



**Profesor Gustavo J. Llavneras S.**  
gustavo@posta.arq.ucv.ve  
Laboratorio de Técnicas Avanzadas en Diseño  
Facultad de Arquitectura y Urbanismo  
Universidad Central de Venezuela

## Bases para el Desarrollo de un Asistente Inteligente que Ayude a los Diseñadores con las Fenestraciones

### Resumen

Se definen las bases para el diseño de un sistema de Asistentes Inteligentes del Diseñador, así como para el desarrollo y aplicación de un agente inteligente para en el diseño, predicción y evaluación de fenestraciones. Su principal objetivo es responder a nuestra preocupación acerca de la posibilidad de la instrumentación del Paradigma de Asociación mediante el desarrollo de un Asistente Inteligente de Diseño.

Se plantea desde la dificultad para la definición de lo que es diseño, pasando por sus dos principales paradigmas, la instrumentación de estos en CAAD, definición y explicación del Paradigma de Asociación, planteado por Swerdloff y Kalay<sup>1</sup>, el enfoque de agentes, hasta el sistema de Asistentes Inteligentes de Diseño, haciendo hincapié en un Asistente para el Diseño de Fenestraciones.

Se culmina el artículo con la visión del autor acerca del futuro de la profesión de Arquitecto en un mundo de Asistentes Inteligentes de Diseño.

### Abstract

*In this paper we discuss the basis for the design of an Intelligent Design Assistants system, as for the development and application of an intelligent agent for design, predict and evaluate fenestrations. Its main goal is to answer our worries about the possibility of the implementation of the Partnership Paradigm through the development of one Intelligent Design Assistant.*

*The paper deals from the difficulties of defining what design is, through its two main Paradigms, their instrumentation in CAAD systems, definition and explanation of the Partnership Paradigm, as proposed by Swerdloff y Kalay, agents approach, to the Intelligent Design Assistants system, in special one Assistant for Designing fenestrations.*

*The paper finishes with the author's vision on what the future on the Architecture profession will be in a world of Intelligent Design Assistants.*

### Introducción

Mucho se ha discutido acerca del diseño así como del proceso que se cumple en la mente del arquitecto en el acto de diseñar: mientras J. Christopher Jones lo define como "la ejecución de un acto muy complicado de fe," (Jones, 1982) otros, como Archer, Asimov y Simon, ven al diseño como una actividad de toma de decisiones orientada a cumplir objetivos; y otros, como Alexander y Archea, lo ven como una exploración de las posibilidades producibles por algunos componentes físicos en un contexto particular; cuyo el resultado puede ser determinado sólo por el proceso exploratorio en sí (Alexander, 1964), (Archea, 1987). Esta dificultad de definir diseño y diseñar refleja las diferencias profundas en la filosofía subyacente al proceso de diseño.

### Los paradigmas actuales de diseño auxiliado por computador

#### El Paradigma de solución de problemas

Herbert Simon formuló el paradigma de solución de problemas en su libro *Las Ciencias de lo Artificial* (Simon, 1969). Según Simon, los problemas de diseño no son fundamentalmente diferentes a otro tipo de problemas intelectuales y se formulan por medio de la especificación de: a) un dominio de soluciones posibles; b) una prueba particular para distinguir las soluciones aceptables de las inaceptables; y, c) recursos disponibles para usar en la resolución del problema. Se resuelve el problema entonces por ciclos de ensayo/error de manera de hallar qué soluciones del dominio específico pasan la prueba particular.

#### El Paradigma de construcción de rompecabezas

John Archea formuló un paradigma diferente para explicar lo que el sentía que los arquitectos siempre hemos hecho. Este paradigma es conocido como **construcción de rompecabezas**, y enuncia que "los aspectos más fundamentales del diseño arquitectónico se pueden describir como un proceso de construcción de rompecabezas," (Archea, 1987) ya que el arquitecto resuelve un rompecabezas en el cual cada parte -o grupo de partes- tiene una posición satisfactoria única en relación con el conjunto completo.

## Instrumentaciones de estos paradigmas en Diseño auxiliado por Computador (CAD)

### Construcción de Rompecabezas

**Sistemas basados en Gramática de Formas (Shape-Grammar)** Estos utilizan una forma gráfica de las reglas SI...ENTONCES de manera de definir aspectos específicos de diseño relacionados con la forma. Estas reglas pueden ser luego aplicadas una vez o en forma recursiva para generar diseños de edificaciones.

**Sistemas Basados en Casos:** La experticia del diseñador es una consecuencia de su experiencia y entrenamiento, mucha de la cual se basa en exposición previa a problemas de diseño similares, o **casos**. En el razonamiento basado en casos se busca en la memoria casos similares al problema actual, se selecciona el mejor caso, que es entonces adaptado para que cumpla con el problema actual, basándonos en las diferencias identificadas entre el precedente y el caso actual. Los casos que culminan en éxito se archivan para poder ser buscados y reutilizados en el futuro. Los que terminan en fracaso también se archivan, de manera que alerten al diseñador acerca de potenciales dificultades. Una vez que se resuelve el problema, el archivo de casos se actualiza con la nueva experiencia (Sycara, 1989).

**Sistemas basados en precedentes.** Los podemos definir como “el proceso de seleccionar ideas relevantes de diseños anteriores en situaciones actuales de diseño.” (Oxman, 1993). El término *precedente de diseño* nos da una referencia conveniente para el conocimiento único que está integrado en un diseño conocido. En la exploración de ideas de diseño dentro de precedentes, los diseñadores parecen poder revisar libremente entre múltiples precedentes de manera de asociar los conocimientos y hacer conexiones relevantes entre ellos. Más aún, esta revisión permite el descubrimiento nuevos conceptos, muchas veces no anticipados, entre los precedentes.

### Resolución de Problemas

**Asignación de espacios:** Este tipo de problemas está dirigido a la generación y evaluación de problemas de distribución arquitectónica. Siguiendo el enfoque de Simon para resolver problemas de diseño utilizando técnicas de Investigación de Operaciones, algunos investigadores pudieron crear distribuciones arquitectónicas que minimizaran funciones objetivo, como el volumen de circulación entre actividades [Shaviv & Gali, 1974, Shaviv, 1987].

**Soporte al Diseño:** Los sistemas de soporte al diseño funcionan mediante el soporte al diseñador en su actividad de diseño, a través del desarrollo de técnicas que asisten al diseñador en cada una de tres operaciones altamente inter-relacionadas: a) definición de objetivos; b) producción de alternativas de diseño; y c) evaluación de los comportamientos precedidos de esas alternativas contra los objetivos definidos (Carrara, 1994).

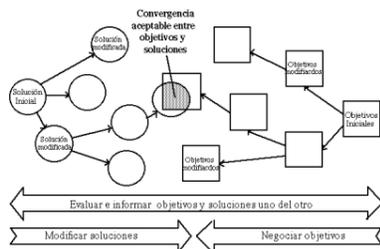


Figura 1. El diseño como una búsqueda bidireccional para una solución satisfactoria (Carrara, 1994).

Es bastante conocido que los computadores han probado ser útiles para tareas como representación gráfica y predicción de comportamiento, y han fallado en los procesos concernientes a la parte creativa del diseño, más que todo porque los arquitectos aún no sabemos de qué manera se desarrolla ese proceso en nuestras propias mentes. Así, pues, ¿por qué no dejar esta parte del proceso de diseño a los arquitectos, que han demostrado que lo pueden hacer bien, y dejar a los computadores hacer lo que ellos hacen mejor?

“Un buen enfoque práctico, luego, es dividir la labor de diseño de una manera que el diseñador humano trate las partes difíciles y *pobremente definidas*, mientras la máquina ejecuta la labor fastidiosa, trabajando automática y eficientemente con las partes fáciles y *bien definidas*.” (Mitchell, 1994)

### El paradigma de sociedad

Siguiendo el paradigma de solución de problemas, el diseñador comienza definiendo un grupo de objetivos y luego genera soluciones que los cumplen. Es extremadamente difícil para el diseñador predefinir un grupo completo de objetivos; así que comienza con un subgrupo de objetivos adaptados de normas de construcción o de su propia experiencia. De este modo, durante el proceso de diseño -considerado como “un diálogo entre objetivos y soluciones en un contexto particular”, el diseñador ejecuta una serie de “negociaciones”. Esta negociación entre los objetivos definidos y las soluciones propuestas converge a lo que Simon llama una solución satisfactoria (Figura 1).

**El Paradigma de Sociedad**, propuesto por Swerdloff y Kalay, se basa en la integración de métodos de diseño manuales y de computación en un marco de diseño generalizado donde el control sobre el proceso de diseño es asumido alternativamente por el

diseñador y el sistema de computación. Swerdloff y Kalay definen control como “escogencia de tareas de diseño a ser realizadas, iniciación de procedimientos de generación de soluciones, y requisición de evaluaciones.” (Swerdloff, 1987)

Según este paradigma, el proceso de Diseño Auxiliado por Computador se visualiza como un trabajo entre el diseñador y el computador, donde el diseñador toma el rol de Socio Principal, mientras el computador toma el rol de Socio Joven. En este enfoque, el diseñador decide cuanto trabajará en un diseño y cuáles partes hará el computador y cuándo. El trabajo de CAD no se hace como en los productos comerciales actuales -el diseñador dibuja y el computador está a cargo de la salida- en lugar de eso, ambos trabajan como socios. Este compartir del control es lo que diferencia el paradigma de sociedad de otros enfoques de diseño auxiliado por computador.

La principal ventaja de esta paradigma es que las labores de diseño son realizadas por el socio más capacitado para hacerlas: las labores de descubrimiento y juicio por el diseñador, mientras las labores repetitivas y fastidiosas por el computador. Esto hace el proceso de diseño más rápido y las soluciones de diseño más confiables.

La principal desventaja es que la alternabilidad del control, si no es instrumentada a través de una buena interfaz con el usuario, puede degradar el proceso, convirtiéndolo en episódico, como una repetición de video cuadro a cuadro; pero con las nuevas tecnologías de reconocimiento y síntesis de voz, el proceso de alternabilidad del control puede ser convertido en una interesante discusión entre el diseñador y el computador.

### Los asistentes inteligentes para el diseño agentes

Las nuevas tendencias en Computación e Inteligencia Artificial van hacia la especialización de tareas, basándose en los que han sido llamados Agentes Inteligentes: pequeñas aplicaciones específicas diseñadas para pequeñas partes del trabajo:

“Un agente es todo lo que puedes ser visualizado como que **percibe** su ambiente a través de **sensores** y actúa sobre ese ambiente a través de **efectores**.” [Russell & Norvig, 1994].

Una de las labores de la Inteligencia Artificial es diseñar programas agentes, programas que den sentido a las entradas e instrumenten la conducta del agente de percepciones a acciones. Estos programas corren en algún tipo de dispositivo computarizado, llamado *arquitectura*.

### Asistentes inteligentes de diseño (AIDs)

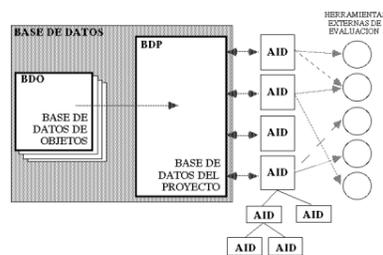


Figura 2 - El sistema de Agentes Inteligentes de Diseño.

El **Proyecto P3** (Kalay, 1999), que envuelve los **Asistentes Inteligentes de Diseño (AID)**, utiliza el enfoque de los Agentes como una manera de instrumentar asistentes para las diferentes disciplinas que comprende el proceso de diseño arquitectónico. En este sistema muchos agentes interactúan sobre dos bases de datos: una, llamada **Base de datos del Proyecto (BDP)** es para el objeto de diseño en sí, y los objetivos que el usuario planea cumplir. La segunda base de datos es de un nivel de abstracción más alto, y contiene información relacionada con objetos de nivel más alto en la cadena de herencia. Esta se llama **Base de datos de Objetos (BDO)**. Los usuarios interactúan directamente con la base de datos del proyecto generando instancias de objetos que residen en la base de datos de Objetos. Los agentes trabajan entonces sobre este proyecto como *Asistentes de Diseño Inteligentes*, usando su experticia en diferentes campos del diseño arquitectónico, como energía, comportamiento durante terremotos, y fenestración. Los agentes pueden también llamar herramientas de evaluación externas al sistema, que pueden ser utilizadas por más de un agente (Figura 2)

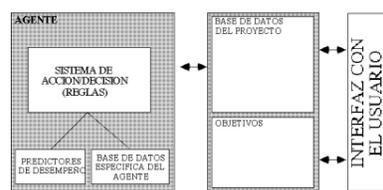


Figura 3 - Estructura de un Asistente Inteligente de Diseño (AID).

Los **Agentes** en sí son agentes basados en metas, compuestos de un sistema de Acción/Decisión que tiene integradas reglas específicas; una base de datos específica del agente, donde el agente tiene los datos específicos relacionados con su campo de conocimiento; y un grupo de predictores de comportamiento, encargados de los cálculos para la predicción del desempeño del diseño, que será utilizada para evaluarlo. (Figura 3)

### El agente de Fenestración como un AID

Como ejemplo de uno de estos agentes, se propone desarrollar un **Agente de Fenestración**, capaz de predecir y evaluar los resultados de la colocación de ventanas en un espacio dado (tomando el ámbito de edificaciones de Educación Básica), y utilizando cinco de los múltiples parámetros que pudiesen tomarse en cuenta al diseñar fenestraciones tipo ventanas: Luz diurna, Transmisión de Sonidos, Ventilación, Vistas, y Presupuesto.

El AID de Fenestración, basado en el Paradigma de Asociación, ayuda al diseñador en

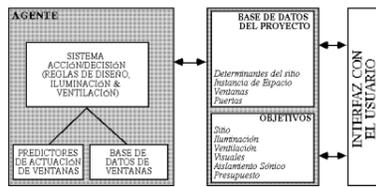


Figura 4 - AID de Fenestración.

muchas actividades concernientes al comportamiento de las ventanas. Predice (u obtiene la predicción) de los comportamientos respecto los parámetros mencionados y luego evalúa esas predicciones contra los objetivos definidos por el diseñador, dándole los resultados provenientes de esos cálculos, así como su explicación y sugerencias de cómo corregir los problemas.

## Estructura del AID de fenestración

### El AID de Fenestración tiene 5 módulos Básicos:

(Figura 4)

**Sistema de Entrada/Salida:** desarrollado sobre un GUI de manera que pueda ser amigable y de fácil uso.

**Base de Datos Específica:** Contiene los datos necesarios acerca de ventanas, de manera de poder escoger cuando sea necesario. También tiene un manejador de bases de datos, de manera de mantener y actualizar los datos.

**Predictores de desempeño:** Un grupo de submódulos para calcular los diferentes desempeños asociados a los parámetros a evaluar. También puede utilizar predictores externos, como BDA y SUPERLITE, del Lawrence Berkeley Lab.

**Sistema de Acción y Decisión:** Es el módulo central del sistema, el que "está a cargo". Tiene el conocimiento relacionado con ventanas en forma de reglas. Posee módulos para manejar los resultados de los predictores y las entradas gráficas, y la capacidad de generar evaluaciones utilizando esta información. Esta compuesto por: a) el juego de reglas a ser aplicados a los diferentes eventos que ejecuta el diseñador (instanciación, dibujo) y el resultado de esos eventos (generación de objetos, predicciones, evaluaciones); y b) los diferentes caminos a ser tomados en los diferentes casos que se puedan presentar durante el proceso de diseño.

**Manejo de objetivos y determinantes:** Hay una distinción entre éstos: mientras los determinantes son **absolutos** (deben cumplirse), los objetivos son **deseados** -se ganan más puntos mientras más cerca se esté de cumplirlos. Los objetivos se definen como valores (o rangos) donde el usuario se siente satisfecho con el desempeño del diseño. Además de definir los rangos per se, el usuario define la importancia de cada uno en relación con los demás. En lo que se refiere a determinantes, al instanciar cada objeto el sistema obtiene sus determinantes, verificando la observación de las determinantes en el momento del diseño.

**Evaluación:** Una vez hechas las predicciones, el sistema las evalúa para verificar cuán cerca están de los objetivos. Esto se hace en dos niveles: a) **absoluto**: cuán cerca está la predicción del objetivo; y b) **relativo**: cómo se comportan las predicciones de acuerdo a su peso. Con la evaluación absoluta el usuario sabe qué está sucediendo y por qué está sucediendo. Con la evaluación relativa el sistema genera el desempeño total del objeto diseñado, obteniendo el valor del grado absoluto de satisfacción para cada ítem evaluado. Este grado de satisfacción está definido por una función que es diferente para cada uno de los objetivos (Figuras 5 a 9). Luego el sistema traduce los valores absolutos a un grado global de satisfacción y multiplica estos valores por su peso. La suma de estos resultados es el desempeño global.

### Funciones de Satisfacción

**Iluminación** (Figura 5)

**Reducción de Ruido** (Figura 6)

**Ventilación** (Figura 7)

**Visuales** (Figura 8)

Para definir la evaluación global de Visuales se calcula un promedio ponderado, utilizando los valores definidos por el usuario como niveles de importancia de cada pared. Se presenta al usuario ambas evaluaciones, individual y global.

**Presupuesto** (Figura 9)

Por estar basado el sistema en el Paradigma de Asociación, en algunos casos es más rápido dejar la evaluación al usuario, de manera que este decida si se toma una acción o no, si va a relajar los objetivos o si deja la condición tal cual está. Por ejemplo, es más rápido para un humano decidir si una condición es aceptable al ver un gráfico que muestra el objetivo y la predicción de desempeño. Por otro lado, es más rápido para un computador generar ese gráfico.

Como parte de este diseño, el sistema almacenará estas evaluaciones de manera que el usuario pueda volver a cualquier solución anterior que considere mejor.

¿Cómo trabaja el AID de Fenestración?

El agente está a cargo de la evaluación del diseño -respecto a ventanas- mientras el diseñador ejecuta su trabajo. Para hacer esto, el agente lleva un registro de las diferentes etapas de diseño. Tiene su propio sistema gráfico de entrada/salida limitado, y la descripción abstracta de las acciones del diseñador se guardan en la Base de Datos del Proyecto; cuando es necesario, el Agente de Fenestración, utilizando uno o más de sus módulos, predice el comportamiento de las ventanas para ese grupo de características, luego compara estas predicciones con los objetivos dados por el usuario y da sus evaluaciones: una por cada objetivo y una evaluación general; además de dar sus sugerencias. El usuario puede luego probar con diferentes características para las ventanas hasta alcanzar un grado de felicidad satisfactorio, o hasta que se agoten las ventanas en la base de datos. En cualquier caso, el sistema pregunta al usuario si desea que se tome esa acción. El usuario toma la decisión de utilizar la solución del agente o la suya propia.

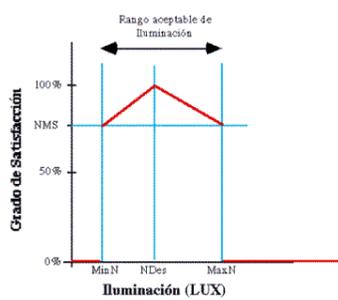


Figura 5 - Función del grado de satisfacción para Luz Diurna. **NMS** es el Nivel Mínimo de Satisfacción, **NDes** es el Nivel Deseado de Iluminación, **MinN** y **MaxN** son los Niveles Mínimo y Máximo de Iluminación.

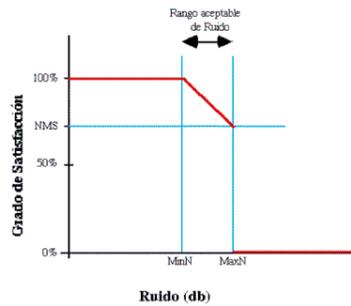


Figura 6 - Función del grado de satisfacción para Reducción de Ruido. **NMS** es el Nivel Mínimo de Satisfacción, **MinN** y **MaxN** son los Niveles Mínimo y Máximo de Ruido.

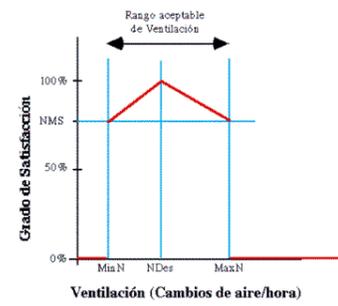


Figura 7 - Función del grado de satisfacción para Ventilación. **NMS** es el Nivel Mínimo de Satisfacción, **NDes** es el Nivel Deseado de Ventilación, **MinN** y **MaxN** son los Niveles Mínimo y Máximo de Ventilación.

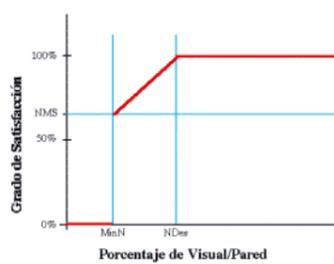


Figura 8 - Función del grado de satisfacción para Visuales. **NMS** es el Nivel Mínimo de Satisfacción, **NDes** es el Nivel Deseado de Visuales y **MinN** es el Nivel Mínimo de Visuales.

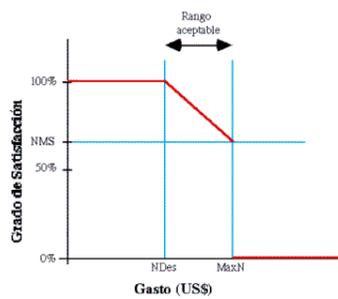


Figura 9 - Función del grado de satisfacción para Presupuesto. **NMS** es el Nivel Mínimo de Satisfacción, **NDes** es el Nivel Deseado de Visuales y **MaxN** es el Nivel Máximo de gasto.

## Nota

I Swerdlhoff, L. & Kalay, Y., **A Partnership Approach to Computer-Aided Design**, in *Computability of Design*. Kalay, Y. Ed. John Wiley & Sons, New York, 1987.

## Referencias

Alexander, C. (1964). *Notes on the Synthesis of Form*. Cambridge: Harvard University Press.

Archea, J. (1987) "Puzzle-Making: What Architects Do When No One Is Looking . (1987)", in *Computability of Design*. Kalay, Y. (ed.) New York: John Wiley & Sons.

Carrara, G., Kalay, Y. and Novembri, G. (1994) "Knowledge-Based Computational Support for Architectural Design. (1994)". In *Knowledge-based Computer-aided Architectural Design*. Carrara, G. and Kalay, Y. (eds.). New York, NY: Elsevier.

Jones, C. C. (1982). *Métodos de Diseño*. Barcelona, España: Gustavo Gili.

Kalay, Y. E. (1999). "The Future of CAAD: From Computer-Aided Design to Computer-Aided Collaboration. (1999)". In *Ira. Conferencia sobre aplicación de computadoras en Arquitectura*. Llanveras, G. and Negrón, E. (eds.), 19-28. Caracas, Venezuela: Facultad de Arquitectura y Urbanismo, UCV.

Mitchell, W. (1994). "Three Paradigms for Computer-Aided Design. (1994)". In *Knowledge-based Computer-aided Architectural Design*. Carrara, G. and Kalay, Y. (eds.). New York, NY: Elsevier.

Oxman, R. and Oxman, R. (1993) "PRECEDENTS: Memory structure in Design Case Libraries (1993)". In *CAAD Futures '93*, Flemming, U. and Van Wyk, S. (eds.). Amsterdam, The Netherlands: North Holland.

Simon, H.A. (1969). *The Sciences of the Artificial*. Cambridge: MIT Press.

Swerdlhoff, L. and Kalay, Y. (1987). "A Partnership Approach to Computer-Aided Design. (1987)". In *Computability of Design*. Kalay, Y. (ed.) New York, NY: John Wiley & Sons.

Sycara, K. and Navinchandra, D. (1989), "Integrating Case-Based Reasoning and Qualitative Reasoning in Engineering Design. (1989)", in *Artificial Intelligence in Design*. Gero, J. S. (ed.) Heidelberg, Germany: Springer-Verlag.

## Instrumentación

Al ser esta una investigación en proceso, solamente podemos presentar pantallas de salida de algunas de las etapas del AID de Fenestración, tal como se muestran a continuación (Figuras 10 a 12):



Figura 10 - Pantalla de Bienvenida y escogencia de sitio. El sistema obtiene ubicación del sitio en el mundo.

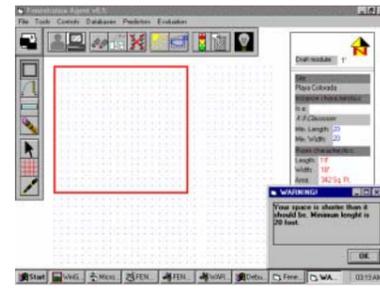


Figura 11 - Dibujo de espacio instanciado. El sistema se asegura que el espacio cumpla con las determinantes.

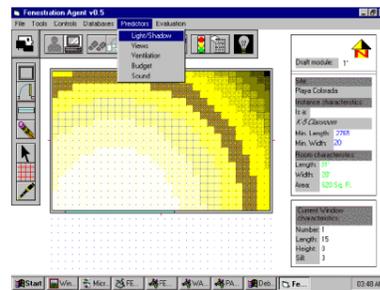


Figura 12- Predicción de luz y sombra arrojadas por la ventana y el espacio.

## Consideraciones finales

Se espera, con el desarrollo de esta línea de investigación, llegar a tener un grupo de IDEAs trabajando en conjunto con el diseñador; de manera que, mientras este diseña, le ayuda en lo que respecta a las normas de urbanismo, las normas de construcción, el precálculo de estructura, la definición de materiales, la definición de elementos de cerramiento y otros aspectos, además de lo relacionado con la fenestración, que es el caso que hemos estado estudiando.

El diseñador tendrá entonces, mientras diseña, predicciones de funcionamiento (en varios campos, como relaciones funcionales, funcionamiento con respecto a minusválidos, y otros), iluminación, ventilación, costos, y hasta el "ambiente" de su diseño. Las diferentes IDEAs irán trabajando gradualmente junto con el diseñador, prediciendo y pre-evaluando, para siempre dejar al diseñador la última palabra, claro está, si es que el diseñador quiere dar la última palabra...