



## MODELACIÓN DE ACTIVIDADES

Rodrigo García Alvarado, Felipe Baesler Abufarde,  
Pedro Rodríguez Moreno, Mauricio Pezo Bravo

Depto. de Diseño y Teoría de la Arquitectura, Universidad del Bío-Bío.

rgarcia@ubiobio.cl  
fbaesler@ubiobio.cl  
prodrigu@ubiobio.cl  
m\_pezo@yahoo.es

### Resumen

A pesar del creciente interés en la funcionalidad y humanización de la arquitectura, escasamente se estudia la ocupación de los edificios y se carece de métodos de representación espacial de las actividades. Por esta razón se plantea un sistema que integra software de simulación de procesos y modelación virtual, para programar el comportamiento de personajes tridimensionales según la evolución probabilística de los eventos, lo que se está experimentando en el estudio de unidades de emergencia hospitalaria. Se presenta el procedimiento desarrollado y reflexiones sobre la representación temporal, demostrando que la modelación de actividades permite sugerir mejoramientos funcionales y espaciales.

### Abstract

*Despite increasing interest in the functionality and humanization of architecture, scarcely the occupation of buildings are studied and it lacks methods to represent activities in the spaces. By this reason, it proposes a system such integrates simulation of processes and virtual modeling software, to program the behavior of tri-dimensional characters based on the probabilistic evolution of events, testing this approach in the study of emergency services of hospitals. It describes the procedure developed and reflections about temporal representation, demonstrating that modeling of activities allows to suggest functional and spatial improvements.*

### 1. Antecedentes

Aunque el trabajo arquitectónico se suele concentrar en las formas construidas, se reconoce que el acontecer del hombre en los espacios es lo que da sentido a la arquitectura (Norberg-Schultz, 1975). Mientras los medios profesionales (y muchas veces la enseñanza) se dedican a debatir estilos formales, el público general exige solo una adecuada funcionalidad y una arquitectura "mas humana". Esta contradicción se puede deber a que los sistemas proyectuales manejan básicamente composiciones estáticas, y difícilmente se pueden situar en el punto de vista del usuario y entender la ocupación de los espacios en el tiempo.

La capacidad de albergar actividades ha sido considerada históricamente una condición esencial de los edificios (Perez et al., 1999). Aunque en general la utilidad de los espacios ha estado relacionada a valores estéticos y sólo recientemente restringido a condiciones operativas (De Zurko; 1958). La arquitectura moderna enfatizó precisamente el funcionalismo para fundamentar un cambio radical de los conceptos edificados, pero mas con un afán rupturista y algunos criterios higiénicos o de racionalización constructiva, que proponiendo nuevos métodos de trabajo (Tzonis, 1979). Le Corbusier sugería mover elementos gráficos sobre los planos para estudiar el funcionamiento de las obras y analizar recorridos interiores, sin embargo no formuló procedimientos específicos al respecto (Le Corbusier, 1957). Posteriormente Bernard Tschumi destacó la estrecha relación entre los espacios y las actividades, proponiendo una representación secuencial que expresó en la composición de sus proyectos (Tschumi, 1996). En la actualidad algunos arquitectos contemporáneos (Lynn, 1999 y Van Berkel y Bos, 1999) han utilizado modelos animados de las actividades para plantear innovadoras propuestas de diseño, aunque sin revelar los sistemas utilizados.

Paralelamente se han desarrollado métodos de organización de procesos (como las cartas gantt y las mallas de actividades), pero son descripciones abstractas desvinculadas con la distribución espacial. Estos sistemas se han implementado en programas computacionales, que recientemente han incorporado antecedentes estadísticos que permiten simular el desarrollo probabilístico de los procesos y generar animaciones esquemáticas (Law y Kelton; 2000).

Por otro lado en los comienzos de computación gráfica se propusieron algunos métodos de acomodación de recintos (*space allocation*) basados en relaciones funcionales, pero no tuvieron una difusión relevante. Luego con el desarrollo de la modelación tridimensional se alcanzó una representación detallada de cuerpos humanos y sus movimientos en el espacio (Badler et al., 1992), y definición de cinemáticas para caminar y cambiar posturas (sentarse, recostarse, etc). Programando comportamientos que pueden ser reacciones entre elementos virtuales o acciones variables según datos externos (Roehl, 1998).

Esto ha permitido por ejemplo desarrollar una aplicación que reproduce situaciones de emergencia en el campo de batalla (Stanfield; 1998), la cual demostró una adecuada representación de la actividad pero sin involucrar el entorno. Así mismo se ha definido el comportamiento de agrupaciones de personajes virtuales controlados por formulas matemáticas de flujos, dinámica de partículas o autómatas celulares, especialmente para estudiar evacuaciones de locales (Ruvolo, 2000 y Helbing, 2000). También se han desarrollado sistemas de análisis de circulación en edificios (Koutamanis; 2001), aunque sin una representación espacial. Otros trabajos han logrado relevante posibilidades de animación de



personas en espacios tridimensionales al separar el procesamiento lógico de la visualización (Ulciny y Thalman; 2001) o al utilizar optimizaciones gráficas (Tecchia; 2001). A su vez, un trabajo reciente (Ekholm, 2001) plantea una programa complementario a un CAD para incorporar modelación de actividades en el diseño de edificios, estableciendo una detallada descripción de las funciones, aunque no incorpora su desarrollo en el tiempo. En síntesis, existen diversas capacidades computacionales que podrían ser aplicadas para estudiar mas cabalmente la ocupación de los espacios arquitectónicos.

## 2. Desarrollo

Con el fin de elaborar un método para representar espacialmente las actividades, se planteó básicamente integrar programas de simulación de procesos y modelación virtual. Probando esta aproximación en el estudio de unidades de emergencia hospitalaria, debido a que estos servicios exigen una configuración estrictamente ajustada a la urgencia de sus funciones (MINSAL, 1999), lo que ha producido en general espacios indiferentes y homogéneos. Primero se desarrolló la modelación virtual de una unidad existente en el software de simulación, y luego se realizó el estudio completo de la unidad correspondiente al Hospital de Trabajador de Concepción, que atiende aprox. 20.000 pacientes al año. Actualmente se están analizando los servicios de otros dos hospitales públicos de la región con el fin de abarcar una muestra mayor, estudiando además sus posibilidades arquitectónicas. En la implementación computacional se han utilizado los programas *Arena 4.0* para simulación, *VRT 5.6* y *3D-Studio Max 4.3* con *Character Studio 3.1* para modelación virtual.

El procedimiento comienza con visitas y entrevistas que permiten identificar, de acuerdo a la delimitación de funciones del establecimiento, los servicios específicos que se realizan en la unidad y su demanda en el tiempo. Estableciendo las secuencias y recursos utilizados (personal, equipos y recintos), con los turnos u organizaciones horarias respectivas. Se recopilan registros históricos (en este caso el "libro de urgencias") que permiten indagar la distribución porcentual de pacientes, frecuencias y duraciones de los tratamientos, además de las derivaciones entre servicios. También se realizan algunas observaciones particulares para los aspectos no registrados, como recorridos, modos de utilización de recintos y horarios, acompañantes por paciente, visitantes ocasionales, actitudes corporales, etc. Posteriormente se construyen modelos lógicos en el programa de simulación que reproducen los procesos principales y sus relaciones, además de la ocupación de recursos. Las frecuencias y duraciones son analizadas estadísticamente para determinar expresiones matemáticas que las representen, las cuales deben ser comprobadas en el registro histórico y posteriormente ingresadas en la simulación. Luego se procesa la simulación, obteniendo resultados probabilísticos preliminares que son verificados en periodos reales, ajustando la lógica y expresiones estadísticas hasta alcanzar una desviación menor al 5% con respecto al comportamiento efectivo de la unidad.

Paralelamente se realiza un levantamiento planimétrico y toma de fotografías digitales, para elaborar un modelo virtual con elementos y mobiliarios de librerías y terminaciones constructivas similares a las existentes. Luego se recurre a un archivo de personajes tridimensionales (mallas geométricas), para representar el personal, tipología de pacientes y acompañantes definidos en el estudio previo. Incorporando cinemáticas de movimiento (bípedos) en los personajes que presentan un desplazamiento espacial relevante. Después se generan secuencias de caminatas y

posturas de estos personajes según los recorridos estudiados, grabándolas en archivos externos (STP).

En la simulación se importa una planta de la unidad y se asignan elementos gráficos vinculados a las personas, además de trazados de circulación y módulos de espera en algunos recintos. También se coloca un contador de tiempo general y resultados estadísticos, generando una animación bi-dimensional de la simulación, que reproduce esquemáticamente los movimientos en planta.

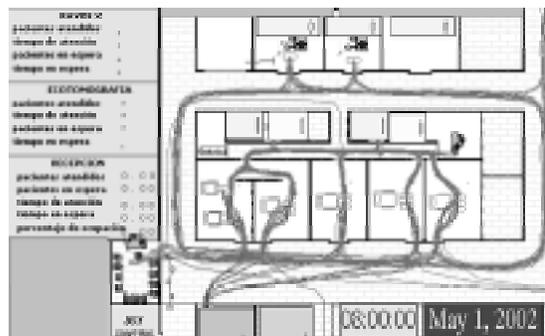


Fig 1 - Simulación de la Unidad de Emergencia del Hospital del Trabajador.

Esto permite realizar un análisis general de la unidad, por ejemplo en el caso del Hospital del Trabajador se identificó la sub-utilización de personal y boxes de tratamiento, tiempos de espera prolongados, cruce y extensión de algunas circulaciones, etc. Luego se seleccionan algunos momentos representativos o especiales (por ejemplo accidentes masivos) y se colocan contadores especiales que registran estados de recursos según un calendario de tiempo, que se exporta como archivo de datos.

En la modelación virtual de la unidad, se crea una programación general con variables para los tipos de personajes y frecuencias de ingreso, y una relación proporcional del tiempo. Además los personajes cinemáticos poseen una programación individual convocando los registros de caminatas y posturas, variables de duración y detección de colisiones. Personajes sin movimientos relevantes son posicionados directamente. Luego se instalan cámaras fijas en algunos puntos de vista panorámicos y cámaras asociadas a protagonistas relevantes. Al ejecutar la programación se alimentan las variables con el archivo exportado de la simulación y se genera la animación de personajes. Posteriormente se producen las visualizaciones animadas, que pueden ser continuas para las cámaras asociadas a un personaje o compuestas para las cámaras panorámicas en que se sigue externamente las actividades (Fig. 2). Además se puede producir un modelo interactivo (en VRML) en el cual se puede analizar el comportamiento de los personajes desde los mismos puntos de vistas, pero con recorridos libres por los espacios. En un navegador (browser) con control externo, se pueden utilizar gafas de realidad virtual, configurando el rastreador de orientación para controlar el movimiento y otorgar una percepción inmersiva del acontecer en los espacios.

Estas presentaciones permiten evaluar el desarrollo espacial de las actividades en momentos seleccionados. Por ejemplo en los primeros casos se identificaron recorridos complejos y relaciones espaciales limitadas. Motivando la formulación de re-diseños arquitectónicos con organizaciones espaciales mas centralizadas y abiertas, que generan trayectorias breves y vinculaciones internas. Estos re-diseños pueden a su vez ser estudiados en la



simulación de procesos para determinar sus impactos funcionales, y representar en la modelación virtual optimizaciones o incrementos de servicios analizados en la simulación, alcanzando alternativas que involucran simultáneamente mejoramientos arquitectónicos y operativos.

### 3. Reflexiones

La investigación realizada hasta la fecha ha permitido explorar una estrategia de modelación de actividades en espacios arquitectónicos, que sugiere contribuciones en la operación y diseño de edificios. Planteando una representación basada en el comportamiento probabilístico

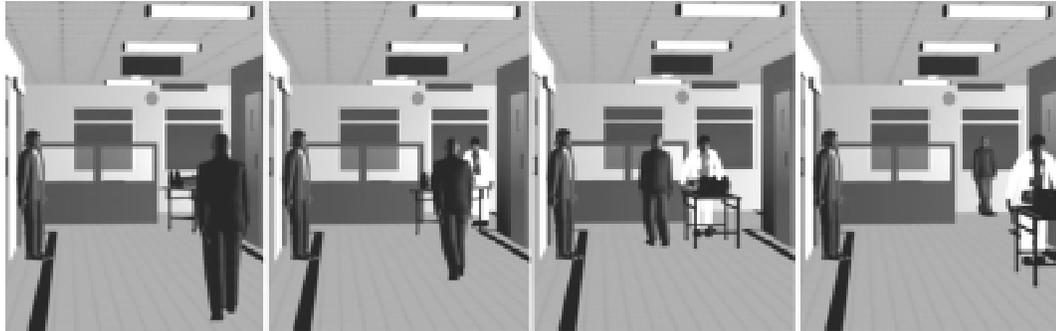


Fig 2 - Secuencia de Vistas del Pasillo de Boxes de 8:30 a 8:31 hrs.

de personajes virtuales, con visualizaciones panorámicas, personales o interactivas. También ha permitido estudiar la situación funcional y espacial de las unidades de emergencia hospitalaria. Sin embargo se deben completar las experiencias para desarrollar completamente el método y validar su efectividad. Elaborando un proceso automático de transferencia de datos y sincronización de los modelos, y analizando las alternativas de mejoramiento. Para un trabajo futuro se propone acomodar comportamientos de unidades existentes en nuevos diseños y desarrollar una programación interactiva de personajes.

Por otro lado, la experiencia revela algunos aspectos conceptuales de la representación. Por ejemplo, el método propuesto reconoce fundamentalmente los protagonistas de las actividades, identificando su diversidad y evolución en los espacios, mientras los procesos de análisis convencional y la proyectación arquitectónica, están basados en acciones repetitivas en el tiempo, que se interpretan de manera permanente como recintos en los edificios. Esta diferencia permite una comprensión mas personalizada de la ocupación de los espacios y su desarrollo corporal, lo que podría ser expresado en nuevas configuraciones arquitectónicas. Las trayectorias de circulación constituye una acción particular de los protagonistas, que en el análisis y la proyectación se reconocen como flujos generales (como pasillos o relaciones terminales), y en este método se intenta caracterizar su transcurso en el tiempo.

Otro aspecto relevante es la definición de relaciones proporcionales entre el tiempo real de los acontecimientos y el tiempo representado en la modelación de la actividad, lo que se puede entender como escalas de tiempo. De partida, la simulación debe alcanzar un "estado de régimen" en que el comportamiento probabilístico se aproxime a las variaciones históricas y en este caso la comprobación debe alcanzar varios años para representar las fluctuaciones estacionales. Analizarlo en una jornada de trabajo requiere una escala aprox. de 1:10.000 (en una hora de simulación transcurren diez mil horas reales, es decir poco mas de un año), lo cual solo puede operar numéricamente, debido a que la representación animada posee un límite óptico de percepción de

movimiento (dos o tres veces el ángulo visual por la fracción de tiempo de persistencia retiniana que corresponde a 1/30 de segundo, si el objeto cambia de posición mas rápidamente sólo se advierte una mancha o localizaciones extremas). Esto equivale en una distancia normal de visualización de un plano o pantalla de computadora (a 50 cm. del ojo) de velocidades de máximo 10 cm/seg. para un elemento gráfico de un milímetro. En una planta 1:1000 la figura humana podría ser visible en movimiento en relaciones de tiempo max. 1:100 (en una hora analizar 4 días de operación), lo cual se reduce progresivamente en escalas gráficas mas pequeñas (para una planta 1:100 se pueden utilizar tiempos de hasta 1:25) y en vistas interiores, que representan gráficas aprox. de 1:50 se puede llegar a relaciones máximas de 1:10 (en que se requieren dos horas para estudiar un día). Además los procedimientos cinemáticos tienen limitaciones de procesamiento geométrico que permiten aceleraciones solo hasta 1:5 (en "cámara rápida") y los periodos de concentración visual alcanzan algunos minutos, por tanto estas visualizaciones pueden desarrollar solamente periodos de menos de una hora con escalas de tiempo breves y discontinuas (mayores en poses estáticas y menores en caminatas). Estas presentaciones realistas y fragmentarias evidentemente son expresiones selectivas y no sintetizan el proceso de una manera permanente, pero permiten entender precisamente el desarrollo específico de la acción.

Es importante considerar que el diseño arquitectónico esta basado en la escala gráfica de los edificios, que origina y sustenta la capacidad proyectual. La representación en escalas de tiempo es una nueva posibilidad de análisis que involucra aproximaciones diferentes, por ejemplo los medios narrativos, como la literatura y el cine, utilizan escalas que son de aprox. 1:50 a 1:100 en total (en una película de un par de horas suelen transcurrir algunos días), aunque con una sucesión de fragmentos 1:1 y no una reducción proporcional. Por esta razón la modelación de actividades en el tiempo requiere formulaciones condicionadas por los eventos, que revelan la disparidad fundamental entre la variación temporal y la permanencia inmutable de los espacios arquitectónicos. Greg Lynn plantea reconocer esta relación en las inflexiones de las formas que dirigen el movimiento en las superficies (Lynn, 99). Sugiriendo



la utilización de curvas o mallas paramétricas (splines) que al estar definidas por puntos de control e iteraciones sucesivas permiten reconocer modificaciones en el tiempo. Por ejemplo lo que se ha identificado en esta experiencia como probabilidades de comportamiento; la ocurrencia y derivación de actividades según distintos protagonistas.

Las evaluaciones preliminares de la investigación reflejan precisamente una reformulación arquitectónica basadas en la orientación y movilidad de los espacios, que pretende aliviar la angustia de la emergencia hospitalaria y flexibilizar sus servicios. A partir de una reducción de distancias y ángulos de circulación, y generando una diferenciación e incremento de relaciones espaciales (particularmente en el centro y periferia visual). Lo cual redefine la funcionalidad de los espacios, lejos de la homogeneidad constructiva, en una articulación significativa de las estructuras edificadas. De este modo, la experiencia sugiere relaciones entre las posibilidades de representación temporal y configuraciones arquitectónicas que sean a la vez más eficientes y humanizadas.

Esta investigación es financiada por los proyectos DIPRODE 011402-2 y FONDECYT 1020578.

#### 4. Referencias

- Norberg-Schultz, C. (1975), "Existencia, Espacio y Arquitectura", Ed. Blume, Barcelona (trad.).
- Pérez, F.; Aravena, A. y Quintanilla, J. (1999); "Los Hechos de la Arquitectura", Ed. ARQ, Santiago.
- De Zurko (1958); "La Teoría del Funcionalismo en Arquitectura", Ed. Nueva Visión, Buenos Aires (trad.).
- Tzonis, A. (1979); "Hacia un Ambiente No Opresivo", Ed. Eudeba, Buenos Aires (trad.).
- Le Corbusier (1957), "Mensaje a los Estudiantes de Arquitectura", Ed. Infinito, Buenos Aires, 2001 (trad. cast. de "Entretien avec les étudiants des Ecoles d'Architecture", Paris, 1957).
- Tschumi, B. (1996), "Architecture and Disjunction", The MIT Press, Cambridge Ma.
- Lynn, G. (1999), "Animate Form", Princeton Architectural Press, New York.
- Van Berkel, B. y Bos, C. (1999), "Move", Un Studio Publisher, Amsterdam.
- Law A.M. y Kelton W.D. (2000), "Simulation Modeling and Analisis", McGraw-Hill, New York.
- Badler, N., Phillips, C., y Webber, B. (1992); "Simulating Humans, Computer Graphics, and Control", Oxford University Press.
- Roehl, B. (1998); "Some Thoughts on Behavior in VR Systems", in <http://ece.uwaterloo.ca/~broehl/behav.html>
- Stansfield, S. (1998); "MediSim: A Prototype VR System for Training Medical First Responders", en Proceedings of the 1998 IEEE Virtual Reality Annual International Symposium.
- Ruvolo, M. y Wong, C.M (2000); "Modeling Crow Flow after Fluid Flow: the application of partial differential equations to social situations", Paper 23 May 2000.
- Helbing, D.; Farkas, I. y Vicsek, T. (2000); "Simulating Dynamical Features of Escape Panic", Nature 407, 487 – 490, Macmillan Publishers Ltd.
- Koutamanis, A., Van Leusen, M. y Mitossi, V. (2001); "Route Analisis in Complex Buildings", en "CAAD-Futures 2001", Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- Ulicny, B. y Thalmann D. (2001); "Crowd simulation for interactive virtual environments and VR training systems", en "Proc. Eurographics Workshop on Animation and Simulation'01", Ed. Springer-Verlag.
- Tecchia, F.; Loscos, C. y Chrysanthou, Y. (2001); "Real Time Rendering of Populated Urban Environments", en Proceedings of SIGGRAPH'01,
- Ekholm, A. (2001); "Activity objects in CAD-programs for building design", en "CAAD-Futures 2001", Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- MINSAL (1999), "Guía de planificación y diseño Unidades de Emergencia Hospitalaria", División de Inversiones y Desarrollo, Ministerio de Salud, Santiago, Chile.

