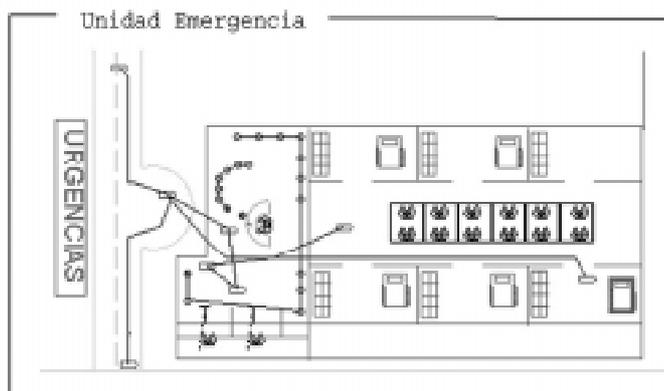


## EL USO DE SIMULACIÓN EN EL ANÁLISIS DEL FLUJO DE PACIENTES EN SISTEMAS DE SALUD



### Abstract

*This paper presents the results of three research projects developed by the authors oriented to the use of simulation as a tool for process improvement at the emergency room and cancer treatment center of the Orlando Regional Health Care Systems Hospital in the USA. The results obtained showed that simulation is as powerful tool for reducing patients waiting time. A second phase of this study presents the idea of integrating simulation and virtual reality techniques. This methodology would allow to explore digitally new alternatives for architectonic design linked to the development of activities over time.*

Este artículo presenta los resultados de tres proyectos de investigación realizados por los autores, orientados al mejoramiento de procesos en sistemas de salud en el hospital Orlando Regional de la ciudad de Orlando USA. Los estudios fueron realizados en la sala de emergencias y el centro de tratamiento ambulatorio del cáncer de este hospital. Cada estudio consistió en representar el sistema a través de modelos de simulación animada mostrando el flujo de pacientes dentro del sistema hospitalario. El objetivo consistió en proponer y evaluar alternativas de mejoramiento del flujo de pacientes a través de una mejor utilización de los recursos del hospital o de transformaciones físicas.

Estas investigaciones revelaron la potencialidad de mejorar el diseño arquitectónico de establecimientos de salud pública y otros edificios de servicios, por medio de la simulación de actividades. Por lo cual se ha iniciado una investigación subsecuente, destinada a vin-

cular estas técnicas de análisis con la modelación tridimensional interactiva, generando representaciones virtuales del acontecer en espacios arquitectónicos. Para esto se ha planteado el desarrollo de un programa de enlace entre los sistemas de simulación de procesos y plataformas de Realidad Virtual, aplicándolo en un caso experimental de un Hospital Regional, lo cual permitirá fundamentalmente explorar digitalmente nuevas aproximaciones de diseño arquitectónico vinculadas al desarrollo de las actividades en el tiempo, lo cual ha sido sugerido en algunas obras vanguardistas, como una relevante posibilidad para la arquitectura contemporánea.

### Introducción

La simulación es una técnica computacional que permite representar sistemas en forma dinámica y estocástica. En otras palabras, el comportamiento variable del sistema en el tiempo (dinámica) es considerado en el

**Felipe Baesler A.**  
**José Sepúlveda**  
**Rodrigo García A.**  
**Mauricio Pezo B.**  
**Pedro Rodríguez M.**  
Universidad del BioBio  
Av. Collao 1202, Concepción, Chile

**William Thompson**  
Industrial Engineering and Management  
Systems  
University of Central Florida  
Orlando, FL 32816-2450, U.S.A.

Imagen síntesis:  
Vista Modelo en Arena

análisis al igual que la aleatoriedad de los posibles eventos que pueden ocurrir (estocástica) durante el desarrollo de la simulación. Desde una perspectiva analítica estos aspectos representan una ventaja considerable frente a otras técnicas que permiten estudiar un sistema en forma estática y determinística, lo cual representaría solamente un instante de la realidad del sistema. Finalmente una tercera componente es la capacidad de animar el movimiento de las entidades que fluyen dentro del sistema. Esto permite estudiar el comportamiento del sistema durante el transcurso del periodo de simulación. Estos tres factores que permiten representar el problema en forma dinámica, estocástica y animada, hacen de la simulación una herramienta muy poderosa y confiable para el modelamiento de sistemas.

Este artículo presenta los resultados de la aplicación de esta técnica en tres proyectos hospitalarios. El objetivo original de estos estudios fue el de analizar el

comportamiento de los pacientes que transitan dentro de los recintos hospitalarios con el fin de proponer alternativas para la disminución de los tiempos de espera al cual ellos se enfrentan. Sin duda este es un objetivo netamente cuantitativo, sin embargo como una segunda etapa de estos proyectos se plantea la integración de un modelo de simulación con un software de realidad virtual, lo cual permitirá fundamentalmente explorar digitalmente nuevas aproximaciones de diseño arquitectónico vinculadas al desarrollo de las actividades en el tiempo.

### **Descripción y Resultados del Estudio**

Los estudios que se presentarán en este artículo fueron realizados en el Orlando Regional Healthcare Systems. Este complejo hospitalario está ubicado en la ciudad de Orlando en los Estados Unidos de América y corresponde a un hospital nivel III, categoría que representa el tamaño del hospital, siendo el nivel III la categoría mas alta. El proyecto se dividió en tres estudios distintos, los cuales analizaron diferentes sub-sistemas dentro del hospital. El primero corresponde a la simulación realizada en la sala de emergencias del hospital. Esta sala recibe mas de 75.000 pacientes al año para lo cual cuentan con 55 camas divididas en zonas de adultos, niños, trauma y fast-track. El objetivo del estudio fue analizar alternativas para disminuir el tiempo de espera de los pacientes antes de recibir tratamiento. De igual manera se buscaba disminuir el número de pacientes que se retiran sin recibir tratamiento debido al alto tiempo de espera. Los detalles de este estudio pueden ser encontrados en [Baesler et al. 1998] y [Sepúlveda et al. 2001].

Los resultados mas importantes arrojados por este estudio demostraron que es posible lograr los objetivos antes mencionados al hacer una mejor utilización de los recursos ya existentes. Una de los puntos clave que presentaban potencial para una mejor utilización de los recursos corresponde a la sección de

fast-track. Esta estación representa un grupo de 10 camas reservadas para pacientes cuyo tratamiento puede ser finalizado antes de una hora. El estudio reveló que nunca se utilizaban mas de 5 camas en forma simultanea, por lo tanto algunas de estas camas podrían ser utilizadas para otro tipo de pacientes. Usando este criterio y combinado con una mejor asignación de horarios para las enfermeras fue posible disminuir el tiempo de espera de los pacientes adultos en aproximadamente un 30%. De igual manera se eliminaron los pacientes que se retiraban sin recibir tratamiento.

El segundo estudio contemplado en este proyecto corresponde a la simulación de la unidad de tratamiento ambulatorio del cáncer del mismo hospital. Este centro atiende a pacientes que requieren tratamiento de quimioterapia cuya duración fluctúa entre 1 y 8 horas. El objetivo principal del proyecto era la evaluación de la alternativa de mover la farmacia que prepara las drogas para el tratamiento, a un lugar cercano al centro donde se imparte el tratamiento. De esta manera sería posible disminuir los tiempos de espera de los pacientes antes de recibir el tratamiento. Los resultados arrojados por el estudio mostraron que este cambio no genera un impacto importante en el tiempo de espera de los pacientes debido a que la preparación de las drogas no representa un cuello de botella dentro del flujo del sistema. De igual manera se encontró que el verdadero cuello de botella son los sillones donde se imparte el tratamiento. En otras palabras, se aprecia que muchas veces existen pacientes esperando por un cupo en un sillón a pesar que la droga para su tratamiento ya estaba disponible. Por esta razón se estudió la posibilidad de aplicar una forma alterativa para la programación de las llegadas de pacientes. De esta manera fue posible mejorar la utilización de los sillones, lo cual finalmente se tradujo de un aumento de un 20% en la cantidad de pacientes que se tratan diariamente.

El último estudio realizado corresponde a una extensión del proyecto anterior.

La inquietud corresponde al eventual traspaso del centro de tratamiento del cáncer a un nuevo edificio construido especialmente para este centro, con un aumento de capacidad superior al 100% en relación a la actual. Los resultados mostraron la necesidad de rediseñar algunas salas de espera del edificio debido a que aparentemente no serían capaces de soportar el aumento en el flujo de pacientes y acompañantes. Mayores detalles de los proyectos relacionados con el centro de tratamiento del cáncer pueden ser encontrados en [Sepúlveda et al. 1999].

### **Extensiones del Proyecto**

Con el fin de desarrollar una metodología de representación de las actividades para el diseño arquitectónico, aplicada en establecimientos hospitalarios, se ha planteado la integración de programas de simulación de procesos y modelación virtual. Esta integración informática permitiría alcanzar un sistema de simulación integral y complementar las capacidades de análisis de las distintas técnicas involucradas, experimentando su utilización en el caso de Unidades de Emergencia Hospitalaria (UEH). Para simulación de procesos se ha seleccionado el software Arena 4.0 (de System Modeling Corporation) que constituye una de las plataformas mas avanzadas para el análisis de operaciones y además de es el al mismo software utilizado en los estudios presentados anteriormente. Por otro lado para la modelación virtual se ha utilizado el software Virtual Reality Toolkit 5.6 (de Superscape Corp) que ofrece una completa plataforma de modelación tridimensional y navegación interactiva. Incluyendo el control de dispositivos inmersivos (como gafas estereoscópicas), sonido, texturas, iluminación y programación de movimientos. Estos programas se inscriben en el desarrollo de sistemas de diseño asistido por computadora (CAD), que han avanzado en capacidades de modelación volumétrica, representación realista y animación. Pero se distinguen de los programas 3D en que permiten

visualizaciones en "tiempo-real", es decir, que el usuario decide en el momento la dirección, recorriendo libremente el ambiente virtual. Esto implica que el modelo debe ser mas simple en geometría y presentación gráfica por las limitaciones de procesamiento computacional, pero permite realizar acciones interactivas (como abrir una puerta) y visualizar integralmente el entorno espacial. Este programa ha sido utilizado por los investigadores para distintas

experiencias de representación arquitectónica. En una primera etapa de la integración de estos programas, se ha utilizado un caso original de Unidad de Emergencia Hospitalaria del software Arena, que esta basado en antecedentes estadísticos dados. La Figura 1 presenta una vista 2D correspondiente a la animación de este modelo. Para este caso se construyó en VRT el modelo virtual correspondiente, basado en la planta y objetos involucrados (vehículos y personas), los detalles de la edificación y amoblamiento se obtuvieron de visitas a terreno a establecimientos similares y del Manual para Diseño de UEH producido por el Ministerio de Salud. La figura 2 presenta el mismo modelo contruido en VRT. En este modelo se ha programado el desplazamiento de la ambulancia, paciente regular y paciente crítico, que constituyen los objetos con comportamientos mas complejos, además de efectuar recorridos de visualización interior y exterior. A su vez se ha estudiado la simulación en Arena para analizar la evolución de los procesos en el tiempo y la extracción de información de sus resultados.

### Conclusiones

Este artículo ha presentado a la herramienta de simulación como una alternativa para abordar problemas de flujo de pacientes en establecimientos de salud. En los tres casos abordados, la utilización de la herramienta significó un aporte importante para el análisis de los sistemas estudiados y de igual manera un método para validar la implementación de alternativas de solución.

Una segunda parte del proyecto plantea la utilización de simulación integrada con realidad virtual con el fin de representar actividades para el diseño arquitectónico, aplicada en establecimientos hospitalarios. Para tal objetivo se utilizó el software de simulación ARENA y el de realidad virtual VRT. Esta metodología permitiría explorar digitalmente nuevas aproximaciones de diseño arquitectónico vinculadas al desarrollo de las actividades en el tiempo.

### Bibliografía

Baesler, F., Sepúlveda, J.A., Thompson, W., Kotnour, T., "Working with Healthcare Practitioners to Improve Hospital Operations with Simulation", en actas de Conferencia *Arena Sphere '98*, Farmington, Pittsburgh, USA, pp. 122-130, 1998

Sepúlveda, J.A., Thompson, W., Baesler, F., Alvarez, M., "The Use of Simulation for Process Improvement in a Cancer Treatment Center", en actas de conferencia *Winter Simulation Conference '99*, Phoenix, Arizona, USA, pp. 1551-1548, 1999

Sepúlveda, J., Baesler, F., Thompson, W., "The Use Of Simulation For Process Improvement In An Emergency Department", aceptada en Conferencia ASM (2001), Marbella, España , 2001



Modelamiento en VRT