

# Integración de Simulación y Realidad Virtual para el Análisis de Unidades de Emergencia Hospitalaria. \*

Pedro Rodríguez M.  
prodrigu@rayen.face.ubiobio.cl

Rodrigo García Alvarado  
rgarcia@pegasus.dci.ubio.bio.cl

Felipe Baesler Abufarde  
fbaesler@ubiobio.cl

Mauricio Pezo  
m\_pezo@yahoo.cl

Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile.

## Abstract

En este artículo se presenta un sistema que aborda el problema de rediseño de unidades de emergencia hospitalaria, utilizando herramientas de simulación y Realidad Virtual. Este sistema está orientado a representar las actividades y organización de una unidad de emergencia, con el propósito de estudiar su comportamiento y analizar posibles reestructuraciones en el edificio y sus sistemas de atención. El mundo virtual es creado a partir de un conjunto de datos obtenidos desde la simulación, y analiza la lógica de comportamiento de la unidad de emergencia.

En un caso real desarrollado, estos datos fueron utilizados por el software de Realidad Virtual para visualizar el comportamiento de la unidad de emergencia, demostrando la factibilidad de vincular software de realidad virtual y simulación de procesos para el análisis de unidades de emergencia hospitalaria, definiendo así una mejor organización de la unidad.

**Palabras Claves:** Realidad Virtual, simulación, mundo virtual, unidad de emergencia, distribución espacial.

## 1 Introducción.

Las tecnologías de la información hoy en día se ha transformado en una herramienta no solamente innovadora sino que también renovadora, involucrándose desde la gestión hasta proyectos de gran envergadura. Actualmente, dentro de las tecnologías de información, la Realidad Virtual se ha constituido en una poderosa herramienta para visualizar a través de un modelo digital, las diferentes propiedades y características de una instalación.

Las unidades de emergencia de un hospital público o privado se ven a diario enfrentados a albergar y a atender las necesidades de muchas personas, con cierto grado de dificultad debido a los problemas operativos o una mala distribución espacial al interior del edificio. Estos problemas pueden influir en los tiempos de espera y la calidad de atención de los pacientes, además del bienestar de acompañantes y personal médico que ocupan a diario este crítico servicio público.

---

\*Este proyecto es financiado por la Universidad del Bío-Bío (DIPRODE 011402-2) y el Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDECYT 1020578 ).

Se presenta un sistema que combina simulación de procesos y realidad virtual, orientado a representar las actividades y organización de la unidad de emergencia de un hospital, con el propósito de estudiar su comportamiento y analizar las posibles reestructuraciones en el edificio y sistemas de atención. La integración de estos programas puede ser además aplicable para otras situaciones o establecimientos complejos.

El mundo virtual es creado a partir de un conjunto de datos obtenidos del proceso de simulación, el cual permite analizar la lógica de comportamiento de la unidad de emergencia, la ejecuta y proporciona los datos necesarios de operación de pacientes y uso de recursos en el tiempo.

A la fecha se ha desarrollado la integración en un caso experimental y un caso real, demostrando la factibilidad de vincular software de realidad virtual y de simulación de procesos para el análisis de unidades de emergencia hospitalaria.

## 2 Antecedentes.

El fin primordial de los edificios es albergar actividades, sin embargo no existen métodos para representar y analizar la ocupación de los espacios. Esta carencia se revela dramáticamente en los establecimientos hospitalarios que deben acomodar servicios complejos y cambiantes, presentando permanentemente desajustes entre las operaciones y los recintos necesarios para desarrollarlas. En particular las unidades de emergencia requieren una gran efectividad en el uso de los espacios debido a la urgencia de las actividades que albergan, de hecho la normativa oficial [MINSAL; 1997] advierte que el diseño de la unidad debe estar basado fundamentalmente en la fluidez de las circulaciones, pero no propone procedimientos de estudio o planificación de este aspecto.

En la última década ha surgido software de simulación de procesos con bases de datos estadísticas que permiten analizar operaciones de una manera dinámica y probabilística, más cercana a la aleatoriedad de los eventos reales y más conveniente para estudiar situaciones complejas. Recientemente, estos sistemas alcanzaron una representación gráfica animada con figuras bi-dimensionales en movimiento y algunos elementos 3D, pero sin abarcar la espacialidad de los entornos [Law y Kelton, 2000].

Por otro lado, los software de diseño asistido (CAD) utilizan entidades gráficas exclusivamente para definir los elementos constructivos estáticos de un edificio. Se han desarrollado algunos programas que permiten estudiar relaciones funcionales entre los recintos (según diagramas de circulación o distribución de superficies), pero sin evoluciones en el tiempo o integración con la actividad proyectual. Un trabajo reciente [Ekholm, 2001] plantea una programa complementario a un CAD para incorporar modelación de actividades en el diseño de edificios, a través de una descripción estática de las funciones y sugiere investigar la representación espacial y desarrollo de procesos.

A su vez, los sistemas de Realidad Virtual permiten la visualización interior de espacios digitales y la programación de comportamientos en objetos computacionales que pueden representar acciones humanas. De acuerdo con [Roehl, 1995], los comportamientos virtuales consisten en cambios de atributos (como la posición espacial de un objeto), y pueden ser determinísticos (estáticos o animados), o no-determinísticos (como reacciones a leyes físicas o modificaciones en el tiempo). Los primeros pueden ser controlados por parámetros o rutinas simples, pero los últimos deben ser programados con variables. La programación de comportamientos puede incluir acciones en relación con otros objetos (como colisiones) o alimentación de datos externos. Un trabajo sobre comportamientos complejos en ambientes virtuales [Ulicny y Thalmann, 2001] propone una separación conceptual de la lógica y la visualización de las actividades. El cálculo de comportamientos se desarrolla en un nivel computacional con un sistema multi-agente de atributos, reglas y máquinas de estado finito. La visualización se procesa en otro nivel que permite diferentes detalles geométricos, pero advierten una importante restricción en la representación gráfica, a pesar de trabajar con poderosas estaciones de trabajo.

La representación computacional de actividades ha tenido un avance sustantivo con la capacidad de modelar y animar humanos, a través de mallas geométricas vinculadas a esqueletos controlados por cinemática inversa [Badler et al; 1992]. Incluyendo recientemente procedimientos automatizados de "caminatas" y "poses" para sentarse o recostarse, que pueden ser controlados en procedimientos programables por personaje, en trayectorias o direcciones determinadas. Aunque indudablemente la cantidad de personajes y comportamientos incrementa significativamente el procesamiento visual. Una aplicación reciente de estas técnicas en la medicina de urgencia [Stansfield, 1998], demostró notables capacidades de la modelación virtual en el entrenamiento de personal militar para otorgar primeros auxilios en el campo de batalla. Sin embargo en esta experiencia también se plantearon limitaciones gráficas en el detalle geométrico y la integración en entornos mayores.

### 3 Objetivos de la Investigación.

La investigación está basada en experiencias previas aplicando programas de simulación de procesos para analizar servicios de salud. Estos estudios se desarrollaron en tres sectores diferentes del Hospital Regional de Orlando (Florida, EE.UU.), un complejo hospitalario clasificado en el rango más alto de tamaño de la zona. El primer estudio abordó la unidad de la emergencia, la cual atiende un promedio de 75.000 pacientes al año en 55 camas. En este caso, la simulación permitió analizar las operaciones y proponer una distribución diferente de camas y turnos de enfermeras demostrando una reducción del 30% en los tiempos de espera y una disminución del número de pacientes que se retiran sin recibir tratamiento [Sepúlveda et al, 2000]. Un segundo estudio analizó el centro para tratamiento ambulatorio de cáncer y se simuló alternativas para la localización de la farmacia y el uso de sillones especiales que consiguieron un aumento del 20%. El tercer estudio revisó la ampliación y transferencia de este mismo centro a un nuevo edificio. Los resultados mostraron la necesidad de tener salas de espera más grandes para apoyar el aumento en el flujo de paciente y acompañantes [Sepúlveda et al, 1999].

Estos estudios revelaron la estrecha relación entre la optimización de procesos y la infraestructura construida, y presentan un sistema de análisis que podría vincularse a modelos tridimensionales para estudiar la ocupación de los espacios. Por esto, con el fin de explorar un método para representar actividades en diseño arquitectónico, específicamente aplicada en unidades de la emergencia de hospitales, propusimos vincular un sistema de realidad virtual y un programa de simulación de procesos. Aprovechando las capacidades de representación espacial de los modelos virtuales y el análisis probabilístico de los programas de simulación para investigar nuevas posibilidades profesionales, especialmente en el diseño y administración de establecimientos hospitalarios.

Por otro lado, en esta investigación también permitirá desarrollar una implementación computacional para simular en tres dimensiones el comportamiento de establecimientos, específicamente de una unidad de emergencia hospitalaria. El modelo lógico que maneja variables como el tiempo y funciones de distribución, es implementado principalmente en un software de simulación alimentado con datos reales obtenidos de centros hospitalarios de la región. Con este software se generan los datos de la simulación (como eventos y probabilidades) y luego estos datos son exportados a una aplicación virtual que presenta en 3D el desarrollo de la situación resultante.

La modelación tridimensional debe recrear la planta de distribución de la unidad reconociendo equipamiento y terminaciones constructivas, e incorporar los tipos de personajes involucrados (pacientes, personal médico, vehículos y mobiliario). Con la ayuda de la simulación computacional, se pretende evaluar la evolución de los procesos (como atención de pacientes y tiempo de espera), la infraestructura, y ocupación de los espacios, desembocando posteriormente en una posible rediseño arquitectónico y mejoramiento funcional de la unidad de emergencia. En este modelo, se pueden realizar visualizaciones animadas inmersivas que permitan revisar

la realidad y el funcionamiento de la unidad de emergencia durante el tiempo, como un observador, ya sea independiente o como paciente, o miembro del personal médico.

## 4 Implementación.

Los software utilizados a la fecha son Arena 4.0 (de Systems Modelling Corp.) para la simulación de procesos y Virtual Reality Toolkit 5.6 (de Superscape Inc.) para la programación y modelación virtual. Actualmente se está desarrollando la modelación virtual en 3D-Studio Max 4.3 y CharacterStudio 2.1 (ambos de Autodesk Inc.) con exportación a VRML, para mejorar la calidad gráfica. Para las visualizaciones iniciales se utilizaron gafas Sony Glasstron LDI-100 y rastreador Intertrax20 de Intersense, que permiten recorrer los modelos percibiendo la espacialidad interior y el movimiento de los objetos virtuales. La integración de los programas está siendo probada en varios casos de unidades de la emergencia de complejidad creciente. Primero, se elaboró un modelo virtual basado en un ejemplo disponible en el software de la simulación. Actualmente se está desarrollando el análisis de unidades de emergencia en tres hospitales de la región, con el fin de sugerir mejoramientos para sus procesos e instalaciones de urgencia. Comenzando con el Hospital del Trabajador de Concepción (dependiente de la Asociación Chilena de Seguridad), cuya Unidad de Emergencia atiende aprox. 20.000 pacientes anuales. En todos estos casos, se aplican ambos software intercambiando datos a través de un proceso de análisis e integración general (figura 1) destinado a estudiar la situación de un servicio y buscar mejores características arquitectónicas y operacionales. Basado en criterios específicos que pretenden apoyar tanto las remodelaciones, como el diseño de nuevos recintos de emergencias. Ambos requerimientos están relacionados en la administración de establecimientos de salud, debido a que para los nuevos establecimientos es útil analizar la experiencia acumulada por unidades vigentes, y para la modificación de instalaciones, es valioso considerar soluciones ideales. Así, se contempla en general el estudio de un servicio existente y la revisión de distintas alternativas de mejoramiento.

El método propuesto comienza recolectando información de una unidad de emergencia actual (denominada "caso real"). Para esta tarea es necesario previamente definir los límites del estudio, según la organización administrativa, procedimientos médicos o recintos involucrados, porque normalmente el servicio se integra en una instalación mayor (el hospital). Además, se requiere identificar las principales expectativas o problemas de la unidad, concentrando el análisis en estos aspectos. La información se obtiene de los administradores del establecimiento, personal encargado y archivos históricos (específicamente del "libro de urgencias"), pero también de encuestas en terreno en algunos periodos, verificando y completando los datos pertinentes. Se requieren cuatro tipos de información; para la simulación se deben determinar los procedimientos que se llevan a cabo para los distintas clases de pacientes y la cuantificación de los servicios realizados en el tiempo (procesados en un paquete estadístico). Para el modelo virtual se necesita la planta de distribución de la unidad (normalmente elaborado en un software CAD), reconociendo el equipamiento y terminaciones constructivas, y también los tipos de personas involucradas (pacientes y personal, denominados "personajes"), ambos tipos de datos se usan también mas someramente en la simulación.

En el software de simulación se construye un mapa de los procesos (revisado con el personal de unidad), y la estadística recolectada se introduce en módulos de datos relacionados a las tareas. El mapa es distribuido en un planta de la instalación (importada en formato DXF) y los datos específicos son asociados a imágenes de personas, vehículos y documentos. Después de definir parámetros generales de simulación, se puede ejecutar la simulación para diferentes periodos de tiempo. Los primeros resultados estadísticos se usan para comprobación con los datos recolectados al mismo periodo de tiempo. Esta correlación es útil para ajustar la lógica y parámetros de la simulación hasta obtener un 5mismo periodo. Para la coordinación con el modelo virtual se requiere introducir un contador de tiempo en ciertos pasos de la simulación, y producir informes de eventos relacionados a un calendario.

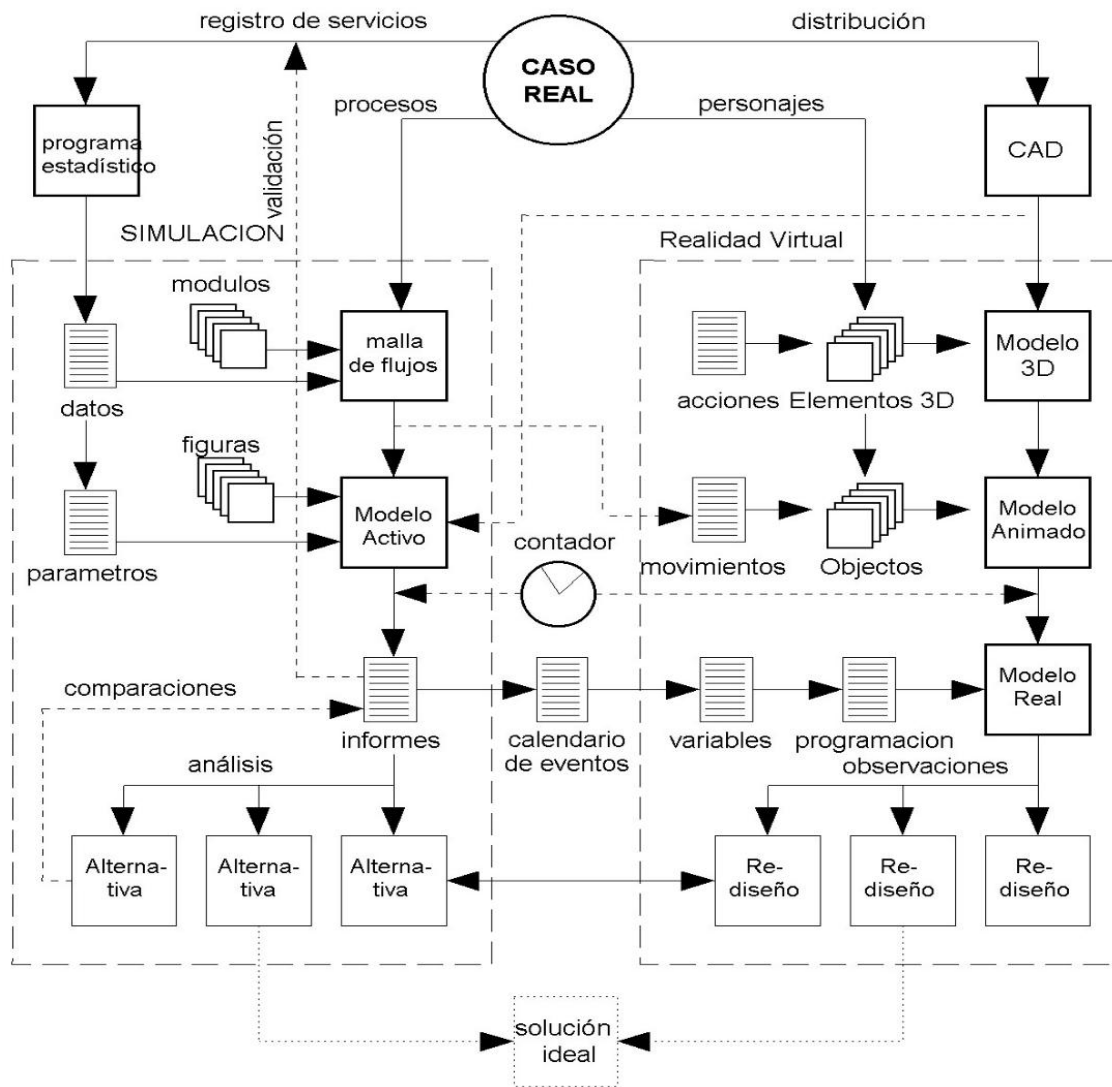


Figure 1: Integración de ambos software para el intercambio de datos

Por otro lado, la planta y detalles constructivos de la unidad sirven para construir un modelo 3D de la unidad, normalmente basado en elementos anteriores (paredes, ventanas, mobiliario). También los personajes se seleccionan de una biblioteca de formas 3D de humanos, adaptada para representar diferentes tipos de pacientes y personal. Algunos de ellos, incluso vehículos o máquinas, poseen movimientos programados que otorgan un comportamiento mas realista. Basado en los funcionamientos estudiados en la simulación se definen los desplazamientos de los personajes en el modelo virtual y se programa cada forma con órdenes

vectoriales (para movimientos relativos), de acuerdo a una secuencia lógica básica mostrada en la figura 2. Una primera prueba del modelo es introducir las formas en una frecuencia regular. Esta programación consigue un modelo animado de la unidad y permite verificar la exactitud de desplazamientos y colisiones entre los objetos. Después de un refinamiento, se programa el desarrollo general del modelo, se relaciona algunos objetos entre ellos y se definen variables externas para introducir los personajes y definir detenciones en los desplazamientos. El calendario de eventos recibido del software de la simulación (después de un procesado como archivo del texto) se usa como datos de la entrada para las variables del modelo virtual. Este proceso permite tener un modelo virtual con una conducta similar al caso real (llamado "modelo real").

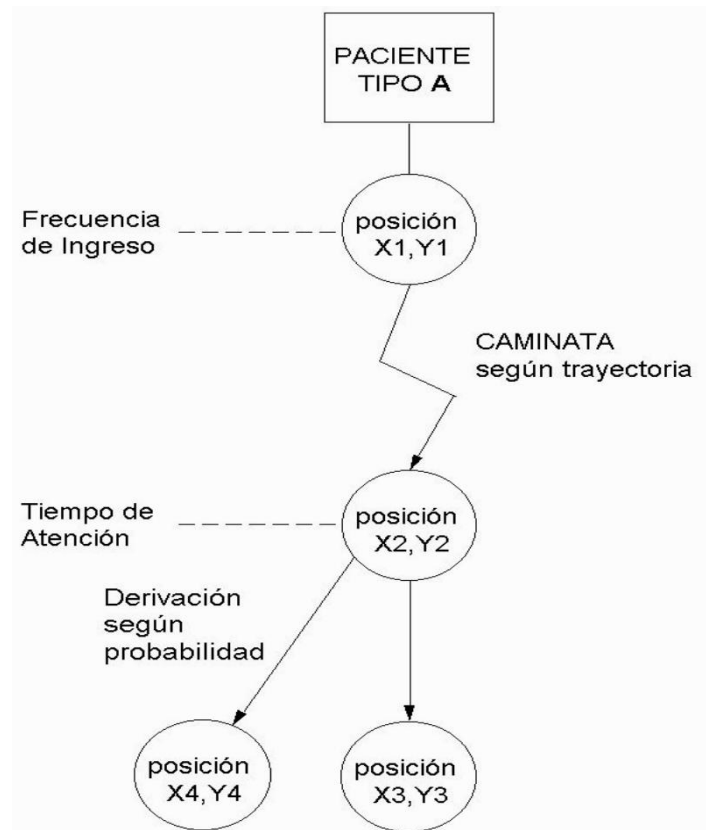


Figure 2: Secuencia lógica básica de movimiento.

En ese modelo, se pueden realizar animaciones o visualizaciones inmersivas para revisar la situación de la unidad durante el desarrollo del tiempo, como un observador independiente o desde el punto de vista de uno de los pacientes o miembros del personal. Además la simulación de procesos puede informar los resultados en diferentes periodos. Ambos análisis pueden sugerir nuevas alternativas de funcionamientos o diseños del edificio. Algunas alternativas pueden involucrar sólo cambios de características constructivas, como las ventanas más anchas para tener mejor iluminación o vistas, y otros sólo están relacionados a las condiciones funcionales, como los turnos del personal. Pero algunas mejoras operativas pueden producir los cambios de diseño, como sugerir un nuevo recinto, o modificaciones arquitectónicas generan modificaciones

de los servicios. Finalmente, se produce un estudio reiterativo entre ambos sistemas y comparaciones con la situación original, para arribar a mejores soluciones de operación y edificación (idealmente una solución común).

Para la integración es pertinente el intercambio de datos de la simulación al modelado virtual en un horario sincronizado. En ambos software se debe usar una "escala de tiempo", una relación entre el tiempo real y tiempo de simulación, por ejemplo un minuto en la computadora es un día en la simulación o el modelo virtual. La exportación de datos puede automatizarse para tener ambos modelos que operen secuencialmente (acabando un periodo de simulación, alimentar los comportamientos en el modelado virtual). A lo menos, en el caso de Arena y VRT no puede ser simultáneamente, porque la simulación es procesada por eventos (más rápido cuando no hay acciones) y el modelo virtual es procesado por el reloj de computadora.

Los datos son exportados desde Arena a la aplicación en VRT. Esto consiste en un archivo de texto con valores numéricos que representan una muestra de la simulación dentro de un intervalo de tiempo. Esto consiste de un conjunto de eventos (como llegada y atención de pacientes) cada uno con su instante de tiempo de ocurrencia. La aplicación de RV importa estos datos para activar los objetos del mundo virtual ilustrando en 3D la simulación completa.

## 5 Conclusiones.

Actualmente se ha completado el modelo virtual de la unidad de emergencia de ejemplo y estamos desarrollando los casos reales. En la figura 3 se puede observar la simulación de procesos de la unidad de ejemplo, y en la figura 4 una vista interior del modelo virtual con el movimiento de personas controlado por los comportamientos de la simulación. Como una prueba del método, realizamos un ejercicio de re-diseño con estudiantes de cuarto año de arquitectura. Estos recorrieron rápidamente el modelo virtual animado, pero fue necesario explicarles las actividades y apoyarlos en la visualización computacional. Luego discutieron las observaciones arquitectónicas al modelo de la unidad y definieron una mejor organización espacial del servicio de emergencia, elaborando un nuevo modelo virtual. En este modelo, se organizaron los recintos por sectores para evitar las circulaciones cruzadas entre pacientes, acompañantes y funcionarios médicos, controlaron las relaciones visuales entre las distintas funciones y la cama de urgencia se ubicó más cerca del ingreso, además de ofrecer vistas exteriores y definir recintos mas regulares. Esta organización también se analizó en la simulación de procesos obteniendo ciertas disminuciones en el tiempo de los servicios (fundamentalmente por las menores distancias utilizadas).

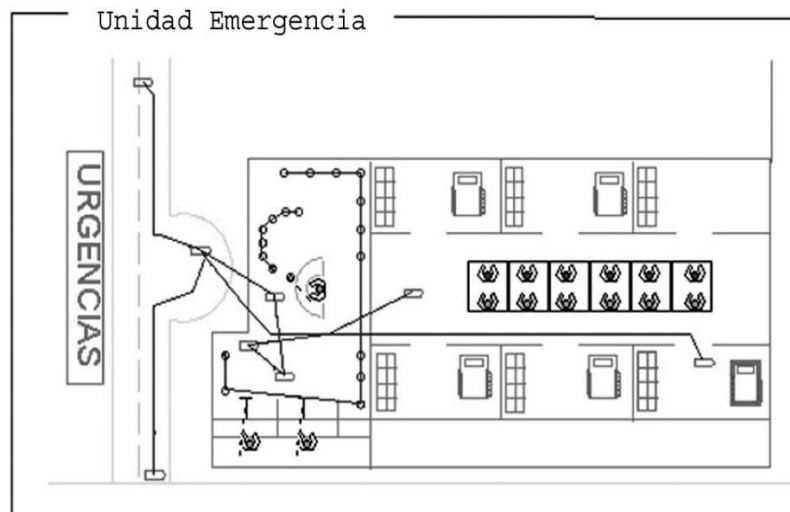


Figure 3: Modelo de simulación de procesos de la unidad.

Cabe mencionar que no hay procedimientos claros para evaluar los funcionamientos y su espacialidad, sólo existe concordancia en algunos criterios básicos, como reducir el tiempo en los procesos u orientarse dentro de los edificios. Por esto la generación de alternativas está basada fundamentalmente en la experiencia de profesionales y la discusión con los administradores hospitalarios. Por otro lado, las principales dificultades técnicas fueron los frecuentes errores de visualización gráfica (por ejemplo, desaparición o sobreposición de objetos lejanos sobre los cercanos) por ordenamiento inadecuado de las formas. No se pueden aplicar estrategias de optimización de ordenamientos (denominados "sorting") que permiten habitualmente los programas de modelación virtual, debido a los movimientos imprevisibles de los personajes y la posición dinámica de observador. Aunque este problema no altera el análisis, perturba las observaciones y deteriora la percepción espacial.

Se debe dejar en claro que este trabajo presenta sólo resultados preliminares que sugieren posibilidades de realizar mejoras en el diseño de la unidad de emergencia del Hospital del Trabajador, con el fin de mejorar los tiempos de atención de los pacientes, la redistribución de sus diferentes secciones y el mejoramiento de sus actividades. El trabajo se considerará terminado una vez que se completen los modelos de las unidades de emergencia de los Hospitales Naval de Talcahuano y Regional de Concepción para probar finalmente la efectividad de esta metodología, aunque los resultados parciales obtenidos hasta el momento muestran que este método es adecuado para realizar este tipo de estudio.

Las estadísticas obtenidas desde los registros del Hospital del trabajador respaldan los resultados obtenidos hasta el momento, las cuales han sido probadas y analizadas con el software de simulación Arena. Esta información estadística maneja las probabilidades de ocurrencia de ciertas tareas (como el ingreso de pacientes) y



las secuencias eventuales (tratamientos o complicaciones derivadas), así como la duración de las actividades y desplazamientos.

Se debe destacar como aporte en este trabajo el desarrollo de la metodología propuesta, que representa un avance importante en diseño arquitectónico y que permite analizar los comportamientos dinámicos de las actividades de una unidad de emergencia.



Figure 4: Vista interior del mundo virtual.

La experiencia llevada a cabo hasta ahora demuestra la posibilidad de integrar software de realidad virtual y de simulación de procesos para el análisis de actividades en unidades de emergencia hospitalaria, utilizando una metodología factible de aplicar en otras situaciones similares.

Futuros desarrollos de la investigación podrían dirigirse a elaborar una interfaz para manejar el método de integración y abrir el campo de aplicación, estableciendo las variables y bibliotecas de objetos a utilizar. Además, es conveniente analizar extensamente la conceptualización e implementación computacional mas adecuada para este tipo de aplicaciones, estudiando casos en diferentes áreas.

Por otro lado, las formas de visualización en una simulación, generalmente son mas efectivas cuando se emplea interfaz gráfica donde se utilizan objetos y movimientos tridimensionales. De esta forma se puede cumplir a cabalidad el objetivo de tener una mejor visualización y evaluación del comportamiento del modelo en estudio, y lograr manejar situaciones y problemas de una forma mas integral y cómoda.

## 6 Referencias Bibliográficas.

Badler, Norman, Phillips, Cary, y Webber, Bonnie; "Simulating Humans, Computer Graphics, and Control", Oxford University Press, 1992.

Ekholm, A.; "Activity objects in CAD-programs for building design", en "CAAD-Futures 2001", Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 2001.

Law A.M. and Kelton W.D., "Simulation Modeling and Analysis", McGraw-Hill, New York, 2000.

MINSAL, "Guía de Planificación y Diseño de Unidades de Emergencia Hospitalaria", División de Inversiones y Desarrollo del Ministerio de Salud, Santiago, Chile, 1997.

Roehl, B.; "Some Thoughts on Behavior in VR Systems", in <http://ece.uwaterloo.ca/~broehl/behav.html>

Sepúlveda, J., Baesler, F. y Thompson, W., "The Use Of Simulation For Process Improvement In An Emergency Department", en "Proceedings of The 2000 International Conference on Industry, Engineering, and Management Systems", Florida, USA, 2000.

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

Stansfield, Susan; "MediSim: A Prototype VR System for Training Medical First Responders", en Proceedings of the 1998 IEEE Virtual Reality Annual International Symposium, 1998.

Ulicny, B. y Thalmann D.; "Crowd simulation for interactive virtual environments and VR training systems", en "Proc. Eurographics Workshop on Animation and Simulation'01", Ed. Springer-Verlag, 2001.