

4th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management
XIV Congreso de Ingeniería de Organización
Donostia- San Sebastián , September 8th -10th 2010

Ajustes en el Proceso de una Unidad Quirúrgica. Un estudio basado en Simulación

José Luis Andrade-Pineda¹, José Manuel Molina-Pariente¹, José Manuel Framiñán Torres¹, Paz Pérez-González¹

¹ Dpto. de Organización. Escuela Superior de Ingenieros. Universidad de Sevilla. Camino de los Descubrimientos s/n. 41092. Sevilla. jlandrade@esi.us.es , jmolinap@esi.us.es , jose@esi.us.es , pazperez@esi.us.es

Resumen

Presentamos un modelo de simulación basada en Eventos Discretos para manejar la incertidumbre en la duración real de la intervención y en la llegada de pacientes urgentes (grandes quemados) que dislocan la planificación de una unidad de Cirugía Plástica y Grandes Quemados. El modelo desarrollado se implementa en ARENA y se usa para evaluar diferentes rediseños del proceso para protegerse de la influencia de los dos factores considerados. Según nuestro rediseño, son posibles valores aceptables del ratio de uso de los quirófanos, compatibles con un número relativamente pequeño de pacientes no intervenidos según programación.

Palabras clave: quirófanos, inducción de anestesia, admisión, simulación

1. Introducción

La alta variabilidad en la duración de las intervenciones quirúrgicas es fuente de problemas en la implantación efectiva de la planificación prevista. Por una parte la intervención puede alargarse más allá de la previsión, lo que motiva horas extra de los equipos quirúrgicos y jornadas maratónicas de trabajo. Por otra parte puede resultar de menor duración, pudiendo originar que los quirófanos estén ociosos, lo que no tiene sentido en un recurso tan valioso (los quirófanos pueden consumir entre el 10-15% del presupuesto de un hospital) y en un momento en que el uso eficiente de los recursos sanitarios es una máxima.

De igual manera la irrupción de casos urgentes es otra fuente de problemas en la planificación prevista, ya que éstos pueden desplazar a pacientes en lista de espera con fecha y hora asignados, además de dislocar toda la planificación prevista para ese día. En tal caso, a los problemas de eficiencia en el uso de los recursos se añade aquí la pérdida en la calidad del servicio percibida por dichos pacientes.

En el presente trabajo se presenta un estudio de simulación de una unidad quirúrgica, fruto del cual se proponen algunas posibles estrategias de protección frente a la influencia de estos dos factores. La verificación / evaluación de dichas estrategias se ha realizado mediante el empleo de ratios simples, como la ocupación de los quirófanos o el número de pacientes intervenidos.

2. Objeto del Estudio

El rediseño del proceso quirúrgico es mencionado habitualmente como un elemento necesario para el aumento de la eficiencia (Kumar and Shim, 2005). En unidades quirúrgicas en las que hay intervenciones de larga duración y con una alta variabilidad, y más si existe el añadido de

llegadas de urgencias, un análisis detallado de cómo es el proceso puede ser muy productivo. En concreto, el modelado y simulación de estas unidades quirúrgicas puede ser muy útil para calibrar las mejoras esperables cuando se realicen ciertos ajustes en el diseño del proceso.

El presente trabajo ha aplicado este enfoque a una unidad de Cirugía Plástica y Grandes Quemados (UCPyGC) de un gran Hospital Universitario. Dicha unidad tiene asignados tres quirófanos que, para intervenciones programadas según lista de espera, funcionan de Lunes a Viernes de 8:00h a 19:00h. El proceso quirúrgico en esta unidad tiene una estructura como se presenta en la Figura 1, donde aparecen las tres líneas de quirófanos de que consta la unidad, una de ellas destinada a urgencias (el efecto de reservar capacidad exclusiva para urgencias se estudia en (Wullink et al., 2007)). La inducción anestésica sucede fuera del propio quirófano (en una sala que le antecede) y con ello se propicia la paralelización de las actividades de inducción y de intervención misma. La paralelización de la inducción anestésica consigue un uso más eficiente del quirófano (Marjamaa et al., 2009), a cambio de introducir la necesidad de personal adicional (Peltokorpi et al., 2008).

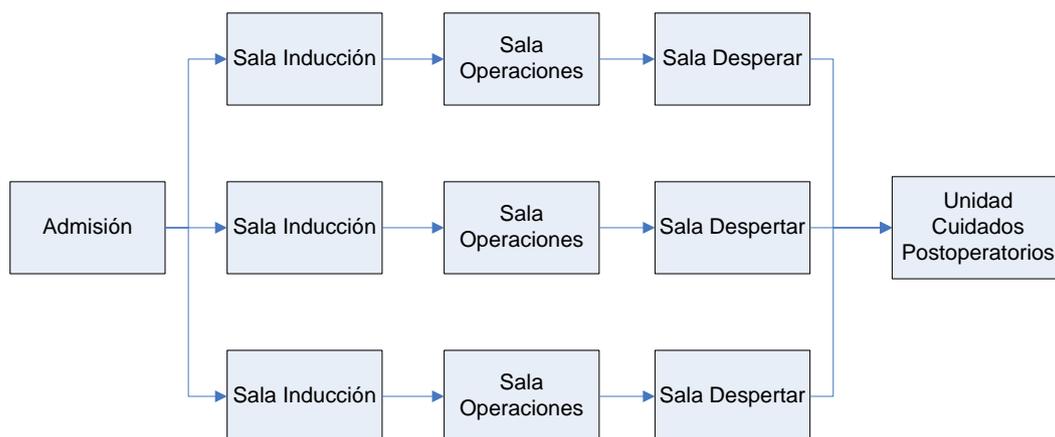


Figura 1. Estructura del proceso quirúrgico en la UCPyGC.

Esta estructura marca el *workflow* que siguen los pacientes desde la admisión hasta que finalmente salen de la unidad ya intervenidos. Como parte de la admisión se hace el trabajo administrativo y posteriormente se produce la asignación del paciente a una de las líneas de quirófanos. Tras esto, entre las tres líneas de quirófanos se hace uso de un pool de recursos compartidos:

- Recursos adscritos a cada línea: sala de inducción, el quirófano mismo y la sala de despertar o recuperación.
- Pool de recursos personales entre los que se deben tomar recursos para servir a los pacientes en las diversas actividades de la línea de quirófanos.

Por último, culminada la intervención, la salida es común a través de la unidad de cuidados intensivos.

La gestión de todos estos recursos no siempre depende sólo del director/a de la unidad. En particular, según el diseño de partida, los médicos anestesistas constituyen propiamente otra unidad que funciona como recurso compartido por todas las unidades quirúrgicas del hospital.

3. Diseño del Modelo Conceptual

Usaremos simulación basada en Eventos Discretos para manejar la incertidumbre en la duración real de la intervención y en la llegada de pacientes urgentes (grandes quemados) que dislocan la planificación de la UCPyGC.

El director/a de la unidad deberá gestionar las cuestiones operativas relativas a la realización del servicio quirúrgico, entre ellas la programación efectiva de la intervención quirúrgica, y el seguimiento y control de las modificaciones respecto a los planes. En la práctica una intervención puede alargarse más allá de la previsión (horas extra de los equipos quirúrgicos) o puede resultar de menor duración (pudiendo originar que los quirófanos estén ociosos), o pueden irrumpir casos urgentes, lo que en ambos casos causará problemas en la implantación de la programación prevista.

La gestión de los cirujanos está bajo el control del director/a de la UCPyGC, por lo que se supone que el recurso cirujano es correctamente gestionado y no producirá problemas en la implantación de la programación prevista. Sin embargo, existen otros recursos que la UCPyGC comparte con todas las demás unidades quirúrgicas del hospital. Precisamente nos centramos en estudiar la influencia que pudieran tener esos otros recursos que no son directamente dependientes de la unidad sino compartidos con el resto del hospital, muy especialmente, médicos anestesiólogos (MA) y enfermeras-anestesiólogas (EA).

3.1. Parámetros de Entrada

En la UCPyGC las intervenciones son de tres tipos: grandes quemados, cirugía plástica y microcirugía.

Los grandes quemados son los casos urgentes, para los que un modelado según una lognormal es lo que mejor captura el comportamiento del tiempo de intervención: son posibles valores muy superiores al promedio, aunque con baja probabilidad, pues las llegadas urgentes tienen una cierta uniformidad en su tratamiento. Como en (González and Herrero, 2004), la llegada de estos casos urgentes se modela con una distribución de Poisson con llegadas en media cada 100 horas. De las tres líneas de quirófano existe una exclusivamente reservada para urgencias y si aún así fuese necesario, una urgencia “robará” uno de los dos quirófanos destinados a pacientes en lista de espera. La duración de su intervención será una lognormal de media 200 minutos y desviación 80 minutos.

En cuanto a los pacientes de lista de espera, el 80% demandan cirugía plástica y sólo el 20% demandan intervenciones de microcirugía. Las intervenciones de microcirugía son de muy larga duración y necesitan de un mayor tiempo de *setup* (véase Tabla 1). Para tomar en consideración que las diferentes modalidades de intervención a pacientes de lista de espera tienen unos tiempos que pueden llegar a ser muy variables (por la diversa naturaleza de las intervenciones) se modelan sus duraciones con sendas funciones exponenciales.

- Las cirugías plásticas tienen duración según una distribución exponencial de media 90 minutos.
- Las microcirugías tienen duración según una exponencial de media 9 horas.

3.2. Formalización del modelo

El modelo conceptual del sistema en estudio se formaliza según un diagrama de ciclos de actividad, en el que interaccionan las entidades siguientes: pacientes, médicos anestesiólogos (MA), enfermeras anestesiólogas (EA), enfermeras de admisión y control post-operatorio (EAP), quirófanos (OR), salas inducción anestésica (SIA) y salas de despertar y recuperación (SDR).

Para la actividad central (el acto quirúrgico mismo, “Sala de Operaciones” en la Figura 1) se supone que no se necesita el concurso más que de cirujanos (recurso no considerado en el modelo conceptual), de MA y de EA, además del propio Paciente, claro.

Se saca ventaja de la paralelización de la inducción del próximo paciente con el llamado *turnover*, que incluye los tiempos de limpieza y desconexión de instrumentos del paciente actual, y preparación del instrumental para el próximo. Ello es posible porque con antelación al fin de la intervención en curso se da esta orden de acceso al recurso SIA del próximo paciente: cuánta sea esta antelación es uno de los ajustes del proceso.

En cuanto a la tipología de las colas en nuestro sistema, tanto en admisión como en el acceso a la inducción primero pasan las urgencias, luego las microcirugías y por último las plásticas. De la sala de operaciones en adelante no tiene sentido suponer una política distinta a la FIFO.

Con posterioridad a la formalización del diagrama de ciclos de actividad, hemos pasado a su implementación en ARENA v12 (Kelton et al., 2007), al objeto de experimentar y evaluar posibles ajustes del proceso de la unidad quirúrgica en estudio.

En la Tabla 1 se listan las entidades involucradas en las actividades clave. Ahí se ha usado la terminología “Paciente”, que luego en el modelo ARENA se ha desdoblado respectivamente en urgencias (Pacientes URG) y pacientes de lista de espera quirúrgica (Pacientes LEQ).

Tabla 1. Actividades y entidades.

Actividad	Tiempo (min)	Entidades involucradas	Descripción
Admisión	Exp(5)	Paciente, EAP	Consiste en traer los pacientes a zona quirófono y papeleo
Inducción	Exp(30)	Paciente, EA, MA, SIA	Anestesiarse y conectar instrumentación especial al paciente
Preparar OR	Unif(30) Si Micro: Unif(70min)	OR, EA	Preparar material, instrumental y demás (<i>setup</i> del entorno físico de la operación)
Intervención	Urg.: Lognorm(200,80) Plást: Exp(90) Micro: Exp(480)	Paciente, MA, EA OR,	La intervención propiamente dicha, excluido el final rutinario.
Desconexión y limpieza	Exp(15)	EA, Paciente	Rutina hacia el final de la intervención: Limpieza, desconexión del instrumental,...
Despertar	Exp (25)	Paciente, MA, SDR	Despertar del paciente en sala aledaña al centro OR
Control postoperatorio	Norm(480,120)	Paciente, EAP	Unidad de cuidados post-anestésicos

La generación de la población de pacientes LEQ (de la lista de espera) se hace en nuestra implementación ARENA de tal forma que se filtran los que previsiblemente no podrán ser totalmente procesados ‘aunque tuvieran vía libre’, antes de una hora de referencia fijada *H*, con lo que pasarían a ser “Pacientes No Atendidos” (véase Figura 2).

La entrada efectiva a la unidad quirúrgica de un nuevo paciente LEQ se permite en virtud de que el número de pacientes ya admitidos y a punto de entrar a quirófano (en la antesala de la Inducción en cualquiera de las dos líneas no urgentes o LEQ, ver Figura 1) esté controlado. Si ya hay demasiados (>3 en nuestro ajuste), será la aparición de un hueco una vez que uno de los pacientes pasa cierto proceso (como puede ser el momento en que va a entrar al quirófano) lo que permite que un nuevo paciente entre al sistema: es lo que llamamos *efecto pull*. Tras permitírsele la entrada se producirá la conducción del paciente hacia la línea de quirófano más apropiada, que para los pacientes LEQ será aquella que menos intervenciones tenga en cola (política FIFO).

De modo diferente ocurre con los Pacientes URG, pues tan pronto como hay una llegada urgente éstos pasan inmediatamente y son conducidos a la línea apropiada. Como comentamos se trataría en principio de la línea dedicada a urgencias, pero caso de que ésta estuviese ocupada, y dada la gran duración de algún tipo particular de intervención, se dirige el paciente URG a aquella línea cuya “intervención quirúrgica en curso” finaliza antes.

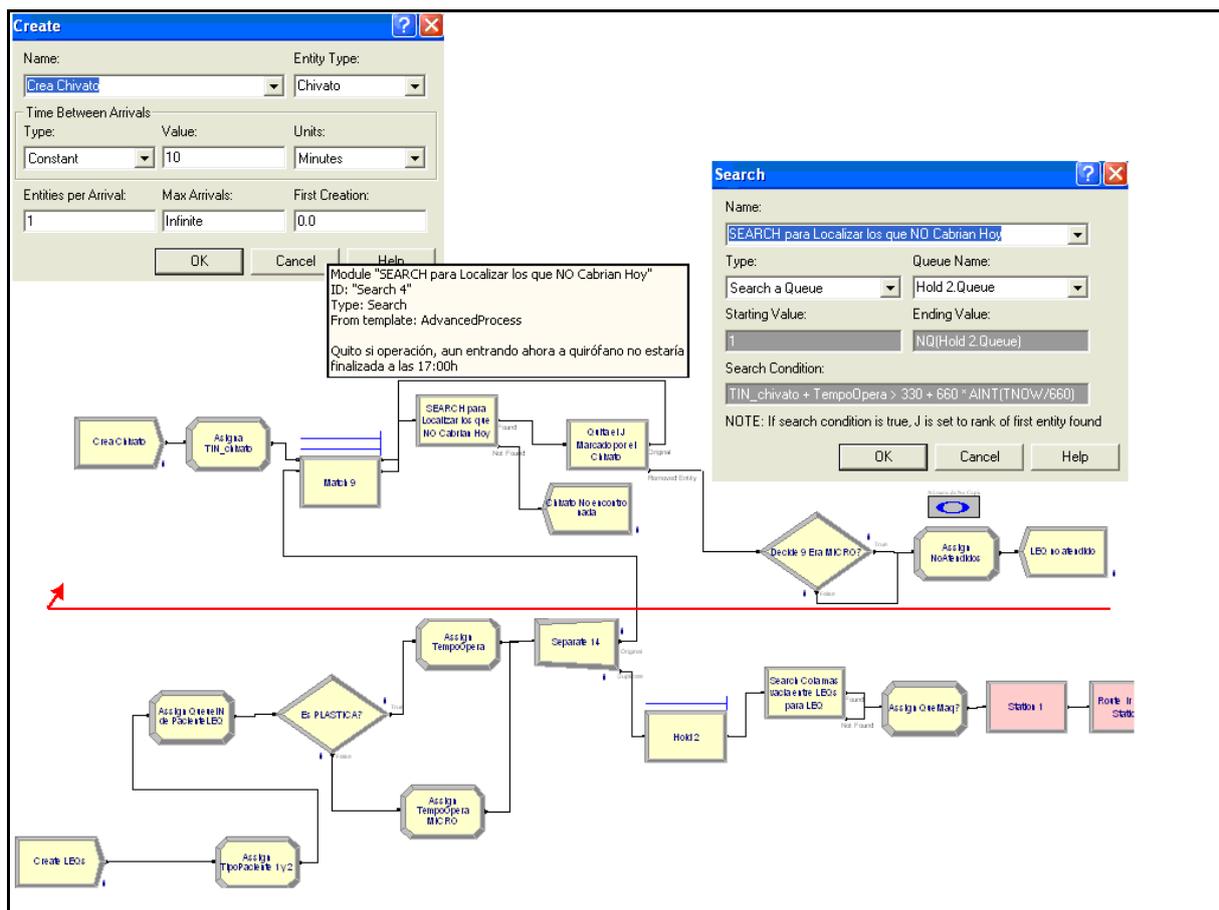


Figura 2. Efecto pull en la entrada de pacientes de lista de espera y posibles rechazos en la UCPyGQ.

En la Figura 3 se presenta el grueso del modelo ARENA de la unidad quirúrgica en estudio, donde se omite parte del detalle presentado ya en Figura 2. En el modelo hecho de cada línea de quirófano se propicia el *efecto pull* ya descrito con una señal, que se emite pasado el primer lapso de Inducción. Pero además, con una antelación de F minutos al fin de la intervención en curso, se da la orden de avance al paciente ya inducido hacia la sala de operaciones. El factor clave aquí es que la liberación del MA (cuando la parte de la intervención que resta por hacer es ya “de rutina”: drenajes, sutura, recogida de material e instrumentación, etc.) lo deja disponible para iniciar la siguiente inducción, permitiendo la paralelización de las tareas de rutina en quirófano con la inducción.

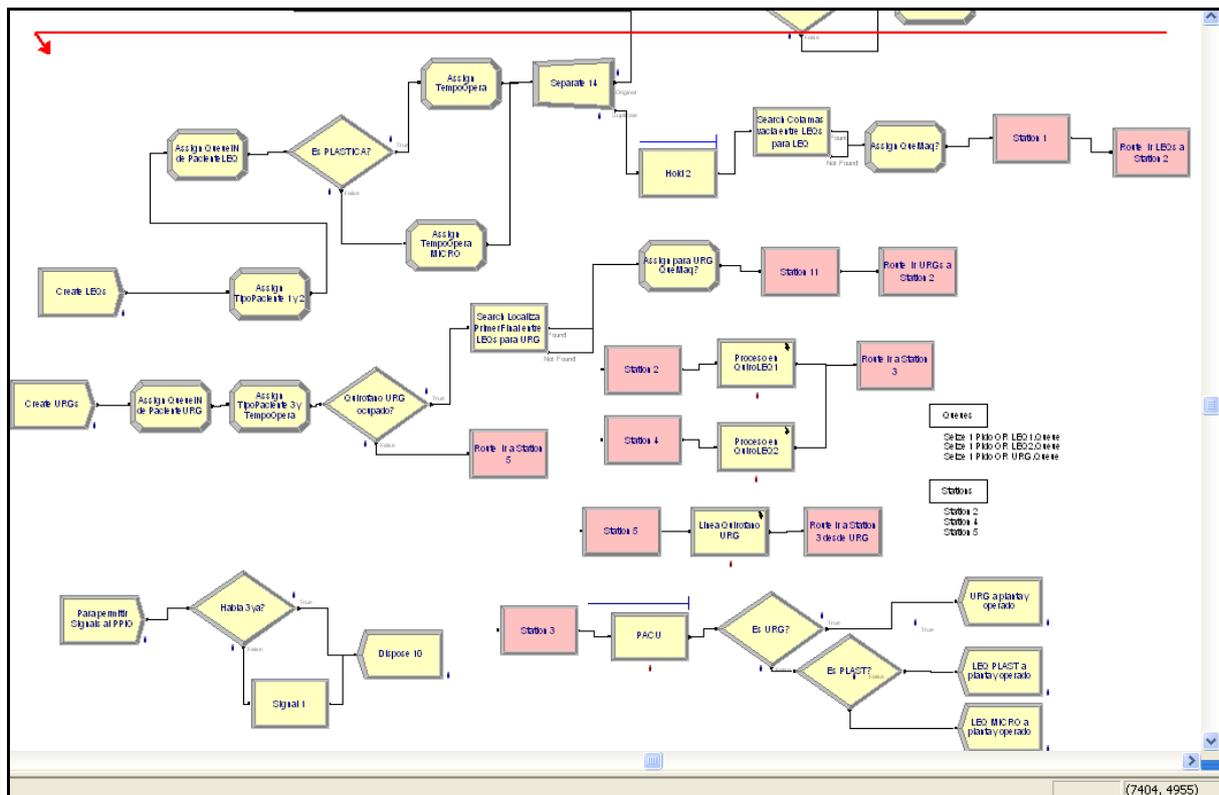


Figura 3. Modelado Arena de la unidad UCPyGQ, excluido el detalle de la admisión de pacientes de lista de espera y de las líneas de quirófanos.

Así pues, se dividió la actividad Inducción en dos: en la primera parte se necesita del concurso de un MA y una EA, pero tan pronto como ésta concluye, en una segunda parte sólo se necesita del concurso de los MA. En el segundo lapso de Inducción (y el paciente aún en la SIA) la EA que lo acompañó en el primer lapso puede adelantarse y preparar fungibles, instrumental, etc... lo que constituye un nuevo rasgo de paralelización de tareas.

El modelo formalizado supone la dedicación total de los MA a su paciente, al que acompañan en todo el periplo por el quirófano excepción hecha de la fase final de rutina, en que en su lugar sí que se queda una EA. Esto tiene su justificación en la responsabilidad que tienen los médicos anestésistas de gestionar todos los aspectos relacionados con la intervención, más si surgiera cualquier eventual complicación. Las cuestiones que queremos evaluar son: ¿cuál es la incidencia que tendría variar el número de MA, que sabemos son un recurso limitante? ¿cuál sería el efecto de aumentar el tiempo de anticipación al final de la intervención con el que liberar los MA?

4. Experimentación y resultados

El modelo de simulación del flujo de los pacientes por la unidad quirúrgica en estudio (UCPyGQ) se ha implementado en ARENA v12 (Kelton et al., 2007). Con intención de investigar los escenarios posibles (*what-if*) se lanzaron 40 baterías, cada una simulando el trabajo de 10 semanas de la unidad, y en las que se evaluaron los efectos de diversos niveles de los recursos (por ejemplo, médicos anestésistas) y ciertos ajustes en el proceso mismo.

En la Tabla 2 se muestran los experimentos destacados obtenidos por variación de los parámetros de ajuste del modelo, que son:

- **Hora de referencia** para los chequeos previos al *pull* de un nuevo paciente LEQ, **H. Opción 1:** H1=13:30 / **Opción 2:** H2=15:30

- **Participación de MA en la inducción: lapso S .** Experimentar con los tiempos en que tras iniciar la inducción del paciente, se requiere al próximo que pase a SIA.
- **Anticipación del fin de la intervención, F .** Experimentar con varias anticipaciones (de los $F=15$ min iniciales a los $F=25$ tentativos), esto es, con la antelación con que se libera al MA antes del fin de la intervención. S era el tiempo en que el MA está presente en la inducción anestésica y F el tiempo en que MA está ausente en la intervención quirúrgica.
- **Número de MA: A médicos anestesistas.**

Mientras que los médicos anestesistas se suponen recurso limitante del que variamos su capacidad (A) entre los distintos experimentos, en el caso de las enfermeras anestesistas se ha supuesto que se dispone de 4 EA. Además aclarar que las enfermeras de admisión y control post-operatorio son vistas como personal de soporte que siempre va a estar disponible (ajustada a alta capacidad, a 20 EAP). A propósito de S y F , son las medias de sendas distribuciones exponenciales, y como se ve en Tabla 2, experimentamos con varios pares.

Tabla 2. Experimentación con el modelo ARENA de la UCPyGQ.

Exp	S	F	H	A	No Admitidos	Urg	Plast	Micro	HorasUsadas LEQ (sobre 1110h)	% MA	%Línea LEQ1	%Línea LEQ2
Exp1	15	15	H2	3	30	10	209	33	610,5	95,55	98,4	82,77
Exp2	15	15	H2	4	30	10	233	39	700,5	76,09	98,92	64,12
Exp3	15	15	H2	5	31	10	254	39	732	65,75	96,66	79,61
Exp4	15	15	H2	6	31	10	254	39	732	58,81	96,66	79,61
Exp5	15	15	H1	3	38	10	217	34	631,5	93,54	97,47	78,23
Exp6	15	15	H1	4	38	10	253	43	766,5	72,9	96,6	76,85
Exp7	15	15	H1	4	38	10	265	38	739,5	63,77	95,25	77,04
Exp8	5	25	H2	3	31	10	197	35	610,5	91,4	92,3	81,08
Exp9	5	25	H2	4	30	10	232	36	672	79,62	99,56	78,49
Exp10	5	25	H2	5	31	10	236	35	669	61,53	99,54	72,06
Exp11	5	25	H2	6	31	10	235	34	658,5	51,11	99,54	71,62
Exp12	5	25	H1	3	38	10	204	33	603	94,23	98,47	87,21
Exp13	5	25	H1	4	36	10	235	41	721,5	78,89	99,29	77,79
Exp14	5	25	H1	5	38	10	251	40	736,5	62,79	99,39	79,3
Exp15	5	15	H2	3	32	10	203	38	646,5	94,17	98,6	80,26
Exp16	5	15	H2	4	29	10	250	43	762	80,53	99,56	76,6
Exp17	5	15	H2	5	29	10	262	40	753	66,85	99,55	79,82
Exp18	5	15	H2	6	29	10	262	40	753	55,1	99,55	78,54

Exp19	5	15	H1	3	39	10	217	39	676,5	92,87	97,89	78,98
<u>Exp20</u>	<u>5</u>	<u>15</u>	<u>H1</u>	<u>4</u>	<u>35</u>	<u>10</u>	<u>266</u>	<u>41</u>	<u>768</u>	<u>75,84</u>	<u>97,77</u>	<u>71,24</u>
Exp21	5	15	H1	5	36	10	268	39	753	63,98	98,24	77,53

Si comenzamos a revisar los experimentos vemos que existe un punto crítico A^* , por encima del cual la adición de más médicos anestesistas no mejora el servicio. Esto se lee en la tabla cuando se comparan entre sí los experimentos presentados en cada bloque (encuadrados en trazo grueso). Por ejemplo, si inspeccionamos el bloque Exp15 a 18 se observa que pasado el punto $A^*=4$ ya no sólo es que no mejore sino que empeora el resultado de haber añadido un MA más: sucede que el nº de horas de ocupación de los quirófanos LEQ disminuye. Es más, lo hizo a la par que algún otro recurso aparece más ocupado (véase en reporte figura 4 cómo el recurso EA queda al 77,8% en Exp16, frente al 80,5% en que estaba en Exp17).

El momento en que se produzca este efecto “saturación” en el número de médicos anestesistas depende del ajuste en cuestión del resto de parámetros. En el bloque Exp1 a 4 este punto crítico sucede con $A^*=5$, y en el bloque Exp15 a 18 sucede en $A^*=4$.

De la observación detallada de los experimentos realizados derivará la identificación de estrategias a aplicar en la UCPyGQ, que en media funcionarán bien en el entorno de incertidumbre considerado en este trabajo. Las salidas de la simulación en las que nos fijamos inicialmente son dos: la ocupación de los quirófanos y el número de pacientes intervenidos. Así, los ajustes de proceso de Exp 16 (H2, S=5, F=15, A=4) aparecen como una solución equilibrada: ocupación de quirófanos alta (99,56% y 76,6% respectivamente), un número de pacientes intervenidos alto (293 descargados de la lista de espera, 10 urgencias) y sólo 29 pacientes no admitidos (rechazados un 10%).

También se marcan en la Tabla 2 otras soluciones equilibradas, como son las Exp6, Exp14 y Exp20. En concreto, los ajustes de proceso de Exp20 (H1, S=5, F=15, A=4) obtienen el máximo de horas de quirófano en uso (768 horas) y se consigue que el quirófano de la línea 1 no esté tan cercano a la saturación como en Exp16, aunque a cambio rechaza algunos pacientes más (35). El resto de datos destacables de Exp20 son: SIA de la línea LEQ1 y LEQ2 al 94,269% y 56,548% respectivamente, SDR de la línea LEQ1 y LEQ2 al 14,546% y 9,991% respectivamente, EA (eran 4) al 73,9% y EAP (eran 20) al 25,91%. A título informativo, el quirófano de urgencias está al 7,12% de uso.

JL Andrade - License: STUDENT					
Output Summary for 10 Replications					
Project: Unnamed Project			Run execution date : 7/21/2009		
Analyst: Usuario			Model revision date: 7/21/2009		
OUTPUTS					
Identifier	Average	Half-width	Minimum	Maximum	# Replications
URGs.NumberIn	33.000	12.994	6.0000	60.000	10
URGs.NumberOut	33.000	12.994	6.0000	60.000	10
LEQs.NumberIn	1974.2	769.85	361.00	3585.0	10
LEQs.NumberOut	1630.8	633.65	299.00	2957.0	10
Entity 1.NumberIn	82.500	32.485	15.000	150.00	10
Entity 1.NumberOut	82.500	32.485	15.000	150.00	10
Chivato.NumberIn	1820.5	716.84	331.00	3310.0	10
Chivato.NumberOut	495.00	194.91	90.000	900.00	10
SDR en LEQ1.NumberSeized	19.800	2.8572	15.000	27.000	10
SDR en LEQ1.ScheduledUtilization	.17465	.01286	.16141	.22238	10
SDR en LEQ2.NumberSeized	15.000	2.1591	11.000	19.000	10
SDR en LEQ2.ScheduledUtilization	.09581	.00514	.08656	.10674	10
SIA en LEQ1.NumberSeized	21.600	2.8252	16.000	28.000	10
SIA en LEQ1.ScheduledUtilization	.97592	.00406	.96973	.98894	10
SIA en LEQ2.NumberSeized	16.400	2.1643	13.000	20.000	10
SIA en LEQ2.ScheduledUtilization	.63048	.02626	.55186	.68782	10
SIA en URG.NumberSeized	1.0000	.00000	1.0000	1.0000	10
SIA en URG.ScheduledUtilization	.01411	.00410	.01069	.02889	10
MA.NumberSeized	74.800	9.5004	58.000	96.000	10
MA.ScheduledUtilization	.80529	.01491	.76819	.84853	10
EA.NumberSeized	39.000	4.7925	30.000	49.000	10
EA.ScheduledUtilization	.77780	.01156	.74365	.80291	10
Quirofano LEQ1.NumberSeized	20.700	2.9598	15.000	28.000	10
Quirofano LEQ1.ScheduledUtilization	.99558	2.7676E-04	.99503	.99616	10
Quirofano LEQ2.NumberSeized	15.900	2.0909	12.000	20.000	10
Quirofano LEQ2.ScheduledUtilization	.76604	.02642	.68276	.81411	10
EAP.NumberSeized	78.500	9.4671	61.000	99.000	10
EAP.ScheduledUtilization	.24983	.00823	.22679	.26183	10
Quirofano URG.NumberSeized	1.0000	.00000	1.0000	1.0000	10
Quirofano URG.ScheduledUtilization	.07193	.00739	.06114	.09848	10
SDR en URG.NumberSeized	1.0000	.00000	1.0000	1.0000	10
SDR en URG.ScheduledUtilization	.00798	.00188	.00280	.01248	10
System.NumberOut	1453.3	569.33	266.00	2639.0	10
Simulation run time: 0.25 minutes.					
Simulation run complete.					

Figura 4. Detalle del experimento Exp16: reporte promedio de las 10 réplicas simuladas.

De una forma clara, podemos resaltar los principales resultados de nuestra experimentación:

- Se observa un efecto de saturación en el número de médicos anestesistas, al igual que se reporta en otros trabajos (Baumgart et al., 2007). Llegado cierto punto, no sólo no compensa disponer de médicos anestesistas adicionales, sino que conduce a peores resultados.
- Hay ciertos ajustes de proceso que en media funcionarán bien incluso en situación de incertidumbre en el número de médicos anestesistas asignados. La anticipación de la orden de liberación de la SIA y la fijación de una hora tope de admisión de pacientes en las líneas de quirófanos, según nuestras simulaciones, permiten que: 1) los pacientes no intervenidos de acuerdo al programa sean pocos (frente al grueso de más de 300 pacientes de lista de espera que sí lo son, los no intervenidos son de 35 a 39), y 2) el ratio de uso de los quirófanos sea elevado (>70%).
- Para el caso en que el director de la unidad pueda conseguir un número de A=4 o A=5 médicos anestesistas, entonces podemos ir un paso más allá y ajustar el proceso con cambios en los tiempos de presencia de los médicos anestesistas junto a los pacientes, así

como de los procesos de admisión de pacientes para evitar que surja el efecto saturación del que ya se ha hablado.

Como conclusión, el modelo de simulación muestra su utilidad para explorar diferentes ajustes en los recursos y pone de manifiesto líneas de actuación para rediseñar el proceso de la UCPyGQ para protegerse mejor frente a la variabilidad de las duraciones de las intervenciones y a la irrupción de casos urgentes. Según nuestro rediseño, son posibles valores aceptables del ratio de uso de los quirófanos, compatibles con un número relativamente pequeño de pacientes no intervenidos según programación.

Referencias

Kumar, A.;Shim, S.J. (2005). Using computer simulation for surgical care process reengineering in hospitals. *INFOR*, Vol43, 4, pp.303-319.

Wullink, G.;Van Houdenhoven, M.;Hans, E.W.;Van Oostrum, J.M.;Van Der Lans, M.;Kazemier, G. (2007). Closing emergency operating rooms improves efficiency. *J.Med.Syst.*, Vol31, 6, pp.543-546.

Marjamaa, R.A.;Torkki, P.M.;Hirvensalo, E.J.;Kirvelä, O.A. (2009). What is the best workflow for an operating room? A simulation study of five scenarios. *Health Care Manag.Sci.*, Vol12, 2, pp.142-146.

Peltokorpi, A.;Lehtonen, J.-.;Kujala, J.;Kouri, J. (2008). Operating room cost management in cardiac surgery: A simulation study. *Int.J.Healthcare Technol.Manage.*, Vol9, 1, pp.60-73.

González, P.;Herrero, C. (2004). Optimal sharing of surgical costs in the presence of queues. *Mathematical Methods of Operations Research*, Vol59, 3, pp.435-446.

Kelton, D.W.;Sadowshi, R.P.;Sturrock, D.T. (2007). *Simulation with Arena*.

Baumgart, A.;Zoeller, A.;Denz, C.;Bender, H.-.;Heinzl, A.;Badreddin, E. (2007). Using computer simulation in operating room management: Impacts on process engineering and performance. *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences*,

-