

## RESUMEN.

### ABSTRACT

A Program of Graphic Computing, developed in the Language of Programming **AUTOLISP** and run in **AUTOCAD 2000**, which is guided toward the Investigation in Bioclimatic Architecture, is presented.

Before a model of solar protection in 3D, and loading the input data of the geographical localization and orientation, time and evaluation date (chosen by the user), the program calculates and projects the simulation of the corresponding shade contours on every plane that constitutes the 3D pattern (openings, walls, protections, floor...).

In this research different areas of knowledge concur: Plane and spherical trigonometry applied to the solar ray and to the Bioclimatic Architecture, space geometry, plane graphical representation of three-dimensional objects, a concept of the transformation of vision for the three-dimensional representation of the objects in computers, and modern programming techniques.

**Keywords:** Bioclimatic Architecture, Heat gaining control, 3D shades simulator, solar protection.

Se presenta un Programa de Computación Gráfica, desarrollado en Lenguaje de Programación **AUTOLISP** y corrido en **AUTOCAD 2000**, orientado hacia la Investigación en Arquitectura Bioclimática.

Ante un modelo de protección solar en 3D, y cargando como datos de entrada su localización y orientación geográfica, hora y fecha de evaluación (a elegir por el usuario), el Programa calcula y proyecta la simulación de los contornos de sombra correspondientes sobre cada uno de los planos que conforman el modelo 3D (vanos, paredes, protecciones, piso...)

En esta investigación confluyen de distintas áreas de conocimiento: Trigonometría plana y esférica aplicada al rayo solar y a la Arquitectura Bioclimática, geometría en el espacio, representación gráfica plana de objetos tridimensionales, concepto de la transformación de la visión para la representación tridimensional de los objetos en computadoras, y modernas técnicas de programación.

**Palabras claves:** Arquitectura bioclimática, control de ganancia de calor, simulador de sombras en 3D, protección solar.

# **SIMULADOR DE PROYECCIONES DE SOMBRA Sobre MODELOS COMPUTARIZADOS EN 3D. HERRAMIENTA PARA EVALUAR LA EFICIENCIA DE MODELOS DE PROTECCIÓN SOLAR**

Arq. Susana Carolina Gómez Arvelo.  
Maturín. Venezuela. Universidad del Zulia. División  
de estudios para graduados de la Facultad de Arquitecto-  
ura. Trabajo Especial de Grado de la Maestría en Ar-  
quitectura, mención Computación. 1.998  
[scae2000@yahoo.com](mailto:scae2000@yahoo.com)

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo consiste en la generación de un Programa Computarizado, cargado sobre el paquete AUTOCAD 2000, que aporta resultados gráficos representativos de las sombras que proyecta un Modelo de Protección solar, previamente elaborado en tres dimensiones (3D). Para la obtención de las sombras en referencia, el Modelo simula estar sometido a radiación solar directa, correspondiente a un contexto geográfico e instante temporal prefijado a voluntad por el usuario.

El Programa está concebido para ser utilizado como una herramienta en el campo de la Investigación Bioclimática, por lo que, a partir de los resultados arriba señalados, un investigador puede proce-  
sar los resultados arrojados por el Programa en

referencia, y obtener conclusiones en cuanto a la eficiencia de funcionamiento del Modelo de protección que estudia.

Se considera un tema interesante por cuanto logra conjugar los conocimientos de Arquitectura Bioclimática con los conocimientos adquiridos en la Maestría de Arquitectura mención computación, doble condición importante para el logro del objetivo perseguido .

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

El clima cálido húmedo que caracteriza a nuestro medio intertropical conlleva a los estudiosos de la Arquitectura al diseño de masas arquitectónicas que, pasivamente, minimicen la ganancia de calor, en la búsqueda de estados de confort térmico para sus usuarios. Entre las materializaciones de diseño tendentes a minimizar la ganancia de calor, se encuentran las llamadas Protecciones Solares, a través de las cuales se procura evitar la incidencia de radiación solar directa sobre las aberturas (ventanas, principalmente) de las edificaciones, sin reprimir sus posibilidades de ser medios de ventilación e iluminación natural para las mismas.

En tal sentido, el Arquitecto Carlos Quirós Lacau, perteneciente al Instituto de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura de L.U.Z., emprendió en el año 1996, estudios de Investigación orientados a evaluar la eficiencia en el funcionamiento de prototipos de protecciones solares sobre ventanas, los cuales recoge en su Trabajo denominado "Eficiencia de los elementos de control solar oblicuos en el sombreado de las aberturas".

En los estudios sobre el tema, que hasta la fecha había realizado el arquitecto Quirós, para simplificar las posibilidades de modelos e instantes a evaluar, se vió en la necesidad de delimitar: la formalización, tamaño y orientación (respecto al Norte geográfico) del vano "tipo" a evaluar; la formalización, tamaño y orientación de los elementos de protección solar a evaluar; las fechas sobre las cuales se calcularían las proyecciones de sombras correspondientes; así como la localización geográfica hipotética del Modelo a evaluar, identificando la latitud y longitud específicamente para la Ciudad de Maracaibo. Tales simplificaciones se hacían necesarias por cuanto para cada situación en la cual se conjugan una forma, tamaño y orientación de vano, con una forma, tamaño y orientación del elemento protector, en un determinado instante temporal, se generan unos valores específicos de las coordenadas horarias del sol con respecto a los planos de la edificación y de los factores de longitud de sombra arrojados por el elemento protector correspondiente (ángulos verticales y ángulos horizontales de sombra) (valores determinados a partir de las ecuaciones de la trigonometría plana y esférica aplicadas al rayo solar, tomando como referencia el plano del horizonte (Szokolay, 1983). En el caso del estudio del Arq. Quirós, tales valores eran obtenidos a partir de la incorporación de las ecuaciones correspondientes en una Hoja de Cálculo previamente diseñada. La obtención de la información antes descrita, se convertía en un trabajo sumamente laborioso cuando pretendía cubrirse de una forma que, aunque ayudada por la computadora, "no era automatizada". Ello se traducía en la inversión de gran cantidad de tiempo, aspecto desfavorable para el logro de objetivos de estudio más específicos del investigador.

El ahorro de tiempo que implica el Programa aquí abordado, como para permitir amplia flexibilidad en el sometimiento a evaluación de modelos de protección solar de diferente formalización, diferente localización geográfica, diferente orientación del Plano principal y en determinados períodos de chequeo, constituye la principal razón que justifica su desarrollo.

A través de la aplicación de esta herramienta sobre distintas tipologías de modelos de protección solar, el investigador del tema puede concluir sobre las formalizaciones mas eficientes durante el año, para proteger ventanas dispuestas hacia distintas orientaciones respecto al Norte geográfico.

Siendo aún un poco más ambicioso en la aplicabilidad del Programa, dada la versatilidad que debe permitir en cuanto a la formalización del elemento de protección solar a evaluar, es posible considerar la utilidad del mismo para calcular y graficar las proyecciones de sombras arrojadas -para una fecha, hora, orientación y localización geográfica cualquiera dispuesta por el usuario- por volumetrías representativas de masas de edificios, pudiendo en consecuencia, ser utilizada para el estudio de dichas masas y su forma, como generadoras de protección solar hacia su contexto urbano adyacente.

### Objetivos

- Desarrollar de un Programa de computación Gráfica, orientado hacia la investigación que, recibiendo como dato de entrada un modelo tridimensional representativo de un elemento de protección solar , sometido a iluminación solar directa, sea capaz de pro-

ducir la simulación gráfica de los efectos de luz y sombras consecuentes. (La condición de asoleamiento corresponde a una hora, fecha y localización geográfica (Latitud y Longitud) cualquiera, prefijadas a voluntad por el usuario.)

- Ofrecer una herramienta computarizada, orientada hacia el campo de la investigación bioclimática, que tras la obtención rápida y eficiente de los insumos gráficos representativos de las proyecciones de sombra arrojadas por un modelo de protección solar sometido a estudio, tales resultados sirvan como materia prima para el investigador a los efectos de obtener conclusiones, sustentadas con valores cuantitativos, en torno a la eficiencia del mismo, para determinada(s) orientación(es) y fechas del año.

### Bases Teóricas

Los fundamentos teóricos que sustentan la viabilidad y materialización del Programa que se presenta son:

- ECUACIONES DE LA TRIGONOMETRÍA PLANAR Y ESFÉRICA APLICADAS AL RAYO SOLAR Y A LA ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA, tomando como referencia el plano del horizonte, a través de las cuales se determinan las coordenadas horarias del sol con respecto al plano que contiene a la ventana de evaluación. (Carlos Quirós Lacau, 1.985; S.V.Szokolay, 1983). En tal sentido, se aplicaron debidamente, las ecuaciones que determinan los valores de:

- Coordenadas solares: Altitud solar y Azimut solar.
- Variables que afectan los procedimientos analíticos de cálculo y representación gráfica de las posiciones y trayectorias solares aparentes:
  - Variables geográficas: la latitud geográfica, la longitud geográfica, el huso horario de referencia;
  - Variables solares: el ángulo horario solar, la declinación solar, la corrección del tiempo para el meridiano local (o tiempo solar verdadero), la ecuación del tiempo.
  - Ángulo de Incidencia para plano de fachada vertical.
  - Ángulo de Incidencia para plano de fachada inclinada.
- ECUACIONES DE GEOMETRÍA EN EL ESPACIO. (Larson, Roland E; Hostetler, Robert P., 1.989 / Izquierdo A, Fernando. 1976)
  - Ecuación canónica de un plano en el espacio.
  - Ecuación paramétrica de una recta en el espacio.
- TÉCNICAS DE PROGRAMACIÓN. (Joyanes Aguilar, Luis. 1.987)
- MÉTODO DE REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE OBJETOS TRIDIMENSIONALES DESCOMBINÉNDOLOS EN SUS PLANOS DE PROYECCIÓN "XY", "YZ" y "ZX". (C. Millán,

1979)

- CONCEPTO DE LA TRANSFORMACIÓN DE LA VISIÓN PARA LA REPRESENTACIÓN TRIDIMENSIONAL DE OBJETOS EN COMPUTADORA. (Hearn, Donald/ Baker, M. Pauline.)

#### METODOLOGÍA PARA LA GENERACIÓN DEL PROGRAMA

Recopilación de Información Base (Indagación, Antecedentes) .

- Investigación Bibliográfica relacionada con Arquitectura Bioclimática, Geometría en el espacio, Geometría aplicada al rayo solar y graficación de objetos 3D por Computadora, los cuales se convirtieron en la plataforma sobre la cual se efectuó el manejo específico los de datos para la obtención de los resultados previstos.
- Asesoramiento con personas especialistas en Arquitectura Bioclimática y en el manejo de Lenguajes de Programación compatibles con el requerido para el desarrollo de la herramienta en referencia.

Elaboración de Diagramas de Flujo que representan el Algoritmo.

- Se caracterizó por la existencia constante de un proceso analítico que considerara:
  - los datos a participar y su secuencia de uso;

- el criterio de funcionamiento del computador y de los lenguajes de programación como intérpretes de un Programa, ante lo cual debe tenerse plena conciencia sobre el proceso que siguen los datos participantes y todas las posibilidades de respuestas a generarse, dependiendo del tipo de interacción que deba establecerse entre ellos.
- Documentación y explicación del contenido de los Diagramas de flujo. (Resulta importante comentar que toda la estructura lógica que da origen al Programa en referencia, se encuentra totalmente representado a través de Diagramas de Flujos debidamente explicados, los cuales se plasman en el documento original que soporta al presente estudio).

Conversión del Algoritmo a Programa, con la utilización del Lenguaje AUTOLISP para AUTOCAD.

En esta fase se contó con la participación de un Asesor-Programador, encargado de efectuar la conversión "Algoritmo ® Programa", en la persona del Arquitecto Luis Rodolfo Reyes, profesional egresado de LUZ, con Maestría en Informática Aplicada obtenida en España. En esta etapa se requirió:

- Dirigir el proceso de conversión, acorde a los pasos dispuestos previamente en el Algoritmo, ofreciendo las orientaciones correspondientes para la correcta interpretación de las secuencias y tomas de decisiones establecidas en el mismo;
- Resolver problemas que pudieran surgir en el proceso de conversión, o

- Resolver procedimientos menores que no se hubiesen contemplado en el desarrollo del Algoritmo inicial.

Corrida del Programa sobre un Modelo 3D sencillo, y chequeo de resultados .

En esta fase se efectuaron dos pruebas de chequeo:

- Se elaboró, en el paquete AUTOCAD, un modelo tridimensional representativo de uno de los estudiados manualmente, por el Arquitecto Quirós en la investigación que llevaba a cabo, cuyos valores angulares de sombras para determinado instante del año, en la localidad de Maracaibo, eran hallados a través de una hoja de cálculo, y posteriormente representados en vistas ortogonales del modelo, específicamente en fachada frontal y en planta. Al correr el programa sobre el modelo tridimensional, disponiendo iguales valores de localización y de instante temporal a los dispuestos por el Arquitecto Quirós, se verificó la similitud entre los resultados de ambos productos;
- Se elaboró una maqueta de un modelo de protección solar, a la vez que el mismo fue levantado tridimensionalmente en el paquete AUTOCAD. Finalmente se confrontó y verificó los resultados de sombras generados por la maqueta al ser dispuesta sobre un Heliodón, con los resultados del programa corrido sobre el modelo 3D ya referido, conservando los datos de localidad, fecha y hora para ambos casos.

Ambas pruebas dieron resultados realmente satisfactorios en cuanto a la eficiencia en el cálculo y representación gráfica de las sombras que deseaban obtener.

**COMPARACIÓN ENTRE ESTA HERRAMIENTA Y OTROS PAQUETES en el MERCADO que calculan proyecciones de sombras como producto de asoleamiento solar directo.**

No se descarta que nacional e internacionalmente existan otras herramientas de evaluación en el área de la arquitectura Bioclimática, que generen resultados asociados al que produce esta herramienta. Sin embargo, de existir, no son paquetes comerciales de fácil acceso y muy probablemente, al igual que éste, sean aplicaciones de tipo experimental y de investigación, desarrolladas otras de universidades de Venezuela y el mundo.

Software en el mercado	Ambiente computacional en el que funciona	Origen del Software	Genera gráficos de sombra tridimensional y medibles	Genera sombras tridimensionales
Autovision	Windows, sobre la plataforma de Autocad	Autodesk	NO	NO; el efecto tridimensional es aparente
Render de Autocad	Windows, sobre la plataforma de Autocad	Autodesk	NO	NO; el efecto tridimensional es aparente
3d Studio	Windows	Autodesk	NO	NO; el efecto tridimensional es aparente
Esta herramienta	Windows, sobre la plataforma de Autocad 2000		SI	SI

Tabla 01.Comparación entre esta herramienta y otros paquetes en el mercado.Fuente: propia.

Esta herramienta es ideal para la evaluación de sistemas arquitectónicos bioclimáticos en donde el confort para los usuarios se procura a través de la minimización del asoleamiento solar directo.

**PRODUCTO DE LA INVESTIGACIÓN. EL PROGRAMA de COMPUTACIÓN.**  
**una síntesis de cómo funciona internamente.**

Se presenta entonces como producto un Programa Computarizado, cargado sobre el paquete AUTOCAD 2000, que aporta resultados gráficos representativos de las sombras que proyecta un Modelo de Protección solar, previamente elaborado en tres dimensiones (3D). Para la obtención de las sombras en referencia, el Modelo simula estar sometido a radiación solar directa, correspondiente a un contexto geográfico e instante temporal prefijado a voluntad por el usuario.

El Programa permite configurar períodos de evaluación (meses, días y/u horas, así como la periodicidad dentro del intervalo horario dispuesto). Tras finalizar todos los instantes configurados, el programa agrupa en una capa cada instante, colocándole como nombre a cada capa, la fecha y hora que ha sido calculada. Igualmente le asigna un color diferente a las entidades de sombra proyectadas para cada instante, de modo que si todas están prendidas, puede diferenciarse visualmente cada juego de sombras.

Fig.01.



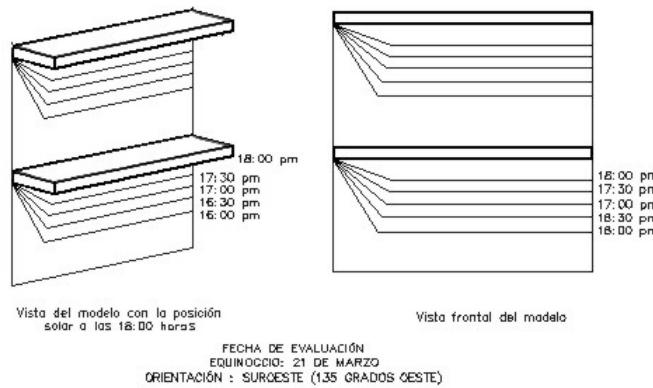
Internamente, el Programa calcula:

- la posición del vector rayo de luz respecto al Modelo 3D, acorde a los datos de entrada (localización y orientación geográfica, hora y fecha de evaluación, a elegir por el usuario investigador). (Ver figura 01).
- Rota el sistema de coordenadas XYZ del AUTOCAD, haciendo coincidente el eje Z con la dirección del vector rayo de luz, y coloca el punto de visualización del modelo de modo que el ojo del observador es coincidente con la posición del sol.
- Determina las aristas del Modelo 3D que generan "contorno de sombra" (aristas separatrices) ante la condición de asoleamiento indicada.
- Efectúa una evaluación plana, desde el plano de proyección XY del sistema de coordenadas actual (haciendo momentáneamente  $Z=0$ ), y determina "la contención" de cada uno de los puntos extremos de cada arista separatrix respecto a las demás caras que conforman el Modelo 3D.
- A cada punto de cada arista separatrix que se determine contenido dentro de determinadas caras del Modelo 3D, se le calcula su correspondiente valor Z (a partir de la ecuación del plano en el espacio que rige a cada cara del Modelo 3D), con lo cual se genera el punto de proyección real en cada cara (en el espacio) y pueden generarse las líneas de contornos de sombra correspondientes. Con este paso, se

dibujan todas las proyecciones de sombras de las aristas separatrices sobre todas las caras del Modelo 3D, como si el mismo fuera una estructura de alambre (wireframe).

- Finalmente, se efectúa un proceso de depuración, el cual elimina aquellos segmentos de sombra proyectados que no corresponden, debido a la condición de cuerpos opacos de las caras del Modelo 3D evaluado. (Ver figura 02)

Fig. 02.



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. A los efectos del estudio sobre la eficiencia de protecciones solares, el producto que es capaz de generar la herramienta ofrecida en este trabajo, constituye un gran aporte por cuanto ofrece los siguientes beneficios:
  - Rapidez en la obtención del insumo "proyección de sombra";

- La posibilidad de evaluar modelos en 3 dimensiones (mas allá de proyecciones de sombras en vista ortogonales de fachada y planta...);
  - Libertad formal de los modelos a evaluar (siempre y cuando no contengan superficies no coplanares o alabeadas), tanto de las proporciones del vano o ventana, como de la protección propiamente dicha.
  - Por otra parte la versatilidad del programa en cuanto a posibilidad de evaluar modelos de protección de cualquier configuración formal, así como bajo 3 dimensiones, le posibilita para ser utilizado en la evaluación de objetos representativos de masas de edificios. Así, en consecuencia la utilidad del programa se amplia cuando arroja insumos importantes para estudios de las masas arquitectónicas como fuentes de generación de confort térmico sobre el microclima de su entorno.
2. La producción de herramientas como la presentada exige la participación de equipos de trabajo multidisciplinario, cuyo aporte esté debidamente delimitado e integrado al estudio según las pautas establecidas por un coordinador principal.
3. Se recomienda crear líneas de investigación para tesistas de la Maestría Informática en Computación, con estudios directamente vinculados al presente. En tal sentido, se perciben tres opciones:
- Completar este estudio, convirtiendo las áreas de sombras proyectadas en polilíneas, cuantificar las áreas de sombras generadas, y generar cálculos que establezcan porcentajes de áreas en sombra respecto a áreas no sombreadas, de modo que aporte finalmente resultados cuantitativos;
  - Una vez desarrollado el objetivo planteado para la primera línea de investigación, se vinculen computacionalmente los resultados arrojados con cálculos de ganancia de calor, a los fines de afinar, mucho mas, las conclusiones sobre la eficiencia de los sistemas de protección solar.
  - Plantear el estudio del algoritmo y su consecuente conversión a Programa, para el cálculo de proyecciones de sombras en modelos 3D que poseen superficies alabeadas (aspecto que, hasta los momentos, NO contempla el presente programa).
- #### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS
- 1.- Hearn, Donald/ Baker, M. Pauline. "Gráficas por Computadora". Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. U.S.A.
  - 2.- Izquierdo Asensi, Fernando. "Geometría Descriptiva". Editorial Dssat, S.A. Madrid, España. 1976. Décima edición corregida.
  - 3.- Joyanes Aguilar, Luis. "Diagramas de flujo, algoritmos y programación estructurada", Editorial Mc Graw Hill. España. 1987.
  - 4.- Larson,Roland E./ Hostetler, Robert P. "Cálculo y Geometría Analítica". Editorial MacGraw- Hill. Mexico. 1989.

- 5.-Millán C. " Ciencias Gráficas. Dibujo/ Ciclo diversificado". Ediciones Eneva. Caracas. Venezuela. 1.979
- 6.- Quirós L, Carlos. "Heliográfica Arquitectónica: Determinación y representación gráfica de posiciones y trayectorias solares para la ciudad de Maracaibo. Facultad de Arquitectura. LUZ. 1.985
- 7.- Szokolay, S.V. - "Arquitectura Solar". Realización y proyectos a escala mundial. Editorial Blume. Barcelona, España. 1983.