	238.25	148.06	887.57
Tiempo en el sistema P6	236.71	0,16	235.29	237.66	148.33	893.46
Tiempo en el sistema P7	182.82	0,28	181.21	185.44	127.00	365.01
Tiempo en el sistema P8	165.64	0,17	164.04	166.99	118.75	938.01
tiempo en la bolsa P1	1057.56	64,30	701.61	1774.85	360.00	6120.00
tiempo en la bolsa P2	1057.94	64,32	701.46	1777.52	360.00	6120.00
tiempo en la bolsa P3	709.84	12,51	632.83	823.89	360.00	4680.00
tiempo en la bolsa P4	708.97	12,62	627.24	826.12	360.00	4680.00
tiempo en la bolsa P5	1058.16	63,92	695.55	1763.85	360.00	6120.00
tiempo en la bolsa P6	1058.21	64,31	695.74	1782.25	360.00	6120.00
tiempo en la bolsa P7	394.13	1,78	382.00	408.77	360.00	3240.00
tiempo en la bolsa P8	360.00	0,01	360.00	360.31	360.00	1800.00

Counter

Count	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
contador_p1	375510.42	313,23	372287.00	377486.00
contador_p2	266781.02	241,01	264697.00	268565.00
contador_p3	31141.78	133,42	30074.00	32198.00
contador_p4	24890.94	98,69	24019.00	25604.00
contador_p5	6110.38	58,12	5588.00	6593.00
contador_p6	9181.60	91,03	8430.00	9835.00
contador_p7	12035.00	178,45	10393.00	13377.00
contador_p8	13048.82	144,86	11509.00	14038.00



Output



Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 50 Time Units: Minutes

User Specified

Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
num_cola_bolsa	151.56	8,71	103.54	248.59
tasa_utilizacion_analisis	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_broncoscopia	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_C1_1	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_C1_2	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_C1_3	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_C1_4	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_C1_5	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_C1_6	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_C3	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_C4	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_C6	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_cit.uretoscopia	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_ecografia	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_PAAF	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_PET	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_RMN1	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_RMN10	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_RMN11	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_RMN12	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_RMN13	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_RMN14	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_RMN15	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_RMN16	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_RMN2	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_RMN3	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_RMN4	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_RMN5	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_RMN6	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_RMN7	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_RMN8	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_RMN9	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_RX1	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_RX2	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_RX3	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_RX4	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_TAC1	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_TAC10	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_TAC11	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_TAC2	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_TAC3	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_TAC4	0.00	0,00	0.00	0.00

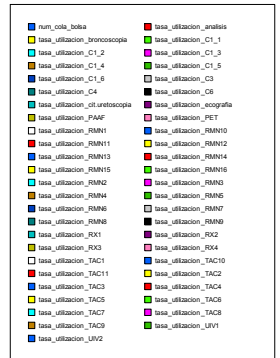
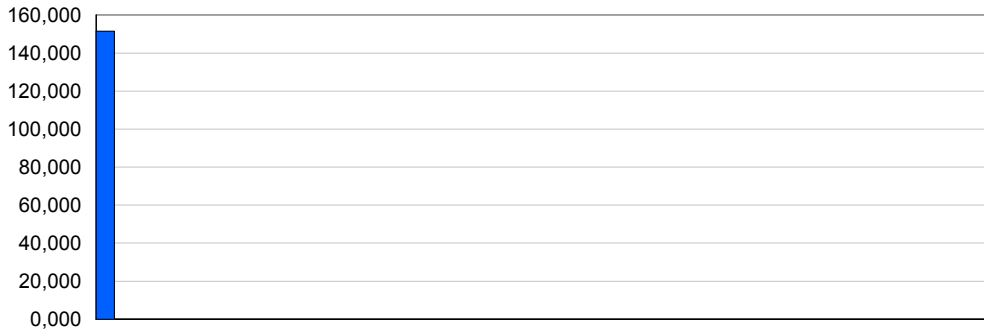
Unnamed Project

Replications: 50 Time Units: Minutes

User Specified

Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
tasa_utilizacion_TAC5	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_TAC6	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_TAC7	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_TAC8	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_TAC9	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_UIV1	0.00	0,00	0.00	0.00
tasa_utilizacion_UIV2	0.00	0,00	0.00	0.00



TIPO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
Variable	pi_dia (pminuscula)	Pacientes tipo i que se citan para ese dia Inicializa a cero a las 0.000000001 con el create8. Se incrementa al meter a pacientes a los Delays de la lista del dia.
Variable	Pibolsa (pmayuscula)	Pacientes tipo i que se encuentran en la bolsa Se actualiza a las 23.01 con el create6, como $Pibolsa = Pibolsa - pi_dia$ Se recoge como tally: "p1 en bolsa al final del dia"
Variable	cont_RX_in (y sucesivos)	Se incrementa en uno cada vez que un paciente que entra a la bolsa necesita ese servicio Se actualiza a las 23.01 con el create6, como $cont_RX_in = cont_RX_in - cont_RX$
Variable	cont_RX	Se incrementa en uno cada vez que un paciente que usa dicha tecnología es escogido de la <i>bolsa</i> y trasladado al <i>Delay lista_dia_Pi</i> .
Variable	num_pacientes_dia	Numero de pacientes citados para un dia Se inicializa a cero a las 6 Se incrementa en uno cada vez que un paciente pasa de la bolsa a la lista del dia

Variable	n_cola_RX_end (y sucesivos)	Es el número actual de unidades en la cola RX Value: NQ(Seize RX.Queue)
Variable	cont_sacai	Variable que cuenta el número de pacientes de tipo i que saca de las colas una vez se ha acabado el horario de trabajo. Se inicializa a cero a las 6 de la mañana.
Variable	tcolaRX (y los sucesivos)	Tiempo en cola que esa entidad ha pasado en RX. Se asigna después del seize del recurso, antes que el delay. Toma el valor: TNOW - tiempo de llegada recursoRX. Se inicializa a las 6 de la mañana.
Variable	tcolaPi	Es el tiempo en cola que ha pasado el paciente tipo i. Se le asigna antes de salir del sistema. Tiene el valor: tcola (suma de los sucesivos tiempos en cola de las tecnologías por las que ha pasado).
Variable	suma_NQ	Suma de todas las unidades en cola en las distintas tecnologías al final del día. Debe ser cero; en caso contrario no se ha hecho correctamente la extracción de los pacientes en cola a las 23.00
Variable	ent_inicial	Variable lógica que interviene en el algoritmo de búsqueda de la bolsa.


		<p>Es la variable que recorre las entidades en la cola de la bolsa para poder ir chequeando sus propiedades y decidiendo si es sacada o no.</p> <p>Se recorre la cola de la bolsa desde la posición ent_inicial hasta la última.</p> <p>Se inicializa a 1 a las 6 de la mañana.</p> <p>Cuando encuentra a una entidad para sacar de la bolsa, la entidad sale, y la variable ent_inicial toma el valor de J (variable interna del módulo search y remove, que representa la posición de la entidad que ha sido sacada). Así, la siguiente entidad en cola adelantará una posición, y se situará en la J. A continuación la ent_inicial tomará el valor J y volverá a recorrer todas las unidades en cola desde J hasta el final de la cola, hasta que encuentre otra entidad que pueda ser sacada.</p>
Atributo	Entity.Sequence	<p>Plan proceso paciente_Pi</p> <p>Adjudicado a cada entidad que entra a la bolsa</p>
Atributo	tipo_paciente	i (1,2,...,8)
Atributo	tiempo de llegada recursoRX (y sucesivos)	Se asigna antes del seize de cada recurso, y toma el valor TNOW
Atributo	tcola	<p>En este atributo se guarda la suma de los tiempo en cola de cada tecnología por la que pasa la entidad.</p> <p>Se asigna después del Seize de cada recurso y toma el valor: tcola + (TNOW - tiempo de llegada recursoRX).</p>

Atributo	tiempo de proceso RX (t sucesivos)	Se define en el módulo <i>Sequence</i> ; en cada Plan Proceso paciente_Pi, se incluyen cada una de las tecnologías por las que pasa ese tipo de paciente, con sus distribuciones temporales para cada una.
Atributo	atributo_seize_RX (y sucesivos)	Controla en cada <i>Seize</i> que ejecuta una unidad, que el recurso que se libera después su servicio (en el módulo <i>Realease</i>) sea el correspondiente al que ha realizado el servicio a dicha unidad.
Set	Servidores RX (idem con TAC, RMN, UIV, C1)	Type: Resource. 4rows: Recurso_RX1; Recurso_RX2; Recurso_RX3; Recurso_RX4 (Idem con el resto)
Cont	contador_pi	Contador de los pacientes tipo i que salen del sistema después de ser atendidos.
Tally	Tiempo en el sistema Pi	Tiempo del paciente tipo i desde que entró al sistema (después de su delay correspondiente para pasar a las tecnologías) hasta la salida del sistema.
Tally	porcent_tiempo_cola_Pi	Porcentaje de tiempo en cola respecto al tiempo total en el sistema del paciente tipo i.
Tally	t_colaPi	Es el tiempo en cola del paciente i

Tally	pi en bolsa al final del dia	Recoge el valor de Pibolsa
Tally	num_sacai	Recoge el número de pacientes i que ha sacado de las colas al final del dia.
Tally	record_suma_NQ	Recoge los valores de suma_NQ
Expression	trestbolsa_RX	$0.25 * AINT((cont_RX_in - cont_RX)/4)$
Expression	trestbolsa_TAC	$0.875 * AINT((cont_TAC_in - cont_TAC)/11)$
Expression	trestbolsa_RMN	$1 * AINT((cont_RMN_in - cont_RMN)/16)$
Expression	trestbolsa_UIV	$1 * AINT((cont_UIV_in - cont_UIV)/2)$
Expression	trestbolsa_ecografia	$0.25 * AINT(cont_ecografia_in - cont_ecografia)$
Expression	trestbolsa_PET	$0.625 * AINT(cont_PET_in - cont_PET)$
Expression	trestbolsa_cit.uretoscopia	$0.19 * AINT(cont_cit.uretoscopia_in - cont_cit.uretoscopia)$
Expression	trestbolsa_analisis	$0.375 * AINT(cont_analisis_in - cont_analisis)$
Expression	trestbolsa_PAAF	$0.5 * AINT(cont_PAAF_in - cont_PAAF)$
Expression	trestbolsa_C1	$0.333 * AINT((cont_C1_in - cont_C1)/6)$
Expression	trestbolsa_C3	$0.333 * AINT(cont_C3_in - cont_C3)$
Expression	trestbolsa_C4	$0.333 * AINT(cont_C4_in - cont_C4)$
Expression	trestbolsa_C6	$0.333 * AINT(cont_C6_in - cont_C6)$

Expression	trestbolsa_broncoscopia	$0.667 * \text{AINT}(\text{cont_broncoscopia_in} - \text{cont_broncoscopia})$
Expression	tasautil"tecnología"	Expresión utilizada para mostrar la tasa de utilización instantánea de esa tecnología, en la animación.
Expression	tasautilTAC	Tasa de utilización global del recurso TAC (11servidores) : $\text{ResUtil}(\text{Recurso_TAC1}) * (1/11) + \text{ResUtil}(\text{Recurso_TAC2}) * (1/11) +$ $\text{ResUtil}(\text{Recurso_TAC3}) * (1/11) + \text{ResUtil}(\text{Recurso_TAC4}) * (1/11)$ $+ \text{ResUtil}(\text{Recurso_TAC5}) * (1/11) + \text{ResUtil}(\text{Recurso_TAC6}) * (1/11)$ $+ \text{ResUtil}(\text{Recurso_TAC7}) * (1/11) + \text{ResUtil}(\text{Recurso_TAC8}) * (1/11)$ $+ \text{ResUtil}(\text{Recurso_TAC9}) * (1/11) + \text{ResUtil}(\text{Recurso_TAC10}) * (1/11)$ $+ \text{ResUtil}(\text{Recurso_TAC11}) * (1/11)$
Expression	tasautilRMN	Tasa de utilización global del recurso RMN (16Sservidores): $\text{ResUtil}(\text{Recurso_RMN1}) * (1/16) + \text{ResUtil}(\text{Recurso_RMN2}) * (1/16) +$ $\text{ResUtil}(\text{Recurso_RMN3}) * (1/16) + \text{ResUtil}(\text{Recurso_RMN4}) * (1/16) +$ $\text{ResUtil}(\text{Recurso_RMN5}) * (1/16) + \text{ResUtil}(\text{Recurso_RMN6}) * (1/16) +$ $\text{ResUtil}(\text{Recurso_RMN7}) * (1/16) + \text{ResUtil}(\text{Recurso_RMN8}) * (1/16) +$ $\text{ResUtil}(\text{Recurso_RMN9}) * (1/16) + \text{ResUtil}(\text{Recurso_RMN10}) * (1/16) +$ $\text{ResUtil}(\text{Recurso_RMN11}) * (1/16) + \text{ResUtil}(\text{Recurso_RMN12}) * (1/16) +$ $\text{ResUtil}(\text{Recurso_RMN13}) * (1/16) + \text{ResUtil}(\text{Recurso_RMN14}) * (1/16) +$ $\text{ResUtil}(\text{Recurso_RMN15}) * (1/16) + \text{ResUtil}(\text{Recurso_RMN16}) * (1/16)$
Expression	num_RMNuso	Utilizada para mostrar el número de recursos en uso de la tecnología RMN, en la animación. $\text{NR}(\text{Recurso_RMN1})$ $+ \text{NR}(\text{Recurso_RMN2}) + \text{NR}(\text{Recurso_RMN3}) + \text{NR}(\text{Recurso_RMN4}) + \text{NR}(\text{Recurso_RMN5}) + \text{NR}(\text{Recurso_RMN6}) + \text{NR}(\text{Recurso_RMN7}) + \text{NR}(\text{Recurso_RMN8}) + \text{NR}(\text{Recurso_RMN9}) + \text{NR}(\text{Recurso_RMN10}) + \text{NR}(\text{Recurso_RMN11}) + \text{NR}(\text{Recurso_RMN12}) + \text{NR}(\text{Recurso_RMN13}) + \text{NR}(\text{Recurso_RMN14}) + \text{NR}(\text{Recurso_RMN15}) + \text{NR}(\text{Recurso_RMN16})$

		curso_RMN6)+NR(Recurso_RMN7)+NR(Recurso_RMN8)+NR(Recurso_RMN9)+NR(Recurso_RMN10)+NR(Recurso_RMN11)+NR(Recurso_RMN12)+NR(Recurso_RMN13)+NR(Recurso_RMN14)+NR(Recurso_RMN15)+NR(Recurso_RMN16)
--	--	--



Desarrollo y Validación de un Modelo de Simulación para el Complejo Asistencial Médico Tecnológico de Navarra (CAMTNA)

Ainara Garde Blesa

Ingeniería Industrial, Universidad Pública de Navarra

20 Abril 2011

Índice

1. **Objetivo**
2. **Descripción del CAMTNA**
3. **Modelo de Simulación del CAMTNA en Arena**
4. **Diseño de Experimentos**
5. **Resultados**
6. **Conclusiones**



*Desarrollo y Validación de un Modelo de Simulación
para el Complejo Asistencial Médico Tecnológico de Navarra (CAMTNA)*



Construcción de un
Modelo de Simulación
del CAMTNA

DIMENSIONAMIENTO INICIAL

EVALUACIÓN DE POLÍTICAS DE
GESTIÓN DE LAS LISTAS DE
ESPERA

SOPORTE EN LA TOMA DE
DECISIONES TÁCTICAS Y
ESTRATÉGICAS

*Desarrollo y Validación de un Modelo de Simulación
para el Complejo Asistencial Médico Tecnológico de Navarra (CAMTNA)*

Índice

1. Objetivo
2. Descripción del CAMTNA
3. Modelo de Simulación del CAMTNA en Arena
4. Diseño de Experimentos
5. Resultados
6. Conclusiones



*Desarrollo y Validación de un Modelo de Simulación
para el Complejo Asistencial Médico Tecnológico de Navarra (CAMTNA)*

2.- Descripción del CAMTNA

- Centro de Alta Resolución
- Centro Tecnológico

- Integración Asistencial
- Gestión por Procesos
- Alta Resolución

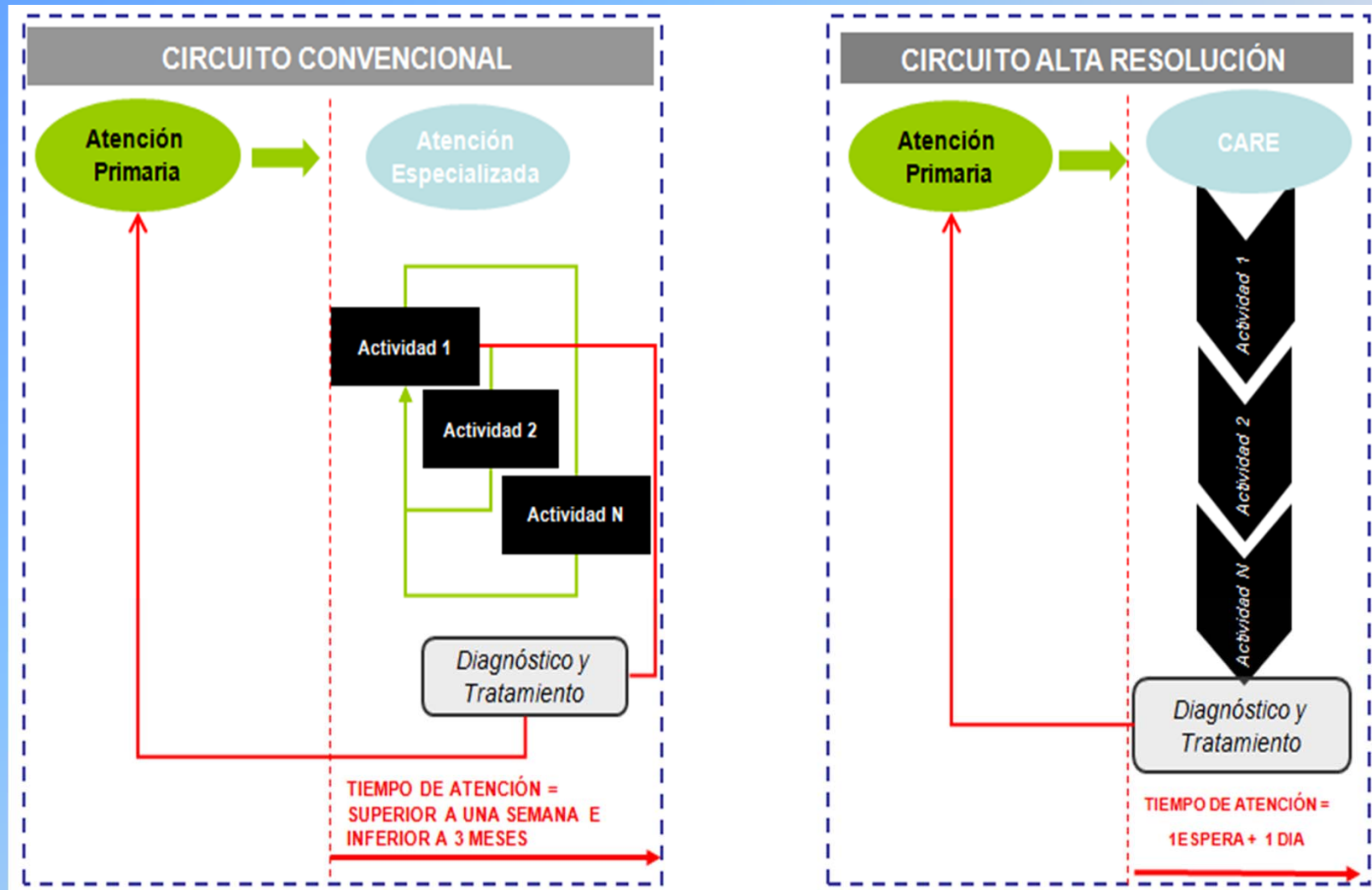


- Alta prevalencia.
- Interés para el paciente
- Interés médico
- Grado de ambulatoriedad
- Capacidad de mejora

- 500 pacientes/día
- 150.000 navarros atendidos anualmente

Desarrollo y Validación de un Modelo de Simulación para el Complejo Asistencial Médico Tecnológico de Navarra (CAMTNA)

2.- Descripción del CAMTNA



*Desarrollo y Validación de un Modelo de Simulación
para el Complejo Asistencial Médico Tecnológico de Navarra (CAMTNA)*



Índice

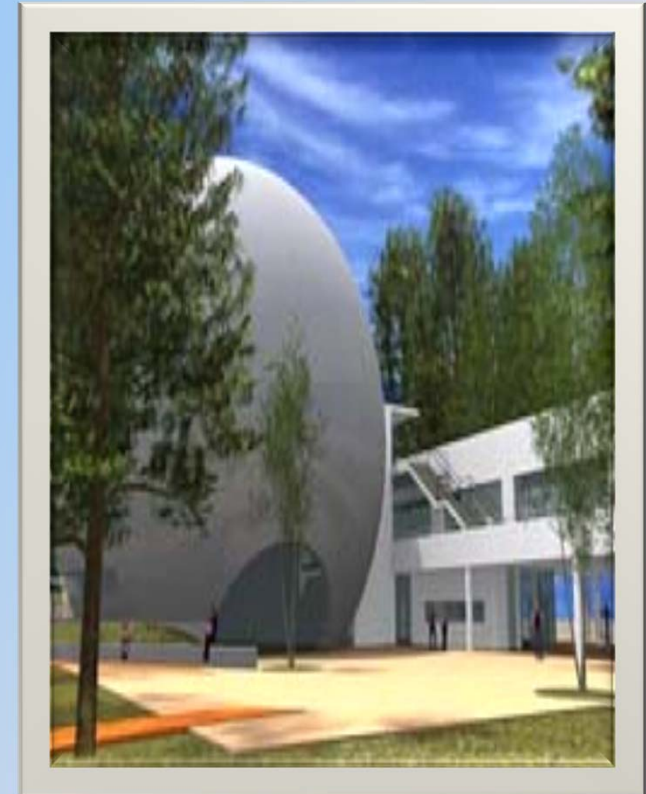
1. Objetivo
2. Descripción del CAMTNA
3. **Modelo de Simulación del CAMTNA en Arena**
4. Diseño de Experimentos
5. Resultados
6. Conclusiones

*Desarrollo y Validación de un Modelo de Simulación
para el Complejo Asistencial Médico Tecnológico de Navarra (CAMTNA)*

3.- Modelo de Simulación del CAMTNA en Arena

ETAPAS DEL PROCESO DE SIMULACIÓN

- 1.- Formulación del Problema y Planificación del Estudio
- 2.- Dimensionamiento Inicial
- 3.- Datos de Entrada
- 4.- Modelado del Sistema
- 5.- Verificación y Validación del Modelo de Simulación



*Desarrollo y Validación de un Modelo de Simulación
para el Complejo Asistencial Médico Tecnológico de Navarra (CAMTNA)*

1- FORMULACIÓN DEL PROBLEMA Y PLANIFICACIÓN DEL ESTUDIO

- Construcción de un modelo base de simulación:
 - Representación del sistema real.
 - Incorporación de políticas de gestión de la lista de espera.
 - Organizar horarios.
 - Planificar el uso de las tecnologías y los médicos.

- El modelo simulará la llegada de pacientes, su tránsito, y se recogerán medidas de funcionamiento del sistema.

1- FORMULACIÓN DEL PROBLEMA Y PLANIFICACIÓN DEL ESTUDIO

- El modelo ha sido configurado en base a dos alternativas para la gestión de la bolsa, que proponen distintas políticas para la citación de los pacientes que se encuentran en la bolsa de espera para un día determinado:
 - ❑ La **alternativa 1** propone la salida de los pacientes de la lista de espera sin prioridad alguna en cuanto a tipo de paciente, chequeando que toda su secuencia de tecnologías esté libre.
 - ❑ La **alternativa 2** prioriza el uso de las tecnologías con mayor tasa de utilización, para evitar posibles cuellos de botella en ellas.

ETAPAS DEL PROCESO DE SIMULACIÓN

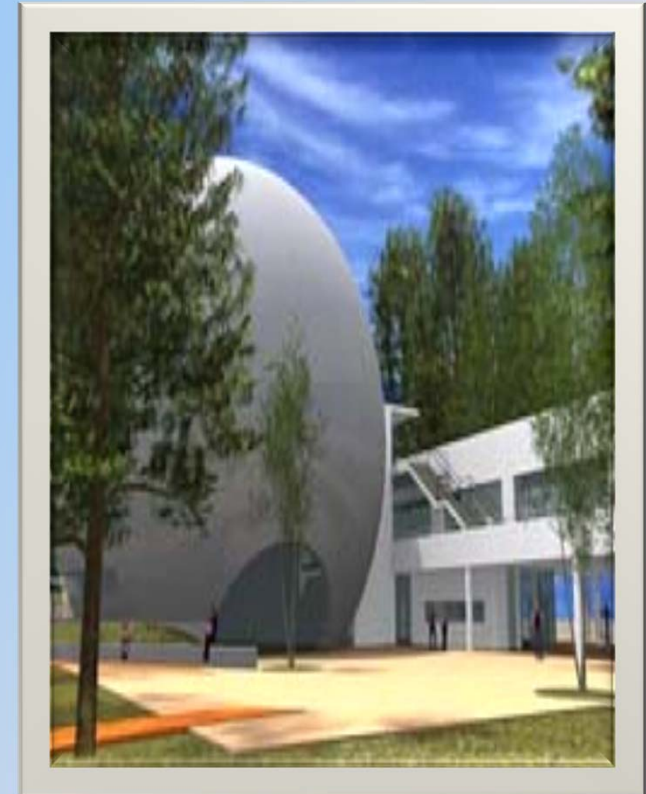
1.- Formulación del Problema y Planificación del Estudio

2.- Dimensionamiento Inicial

3.- Datos de Entrada

4.- Modelado del Sistema

5.- Verificación y Validación del Modelo de Simulación



2- DIMENSIONAMIENTO INICIAL – Teoría de Colas:

λ_i = tasa media de llegadas de pacientes tipo i por día

μ_j = tasa media de servicio por cada recurso de tecnología j por día (número medio de pacientes que completan su servicio por día)

ρ_j = tasa de utilización de tecnología j (fracción esperada de tiempo que los recursos individuales de cada tecnología están ocupados)

n_j = número de recursos disponibles de tecnología j

$$\rho_j = \sum \lambda_i / (n_j \cdot \mu_j) \quad \longrightarrow \quad \rho_j < 1$$

Sistema en estado estable

3.- Modelo de Simulación del CAMTNA en Arena

➤ **CÁLCULO DE LA TASAS DE LLEGADAS DE CADA TIPO DE PACIENTE**

Previsión de la producción asistencial incluida en el Plan Funcional y de Gestión del Centro de Alta Resolución Ambulatoria de la Comunidad Foral de Navarra

Especialidad	Rango Poblacion	2006				2010			
		Población	Actividad Total	Porcentaje de atracción	Consultas en Acto Único	Población	Frecuentación Escenario 1	Porcentaje de atracción	Consultas en Acto Único
Alergología	población > 4 años	571.230	7.522	0,9	6.624	588.558	14,0	0,9	7.200
Cardiología	población > 14 años	515.703	8.177	0,8	6.477	530.146	13,7	0,7	4.955
Cirugía General	población > 4 años	571.230	11.794	0,4	4.681	588.558	19,4	0,3	3.565
C.Vascular y Torácica	población > 4 años	571.230	3.970	0,8	3.120	588.558	7,3	0,7	3.109
Dermatología	población total	601.874	27.892	1,0	27.138	624.098	48,0	0,8	25.348
Digestivo	población > 14 años	515.703	13.135	0,2	2.637	530.146	27,5	0,1	1.686
Endocrinología	población > 14 años	515.703	4.758	0,2	1.001	530.146	9,9	0,2	851
Ginecología	mujeres > 14 años	259.122	29.935	0,0	1.358	268.571	97,4	0,0	0
Hematología	población > 14 años	515.703	3.150	0,2	478	530.146	6,5	0,0	0
Neurología	población > 14 años	515.703	8.545	0,5	4.666	530.146	16,2	0,4	3.272
Neumología	población > 14 años	515.703	5.245	0,2	819	530.146	12,3	0,1	729
Oftalmología	población total	601.874	42.457	0,3	11.672	624.098	73,8	0,3	11.788
ORL	población total	601.874	23.763	0,4	8.958	624.098	41,0	0,3	6.796
Psicología	población > 14 años	515.703	194	3,5	682	530.146	0,3	0,0	0
RHA	población > 14 años	515.703	18.605	0,2	2.996	530.146	38,2	0,2	3.262
Reumatología	población > 14 años	515.703	3.893	0,4	1.421	530.146	8,9	0,1	678
Traumatología	población total	601.874	45.675	0,8	36.846	624.098	79,4	0,7	35.694
Urología	población > 14 años	515.703	12.054	0,4	4.504	530.146	22,5	0,2	2.431
Total	población total	601.874	318.477	0,4	126.081	624.098	536,6	0,3	111.364

Tabla 1: Número de Consultas en Acto Único (2006, 2010).

Desarrollo y Validación de un Modelo de Simulación para el Complejo Asistencial Médico Tecnológico de Navarra (CAMTNA)

3.- Modelo de Simulación del CAMTNA en Arena

➤ CÁLCULO DE LA TASAS DE LLEGADAS DE CADA TIPO DE PACIENTE

Especialidad	Rango Poblacion	2011			2016			
		Población	Frecuentación Escenario 1	Consultas en Acto Único	Población	Frecuentación Escenario 1	Porcentaje de atracción	Consultas en Acto Único
Alergología	población > 4 años	593.452	14,5	7.502	617.978	16,8	0,9	9.135
Cardiología	población > 14 años	533.892	14,2	5.733	550.464	16,5	0,8	7.177
Cirugía General	población > 4 años	593.452	20,0	4.716	617.978	23,2	0,4	5.703
C.Vascular y Torácica	población > 4 años	593.452	7,5	3.239	617.978	8,7	0,8	4.245
Dermatología	población total	630.142	49,6	28.593	658.133	57,6	1,0	36.862
Digestivo	población > 14 años	533.892	28,4	2.168	550.464	33,0	0,2	3.642
Endocrinología	población > 14 años	533.892	10,3	886	550.464	11,9	0,2	1.383
Ginecología	mujeres > 14 años	271.021	100,7	603	280.680	116,9	0,0	1.489
Hematología	población > 14 años	533.892	6,7	0	550.464	7,8	0,2	650
Neurología	población > 14 años	533.892	16,8	4.003	550.464	19,5	0,5	5.852
Neumología	población > 14 años	533.892	12,8	759	550.464	14,8	0,2	1.273
Oftalmología	población total	630.142	76,2	12.767	658.133	88,5	0,3	16.013
ORL	población total	630.142	42,3	9.371	658.133	49,2	0,4	12.196
Psicología	población > 14 años	533.892	0,3	0	550.464	0,3	3,5	611
RHA	población > 14 años	533.892	39,5	3.395	550.464	45,8	0,2	4.064
Reumatología	población > 14 años	533.892	9,2	1.349	550.464	10,6	0,4	2.137
Traumatología	población total	630.142	82,0	40.387	658.133	95,3	0,8	50.581
Urología	población > 14 años	533.892	23,3	3.508	550.464	27,0	0,4	5.556
Total	población total	630.142	553,7	128.977	658.133	640,2	0,4	168.569

Tabla 2: Número de Consultas en Acto Único (2011, 2016).

	Año 2014	Por día
Traumatología - (Pacientes tipo 1 y 2)	46.503,4	186
Ginecología y Urología - (Pacientes tipo 3, 4, 5 y 6)	5.871,4	23
Neumología - (Paciente tipo 7)	1.067,4	4
Endocrinología - (Pacientes tipo 8)	11.841,2	5

Tabla 3: Número de Consultas en Acto Único Estimado para 2014

Desarrollo y Validación de un Modelo de Simulación para el Complejo Asistencial Médico Tecnológico de Navarra (CAMTNA)

3.- Modelo de Simulación del CAMTNA en Arena

➤ CÁLCULO DE LA TASAS DE LLEGADAS DE CADA TIPO DE PACIENTE

		λ (Número de pacientes / día)
Paciente tipo 1	18%	110
Paciente tipo 2	12,4%	76
Paciente tipo 3	1,6%	10
Paciente tipo 4	1,3%	8
Paciente tipo 5	0,33%	2
Paciente tipo 6	0,5%	3
Paciente tipo 7	0,65%	4
Paciente tipo 8	0,8%	5
Total	35,58%	218

Tabla 4: Porcentaje de cada Tipo de Paciente y Tasa de Llegada respecto al Total de Llegadas al Centro Médico Real.

		λ (Número de pacientes / día)
Paciente tipo 1	50,46%	110
Paciente tipo 2	34,86%	76
Paciente tipo 3	4,59%	10
Paciente tipo 4	3,67%	8
Paciente tipo 5	0,92%	2
Paciente tipo 6	1,38%	3
Paciente tipo 7	1,83%	4
Paciente tipo 8	2,29%	5
Total	100%	218

Tabla 5: Porcentaje de cada Tipo de Paciente y Tasa de Llegada respecto al Total de Llegadas al Centro Médico del Presente Estudio.

Desarrollo y Validación de un Modelo de Simulación para el Complejo Asistencial Médico Tecnológico de Navarra (CAMTNA)

3.- Modelo de Simulación del CAMTNA en Arena

➤ **CÁLCULO DE LA TASAS DE SERVICIO DE CADA RECURSO**

TECNOLOGÍA	DISTRIBUCIÓN DE TIEMPO DE PROCESO (MIN)	TASA MEDIA DE SERVICIO μ
RAYOS X	TRIA(12,15,18)	48
TAC	UNIF(45,60)	13
RESONANCIA MAGNÉTICA	TRIA(55,60,65)	12
UIV	TRIA(55,60,65)	12
ECOGRAFÍA	TRIA(22,30,35)	24
BRONCSCOPIA	TRIA(15,40,60)	18
PET	UNIF(30,45)	19
CITOSCOPIA URETOSCOPIA	UNIF(8,15)	62
ANÁLISIS	UNIF(15,30)	32
PAAF	TRIA(22,30,35)	24
CONSULTA UNIDAD 1	TRIA(18,20,22)	36
CONSULTA UNIDAD 3	TRIA(18,20,22)	36
CONSULTA UNIDAD 4	TRIA(18,20,22)	36
CONSULTA UNIDAD 6	TRIA(18,20,22)	36

Tabla 6: Distribución de los Tiempos de Proceso y Tasas medias de Servicio de Cada Recurso.

Desarrollo y Validación de un Modelo de Simulación para el Complejo Asistencial Médico Tecnológico de Navarra (CAMTNA)

3.- Modelo de Simulación del CAMTNA en Arena

➤ **CÁLCULO DE LA TASAS DE OCUPACIÓN DE CADA TECNOLOGÍA Y DEL NÚMERO DE SERVIDORES**

TECNOLOGÍA	N	ρ
RAYOS X	4	0,99
TAC	11	0,92
RESONANCIA MAGNÉTICA	16	0,97
UIV	2	0,96
ECOGRAFÍA	1	0,41
BRONCSCOPIA	1	0,21
PET	1	0,21
CITOSCOPIA Y URETOSCOPIA	1	0,29
ANÁLISIS	1	0,31
PAAF	1	0,21
CONSULTA UNIDAD 1	6	0,86
CONSULTA UNIDAD 3	1	0,64
CONSULTA UNIDAD 4	1	0,11
Consulta unidad 6	1	0,27

$$\rho_j = \sum \lambda_i / (n_j \cdot \mu_j)$$

$$\rho_j < 1$$

Tabla 7: Tasa de Ocupación y Número de Servidores en cada Tecnología.

*Desarrollo y Validación de un Modelo de Simulación
para el Complejo Asistencial Médico Tecnológico de Navarra (CAMTNA)*

ETAPAS DEL PROCESO DE SIMULACIÓN

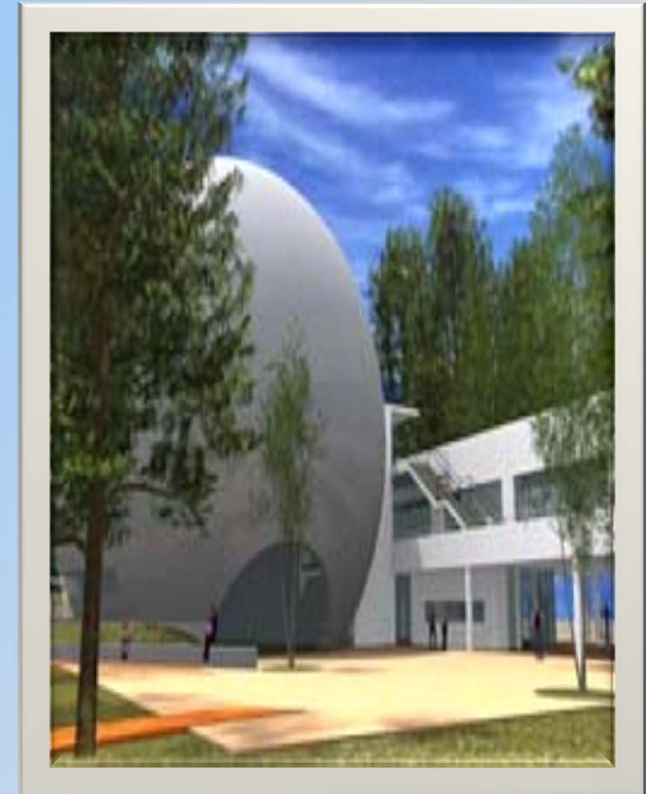
1.- Formulación del Problema y Planificación del Estudio

2.- Dimensionamiento Inicial

3.- Datos de Entrada

4.- Modelado del Sistema

5.- Verificación y Validación del Modelo de Simulación



3.- Modelo de Simulación del CAMTNA en Arena

3- DATOS DE ENTRADA

DETERMINÍSTICOS	ALEATORIOS
<ul style="list-style-type: none">• Número de tecnologías.• Número de servidores por tecnología.• Horario del Complejo Asistencial.	<ul style="list-style-type: none">• Tiempo entre llegadas de los pacientes.• Tiempo de servicio de las distintas tecnologías.• Tiempo de trayecto de una tecnología a otra.

*Desarrollo y Validación de un Modelo de Simulación
para el Complejo Asistencial Médico Tecnológico de Navarra (CAMTNA)*

3.- Modelo de Simulación del CAMTNA en Arena

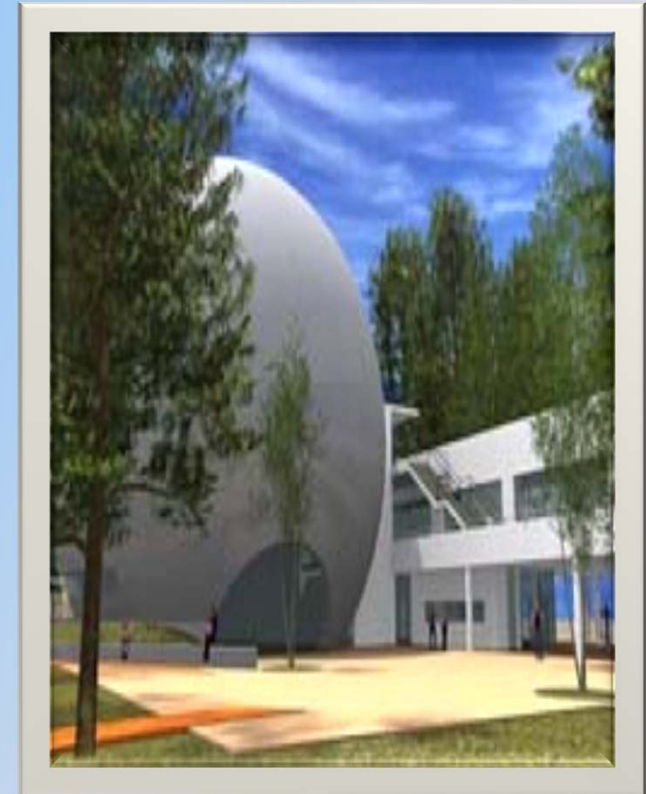
PROCESO	Unidad	ACTIVIDADES
P1. CERVICALGIA	1	Rayos X-TAC-RMN-Consulta
P2. LUMBALGIA	1	RayosX-RMN-Consulta
P3. HEMATURIA MACROSCÓPICA	3	Citos/Uretoscopia-UIV-TAC-Consulta
P4. HEMATURIA MICROSCÓPICA	3	Citos/Uretoscopia-UIV-TAC-Consulta
P5. ITU (INFECCIÓN DEL TRACTO URINARIO)	3	Análisis-RayosX-Ecografía-UIV-Consulta
P6. UROLITIASIS – CÓLICO RENAL	3	Análisis-RayosX-Ecografía-UIV-Consulta
P7. CARCINOMA DE PULMÓN	4	TAC-Broncoscopia-PET-Consulta
P8. BOCIO NODULAR	6	Consulta-Análisis-Ecografía-PAAF-Consulta

Tabla 8: Clasificación de Procesos del Modelo de Simulación.

*Desarrollo y Validación de un Modelo de Simulación
para el Complejo Asistencial Médico Tecnológico de Navarra (CAMTNA)*

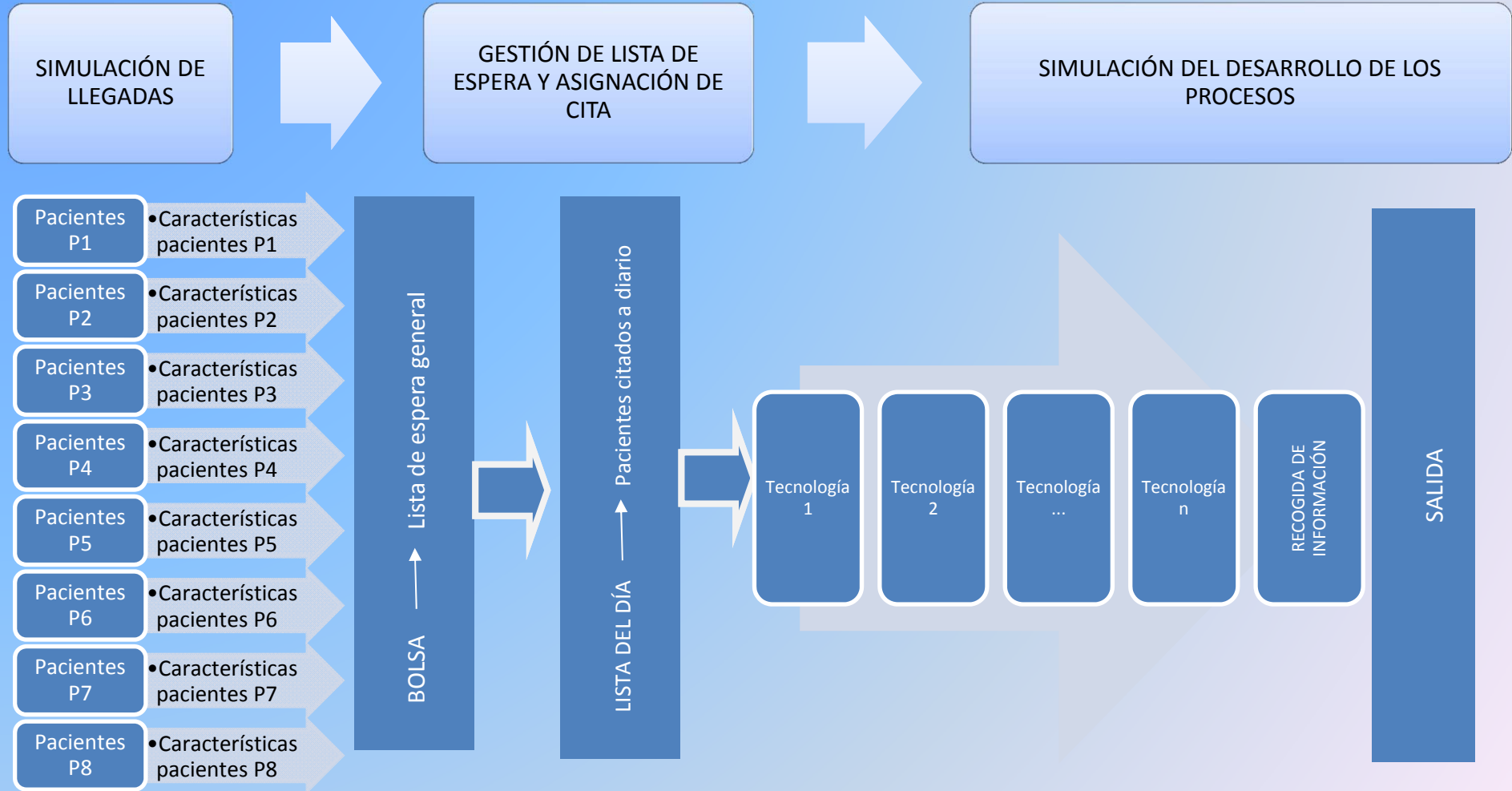
ETAPAS DEL PROCESO DE SIMULACIÓN

- 1.- Formulación del Problema y Planificación del Estudio
- 2.- Dimensionamiento Inicial
- 3.- Datos de Entrada
- 4.- Modelado del Sistema**
- 5.- Verificación y Validación del Modelo de Simulación



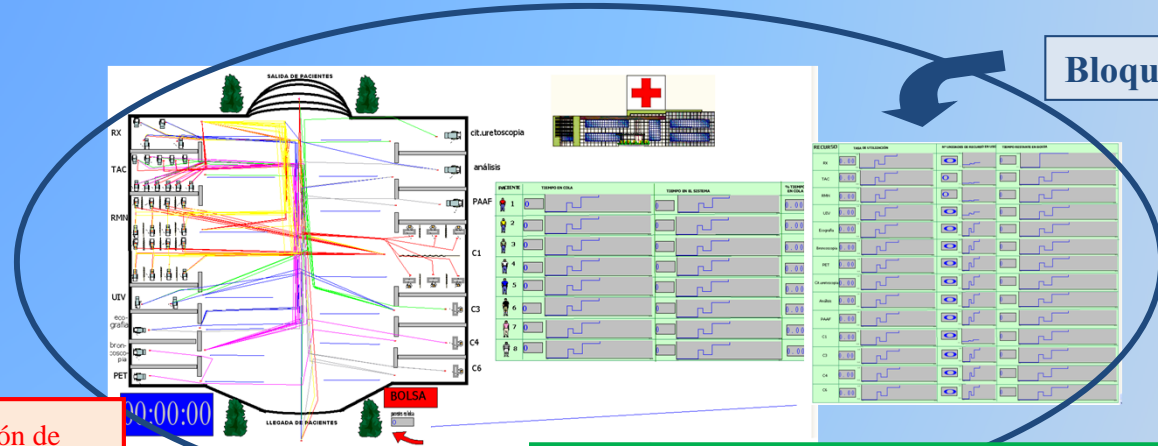
3.- Modelo de Simulación del CAMTNA en Arena

4.- MODELADO DEL SISTEMA



Desarrollo y Validación de un Modelo de Simulación para el Complejo Asistencial Médico Tecnológico de Navarra (CAMTNA)

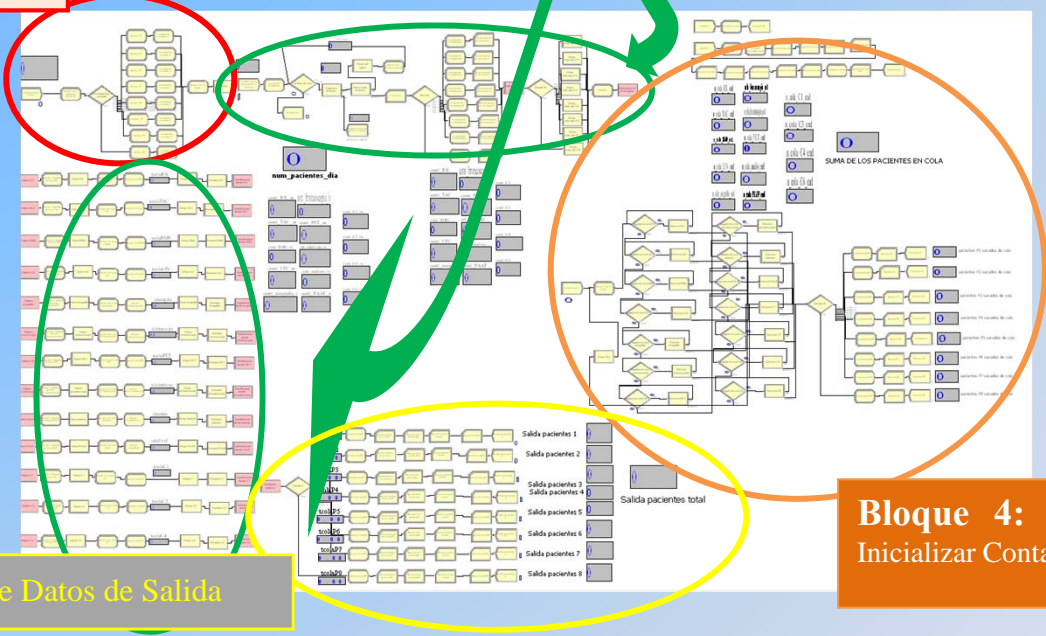
3.- Modelo de Simulación del CAMTNA en Arena



Bloque 5. Animación gráfica

Bloque 1. Generación de Llegadas de Pacientes

Bloque 2. Simulación de la Gestión del CAMTNA



Bloque 3: Recogida de Datos de Salida

Bloque 4: Programación Lógica para Inicializar Contadores y Vaciar las Colas

Desarrollo y Validación de un Modelo de Simulación para el Complejo Asistencial Médico Tecnológico de Navarra (CAMTNA)

ETAPAS DEL PROCESO DE SIMULACIÓN

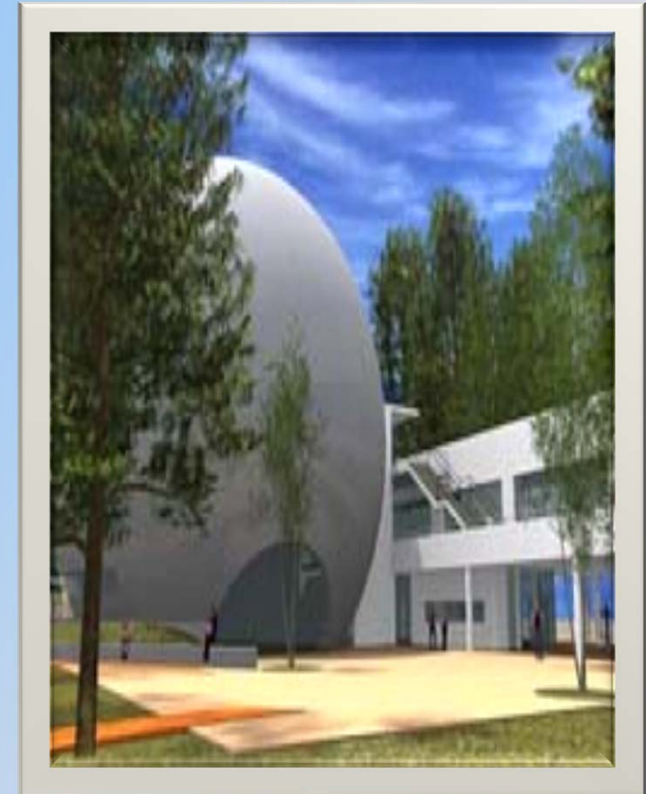
1.- Formulación del Problema y Planificación del Estudio

2.- Dimensionamiento Inicial

3.- Datos de Entrada

4.- Modelado del Sistema

5.- Verificación y Validación del Modelo de Simulación



Índice

1. Objetivo
2. Descripción del CAMTNA
3. Modelo de Simulación del CAMTNA en Arena
- 4. Diseño de Experimentos**
5. Resultados
6. Conclusiones



*Desarrollo y Validación de un Modelo de Simulación
para el Complejo Asistencial Médico Tecnológico de Navarra (CAMTNA)*

- Modelo de simulación sin punto de finalización
- Evaluación del comportamiento a largo plazo del sistema.
- **Variable a estudiar: tamaño de la bolsa de espera.**

y_{ji} = número de pacientes en bolsa de espera al final del día i en la ejecución j

y_{11}	...	y_{1i}	...	y_{1m}
y_{21}	...	y_{2i}	...	y_{2m}
	\ddots	\vdots	\ddots	\vdots
y_{n1}	...	y_{ni}	...	y_{nm}



Observaciones por columnas:

independientes e igualmente distribuidas

4.1. CÁLCULO DEL PERIODO DE CALENTAMIENTO

Media Estado Transitorio:

$$\bar{Y}(m) = \sum_{i=1}^m Y_i / m$$

Media Estado Estacionario:

$$\mu = \lim_{j \rightarrow \infty} E(Y_j) = E(Y)$$

$$E(\bar{Y}(m)) \neq \mu \quad \forall m.$$

La media se estima a partir de las observaciones tomadas después del **periodo de calentamiento**, el cual se denota por l , será:

$$\bar{y}(m, l) = \frac{\sum_{i=l+1}^m y_i}{m - l}$$

CÁLCULO DEL PERIODO DE CALENTAMIENTO \longrightarrow Método de Welch

RUN

1	$y_{11}, y_{12}, y_{13}, \dots, y_{1,m-1}, y_{1,m}$
2	$y_{21}, y_{22}, y_{23}, \dots, y_{2,m-1}, y_{2,m}$
\vdots	\vdots
n	$y_{n1}, y_{n2}, y_{n3}, \dots, y_{n,m-1}, y_{n,m}$

Averages $\bar{y}_1, \bar{y}_2, \bar{y}_3, \dots, \bar{y}_{m-1}, \bar{y}_m$

\Downarrow

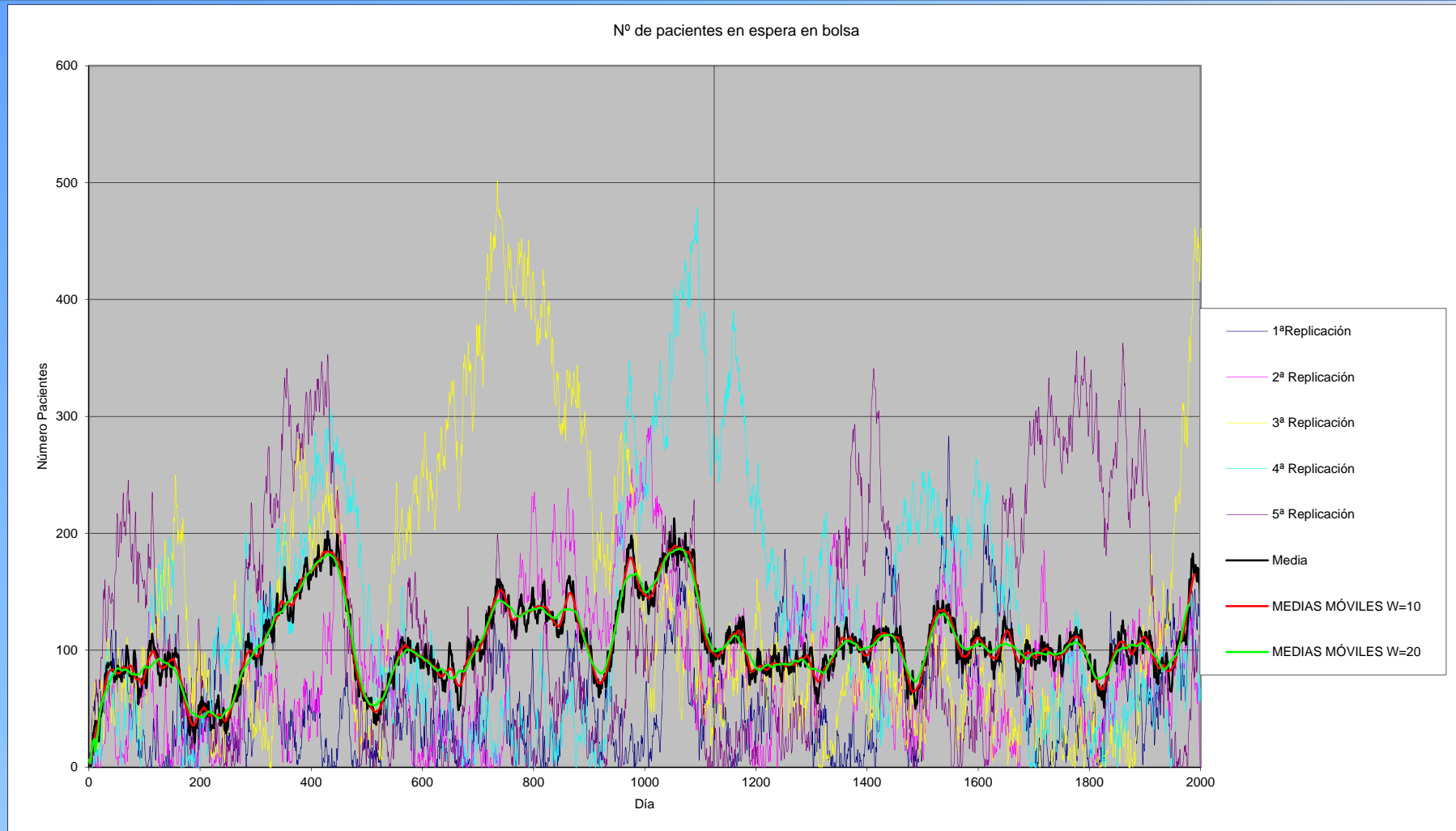
Moving

averages $\bar{y}_1(w), \bar{y}_2(w), \dots, \bar{y}_m(w)$

- $y = n^\circ$ pacientes en bolsa al final del día
- 5 ejecuciones
- 2000 días/ejecución
- $w = 10$ días
- $w = 20$ días

*Desarrollo y Validación de un Modelo de Simulación
 para el Complejo Asistencial Médico Tecnológico de Navarra (CAMTNA)*

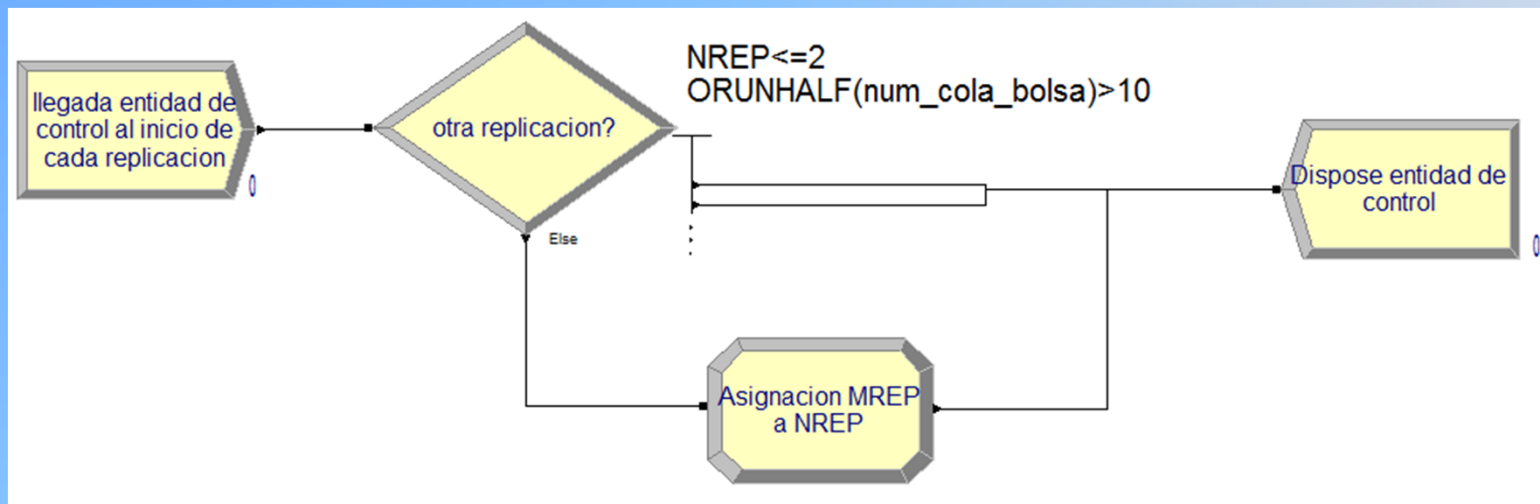
4.- Diseño de Experimentos



Periodo de calentamiento = 1.100 días

*Desarrollo y Validación de un Modelo de Simulación
para el Complejo Asistencial Médico Tecnológico de Navarra (CAMTNA)*

4.2. MUESTREO SECUENCIAL



Arena se detuvo en la 4ª replicación de 4.850 días.

4.3. TÉCNICAS DE REDUCCIÓN DE VARIANZA

- Reducir la variabilidad de los datos.
- Sincronizar los números aleatorios que están detrás de todos los datos con los que Arena opera, para que simulemos bajo las mismas condiciones externas en las 2 alternativas.
- Ejemplo:

$UNIF(12,14,4)$ \longrightarrow Distribución uniforme de min 12 y máx 14, usando el stream 4.

En los sorteos: controlamos la secuencia de números aleatorios desglosando la programación del módulo, usando una $U(0,1, stream)$.

Nº de replicaciones: 50

Longitud de la replicación:

15 años + periodo de calentamiento (1.100 días) = 4.850 días

Índice

1. Objetivo
2. Descripción del CAMTNA
3. Modelo de Simulación del CAMTNA en Arena
4. Diseño de Experimentos
- 5. Resultados**
6. Conclusiones



*Desarrollo y Validación de un Modelo de Simulación
para el Complejo Asistencial Médico Tecnológico de Navarra (CAMTNA)*

El interés de este proyecto se centra en determinar qué alternativa es más favorable en base a una serie de criterios:



*Desarrollo y Validación de un Modelo de Simulación
para el Complejo Asistencial Médico Tecnológico de Navarra (CAMTNA)*

➤ **RESULTADOS REFERENTES A LA BOLSA DE ESPERA**

Alternativa 1

Interval	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
tiempo en bolsa	1044.96	57,13	739.59	1681.22	360.00	7560.00
tiempo en la bolsa P1	1068.98	64,75	712.43	1787.61	360.00	6120.00
tiempo en la bolsa P2	1064.90	64,91	706.88	1787.00	360.00	6120.00
tiempo en la bolsa P3	1044.69	26,40	853.79	1223.81	360.00	7560.00
tiempo en la bolsa P4	1043.52	26,75	846.85	1226.69	360.00	7560.00
tiempo en la bolsa P5	1410.37	56,30	1090.12	2050.37	360.00	7560.00
tiempo en la bolsa P6	1408.06	56,27	1082.14	2068.41	360.00	7560.00
tiempo en la bolsa P7	400.90	2,09	385.57	419.14	360.00	3240.00
tiempo en la bolsa P8	360.00	0,00	360.00	360.08	360.00	1800.00

Alternativa 2

Interval	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
tiempo en bolsa	1000.94	57,24	685.65	1639.02	360.00	6120.00
tiempo en la bolsa P1	1057.56	64,30	701.61	1774.85	360.00	6120.00
tiempo en la bolsa P2	1057.94	64,32	701.46	1777.52	360.00	6120.00
tiempo en la bolsa P3	709.84	12,51	632.83	823.89	360.00	4680.00
tiempo en la bolsa P4	708.97	12,62	627.24	826.12	360.00	4680.00
tiempo en la bolsa P5	1058.16	63,92	695.55	1763.85	360.00	6120.00
tiempo en la bolsa P6	1058.21	64,31	695.74	1782.25	360.00	6120.00
tiempo en la bolsa P7	394.13	1,78	382.00	408.77	360.00	3240.00
tiempo en la bolsa P8	360.00	0,01	360.00	360.31	360.00	1800.00

*Desarrollo y Validación de un Modelo de Simulación
para el Complejo Asistencial Médico Tecnológico de Navarra (CAMTNA)*

➤ **RESULTADOS REFERENTES A LA BOLSA DE ESPERA**

Alternativa 1

Expression	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
p1 en bolsa al final del dia	54.1983	4,97	26.7872	109.31	0.00	397.00
p2 en bolsa al final del dia	37.2093	3,44	18.2779	75.4696	0.00	272.00
p3 en bolsa al final del dia	4.7567	0,19	3.3944	6.0589	0.00	50.0000
p4 en bolsa al final del dia	3.7970	0,15	2.7117	4.8045	0.00	42.0000
p5 en bolsa al final del dia	1.4618	0,08	1.0189	2.3320	0.00	18.0000
p6 en bolsa al final del dia	2.1895	0,12	1.4848	3.5680	0.00	19.0000
p7 en bolsa al final del dia	0.1131	0,01	0.07253333	0.1637	0.00	11.0000
p8 en bolsa al final del dia	0.00000533	0,00	0.00	0.00026667	0.00	1.0000
ptotal en bolsa al final del dia	103.73	8,68	57.3157	200.39	0.00	652.00

Alternativa 2

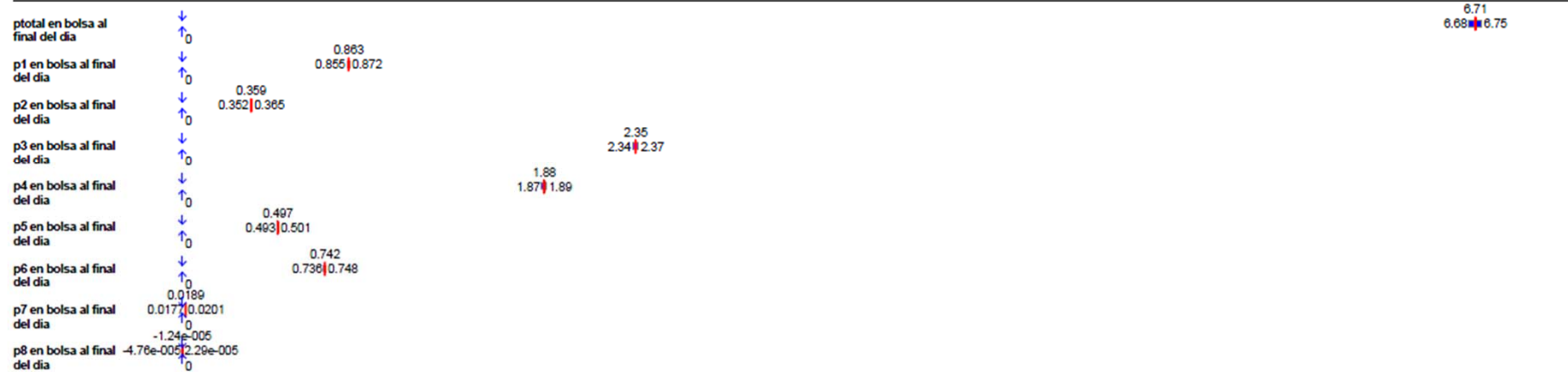
Expression	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
p1 en bolsa al final del dia	53.3254	4,94	25.9629	108.34	0.00	397.00
p2 en bolsa al final del dia	36.8421	3,40	17.9917	74.9683	0.00	272.00
p3 en bolsa al final del dia	2.4298	0,09	1.8763	3.2331	0.00	31.0000
p4 en bolsa al final del dia	1.9384	0,07	1.4883	2.6067	0.00	28.0000
p5 en bolsa al final del dia	0.9714	0,09	0.4619	1.9368	0.00	15.0000
p6 en bolsa al final del dia	1.4588	0,13	0.6997	2.9704	0.00	18.0000
p7 en bolsa al final del dia	0.0944	0,00	0.06213333	0.1349	0.00	12.0000
p8 en bolsa al final del dia	0.00002133	0,00	0.00	0.00106667	0.00	4.0000
ptotal en bolsa al final del dia	97.0603	8,69	49.1629	193.99	0.00	650.00

*Desarrollo y Validación de un Modelo de Simulación
para el Complejo Asistencial Médico Tecnológico de Navarra (CAMTNA)*

➤ **RESULTADOS REFERENTES A LA BOLSA DE ESPERA**

Paired-t Comparison of Means

Diff
95% CL Test Value



Paired-T Means Comparison :

IDENTIFIER	ESTD. MEAN DIFFERENCE	STANDARD DEVIATION	0.950 C.I. HALF-WIDTH	MINIMUM VALUE	MAXIMUM VALUE	NUMBER OF OBS
ptotal en bolsa al f	6.71	8.65	0.0344	0	688	242500
inal del dia				0	686	242500
	REJECT H0 =>	MEANS ARE NOT	EQUAL	AT	0.05 LEVEL	
p1 en bolsa al final	0.863	2.17	0.00865	0	397	242500
del dia				0	397	242500
	REJECT H0 =>	MEANS ARE NOT	EQUAL	AT	0.05 LEVEL	
p2 en bolsa al final	0.359	1.69	0.00672	0	289	242500
del dia				0	289	242500
	REJECT H0 =>	MEANS ARE NOT	EQUAL	AT	0.05 LEVEL	
p3 en bolsa al final	2.35	4.1	0.0163	0	50	242500
del dia				0	31	242500
	REJECT H0 =>	MEANS ARE NOT	EQUAL	AT	0.05 LEVEL	
p4 en bolsa al final	1.88	3.33	0.0133	0	44	242500
del dia				0	28	242500
	REJECT H0 =>	MEANS ARE NOT	EQUAL	AT	0.05 LEVEL	
p5 en bolsa al final	0.497	1.09	0.00434	0	18	242500
del dia				0	15	242500
	REJECT H0 =>	MEANS ARE NOT	EQUAL	AT	0.05 LEVEL	
p6 en bolsa al final	0.742	1.5	0.00599	0	20	242500
del dia				0	20	242500
	REJECT H0 =>	MEANS ARE NOT	EQUAL	AT	0.05 LEVEL	
p7 en bolsa al final	0.0189	0.309	0.00123	0	11	242500
del dia				0	12	242500
	REJECT H0 =>	MEANS ARE NOT	EQUAL	AT	0.05 LEVEL	
p8 en bolsa al final	-1.24e-005	0.00885	3.52e-005	0	1	242500
del dia				0	4	242500
	FAIL TO REJECT H0 =>	MEANS ARE EQUAL	AT	0.05 LEVEL		

Desarrollo y Validación de un Modelo de Simulación para el Complejo Asistencial Médico Tecnológico de Navarra (CAMTNA)

➤ **RESULTADOS REFERENTES A LAS TASAS DE UTILIZACIÓN DE LOS RECURSOS**

Paired-t Comparison of Means

Diff
95% CL Test Value

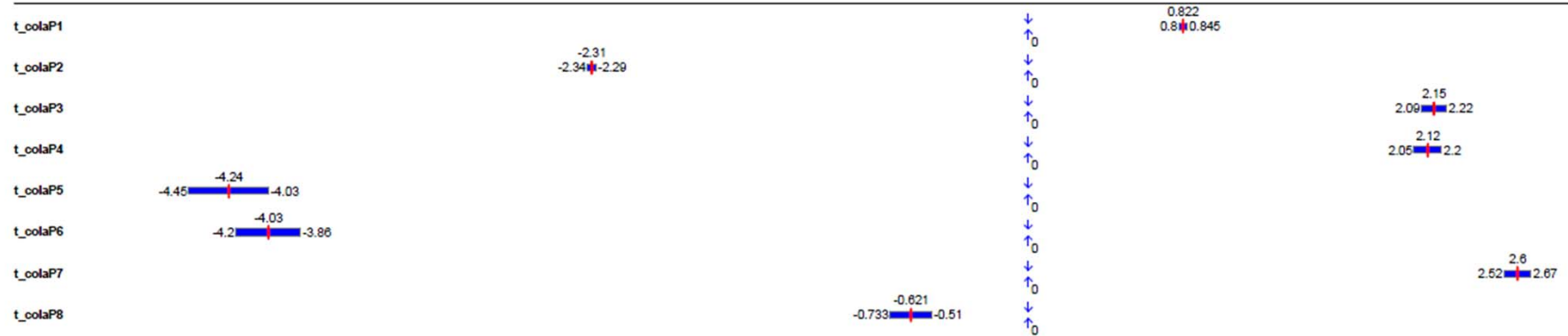
- tasa_utilizacion_RX1
- tasa_utilizacion_RX2
- tasa_utilizacion_RX3
- tasa_utilizacion_RX4
- tasa_utilizacion_TAC 1
- tasa_utilizacion_TAC 2
- tasa_utilizacion_TAC 3
- tasa_utilizacion_TAC 4
- tasa_utilizacion_TAC 5
- tasa_utilizacion_TAC 6
- tasa_utilizacion_TAC 7
- tasa_utilizacion_TAC 8
- tasa_utilizacion_TAC 9
- tasa_utilizacion_TAC 10
- tasa_utilizacion_TAC 11
- tasa_utilizacion_RMN 1
- tasa_utilizacion_RMN 2
- tasa_utilizacion_RMN 3
- tasa_utilizacion_RMN 4
- tasa_utilizacion_RMN 5
- tasa_utilizacion_RMN 6
- tasa_utilizacion_RMN 7
- tasa_utilizacion_RMN 8
- tasa_utilizacion_RMN 9
- tasa_utilizacion_RMN 10
- tasa_utilizacion_RMN 11
- tasa_utilizacion_UIV 1
- tasa_utilizacion_UIV 2
- tasa_utilizacion_eco grafia
- tasa_utilizacion_bro noscopia
- tasa_utilizacion_PET
- tasa_utilizacion_cit uretoscopia
- tasa_utilizacion_ana lisis
- tasa_utilizacion_PAA F
- tasa_utilizacion_C1_ 1
- tasa_utilizacion_C1_ 2
- tasa_utilizacion_C1_ 3
- tasa_utilizacion_C1_ 4
- tasa_utilizacion_C1_ 5
- tasa_utilizacion_C1_ 6
- tasa_utilizacion_C3
- tasa_utilizacion_C4
- tasa_utilizacion_C6

Desarrollo y Validación de un Modelo de Simulación para el Complejo Asistencial Médico Tecnológico de Navarra (CAMTNA)

➤ **RESULTADOS REFERENTES AL TIEMPO DE ESPERA DE LOS PACIENTES**

Paired-t Comparison of Means

Diff
95% CL Test Value



➤ **RESULTADOS REFERENTES AL NÚMERO DE PACIENTES SACADOS DE COLA AL FINAL DEL DÍA**

Alternativa 1

Alternativa 2

Expression	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
num_saca1	7.5109	0,09	6.9280	8.3923	1.0000	38.0000
num_saca2	3.9380	0,02	3.7419	4.1132	1.0000	24.0000
num_saca3	1.8591	0,02	1.7416	2.0278	1.0000	7.0000
num_saca4	1.6877	0,01	1.6088	1.7961	1.0000	7.0000
num_saca5	1.1878	0,00	1.1640	1.2246	1.0000	5.0000
num_saca6	1.2878	0,00	1.2636	1.3259	1.0000	5.0000
num_saca7	1.9542	0,03	1.6968	2.1592	1.0000	14.0000
num_saca8	2.9279	0,02	2.7718	3.0555	1.0000	16.0000

Expression	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
num_saca1	6.1844	0,04	5.8852	6.5559	1.0000	39.0000
num_saca2	3.7095	0,03	3.5372	3.9498	1.0000	19.0000
num_saca3	1.8655	0,02	1.7221	2.0391	1.0000	7.0000
num_saca4	1.6949	0,01	1.6054	1.8048	1.0000	7.0000
num_saca5	1.3945	0,01	1.3410	1.4467	1.0000	7.0000
num_saca6	1.5839	0,01	1.5241	1.6518	1.0000	8.0000
num_saca7	1.9177	0,03	1.6438	2.1388	1.0000	12.0000
num_saca8	2.4945	0,03	2.3289	2.7349	1.0000	15.0000

Desarrollo y Validación de un Modelo de Simulación para el Complejo Asistencial Médico Tecnológico de Navarra (CAMTNA)

Índice

1. Objetivo
2. Descripción del CAMTNA
3. Modelo de Simulación del CAMTNA en Arena
4. Diseño de Experimentos
5. Resultados
6. Conclusiones



*Desarrollo y Validación de un Modelo de Simulación
para el Complejo Asistencial Médico Tecnológico de Navarra (CAMTNA)*

Ausencia de una alternativa notoriamente mejor que la otra.

- Ambas son políticas eficientes de gestión y las diferencias encontradas no son de vital importancia a la hora de tomar decisiones futuras.

Ligera mejora con la alternativa 2.

- En base a los resultados referentes a la bolsa de espera.
- Existe diferencia significativa a un nivel de confianza del 95% entre las medias del número de pacientes en la bolsa de espera,
- Se observan tiempos medios de espera de los pacientes en la bolsa menores para la segunda forma de gestión.

Tasas de utilización de los recursos máximas con ambas alternativas.

Ninguna de las alternativas proporciona menores tiempos en cola globalmente.

- La alternativa 1 conseguía menores tiempos en cola para el 50% de los tipos de paciente, y la 2 para el otro 50%.
- Así, la alternativa 2 minimizaba los tiempos en cola para un 60.55% de los pacientes.

- La eficiencia se incrementará en un 29%.
- La actividad en proceso y acto único disminuirá drásticamente la lista de espera en la Atención Especializada extrahospitalaria, que además se medirá en tiempo de espera de los procesos (lista de espera por procesos) y no en actividades.
- El circuito de Alta Resolución Especializada incrementará en 2,33 veces el tiempo de atención a los pacientes, respecto al circuito convencional de Atención Primaria- Especializada.
- Las consultas en acto único reducirán en 12 días el tiempo media de espera del paciente por consulta.
- El circuito de los procesos en alta resolución especializada permitirá al paciente obtener su diagnóstico en 8,57 días menos que en circuito convencional (actualmente situado en alrededor de 30).
- Se reducirá un promedio de 20,57 días el periodo de diagnóstico, lo que repercutirá positivamente en la salud de la población.
- La Comunidad Foral de Navarra ahorrará 15 millones de euros al reducir el tiempo de diagnóstico.

Muchas gracias por su atención.

¿ P R E G U N T A S ?

*Desarrollo y Validación de un Modelo de Simulación
para el Complejo Asistencial Médico Tecnológico de Navarra (CAMTNA)*