

Un Programa de Computación para el Diseño Bioclimático de Edificaciones a través de la Internet.

Pablo La Roche

*Instituto de Investigaciones - Facultad Arquitectura
Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela.*

*Department of Architecture and Urban Design.
University of California, Los Angeles.*

RESUMEN

Se propone un programa que indica recomendaciones de diseño bioclimático a partir de las temperaturas máximas y mínimas de un lugar. Esta herramienta puede ser usada durante las etapas iniciales del diseño arquitectónico, e inclusive para la generación del concepto inicial de diseño o *Parti*. Debido a su facilidad de uso y las posibilidades de analizar múltiples opciones en un tiempo corto, también será de utilidad como una herramienta educativa.

El programa ha sido elaborado utilizando HTML, JavaScript y Java y se seleccionó a la Internet (protocolo TCP/IP) como la plataforma para el programa, ya que esta es independiente de cualquier "hardware", accesible a estudiantes, profesionales y al público en general para la comunicación e investigación.

Introducción

La importancia del diseño de este tipo de herramientas radica en cuatro aspectos. El primero proviene de las dificultades que enfrenta el arquitecto para resolver problemas complejos que incluyen gran cantidad de variables. La segunda deriva de la escasa utilización de los instrumentos tradicionales para el diseño bioclimático de edificaciones (diagramas solares, gráficos psicrométricos, etc.), ya que aun cuando el manejo de estas herramientas es enseñado en la Universidad, los arquitectos pocas veces dominan, por falta de práctica o tiempo, el uso de las mismas. La tercera radica en la inquietud de desarrollar herramientas de fácil utilización para el diseño bioclimático. Por último, el uso cada vez mayor de la Internet como red de información accesible a muchos usuarios permite que programas como este sean utilizados desde cualquier parte del mundo, permitiendo un mayor uso de los productos generados con un menor costo para los usuarios.

1. Soporte Conceptual

Existen tres tipos de flujos de calor en una edificación: conducción, radiación y convección, a través de los cuales se pueden generar ganancias o pérdidas de calor en el edificio dependiendo directa o indirectamente de la radiación solar, la temperatura externa y las ganancias internas. La temperatura del aire también es uno de los factores que más afecta a todos éstos intercambios térmicos.

Cuatro variables son las que afectan con mayor intensidad el confort térmico: la temperatura del aire, el contenido de agua en el aire, la radiación solar y la velocidad del aire. De estas, probablemente la más utilizada y fácil de comprender, para explicar rápidamente las condiciones exteriores es la temperatura del aire, que es un índice de frío o calor en el aire relacionado

con su contenido de energía.

Aunque los fenómenos de transferencia de calor son muy complicados y dependen de muchos otros factores y el confort es muchos más que sólo la Temperatura de Bulbo Seco del Aire; podemos seleccionar recomendaciones bioclimáticas que nos servirán para generar un concepto arquitectónico a partir de esta.

Las diferentes zonas para la aplicación de las estrategias en *ARCHICLIMA* se definen a partir de los gráficos psicrométricos de Olgyay y de Givoni. Sin embargo, el programa se diferencia de ellos en que las estrategias para alcanzar las temperaturas adecuadas en el interior del edificio se definen a partir de los tipos de flujos de calor, que ultimadamente serán los que modifiquen estas temperaturas para lograr confort. El programa analiza la temperatura del sitio para generar curvas horarias y determina el porcentaje de tiempo que cada uno de tres estrategias serían útiles para controlar los flujos del calor por conducción, transmisión o radiación para alcanzar el confort.

La representación gráfica de los resultados es una de las características más importantes del programa y debe representar rápidamente el comportamiento térmico del edificio. Se ha decidido elaborar una matriz bidimensional en la cual se relacionen las estrategias con las temperaturas. Se relacionan tres estrategias con las horas de un mes seleccionado.

Antes de indicar los rangos de las zonas propuestas, es importante indicar que las fronteras de todas las zonas son borrosas, pero por las mismas exigencias de los programas de computación deben ser definidas de alguna forma.

La zona de confort que se utiliza como punto de referencia para las diferentes estrategias está definida entre 21 y 26 C (70-80 F)

con un punto central de 24 C (75 F). A continuación se explican cuales son las estrategias y sus zonas de aplicación definidas por los diferentes rangos de temperatura.

Se definen dos estrategias de conducción: “bloquear el flujo de calor” o “indiferente al flujo de calor”. Sus limites son:

- Si $Text < 15\text{ C (60 F)}$ la envolvente debe bloquear las pérdidas del calor del edificio.
- Si $Text > 29\text{ C (85 F)}$ la envolvente debe bloquear las ganancias del calor al edificio.
- Para $Text > 15\text{ C (60 F)}$ y $Text < 29\text{ C (85 F)}$ es indiferente si se bloquean los flujos de calor por conducción y no es necesario aplicar las estrategias de conducción. (Text es la temperatura de bulbo seco del aire)

Las estrategias de convección son: “incrementar la convección” o “evitar la convección”. Sus limites son:

- Si $Text \Rightarrow 21\text{ C (70 F)}$ y $Text \leq 32\text{ C (90 F)}$, el edificio debe ser permeable al viento
- Si $Text < 21\text{ C (70 F)}$ o $Text > 32\text{ C (90 F)}$ el edificio debe bloquear los flujos del calor por convección.

Las estrategias de radiación son: “incrementar la radiación” o “bloquear la radiación”. Sus limites son:

- Si $Text < 21\text{ C (70 F)}$, se deben incrementar las ganancias de calor por radiación.
- Si $Text \geq 21\text{ C (70 F)}$ el edificio debe bloquear las ganancias del calor por radiación.

En la figura 1 se presentan las zonas de aplicación de las diferentes estrategias en función de la temperatura.



Figura 1. Zonas de temperatura para las diferentes estrategias.

Para cada una de estas estrategias el programa presenta una representación gráfica simplificada de la imagen de envolvente a perseguir y un conjunto de recomendaciones de diseño que permitirían alcanzar esa imagen.

2. Diseño del programa

Se propone un sistema basado en colores, para relacionar los mecanismos de transferencia de calor con las recomendaciones. El rojo se utiliza para la conducción, el azul para la convección y el amarillo para la radiación. Si es necesario incrementar el flujo de calor se utiliza una versión oscura del color y si es necesario disminuirlo se utiliza una versión clara del color. Para cada uno de estos seis casos se proponen un conjunto de recomendaciones de diseño que estarán conectadas con hipervínculos a la página principal (Fig. 5,6).

Las páginas HTML se desarrollaron en inglés y español y la

estructura de estas páginas se presenta en la Figura 2. Después de la página de entrada al programa (Fig. 3), en la cual se selecciona el idioma, se accede a la pagina principal del programa, que contiene el JavaScript en el cual se introducen los datos (Fig. 4) y los llamados a los applets que efectúan los cálculos y presentan las curvas y matrices (Fig. 5) y los hipervínculos (Fig. 6) a las paginas de recomendaciones de diseño (Fig. 7). Esta página se ha desarrollado utilizando el editor de paginas de Netscape (Composer), el programa Page Mill de Adobe y programando directamente en la fuente con el editor de textos ASCII Notepad de Windows. Es conveniente indicar que es delicado utilizar editores como el Page Mill ya que al haber código JavaScript dentro de la página este es modificado por el editor y se transforma a código inutilizable. Por lo tanto es recomendable utilizar primero el Page Mill para crear la pagina básica y luego editar el texto directamente con un procesador de textos ASCII.

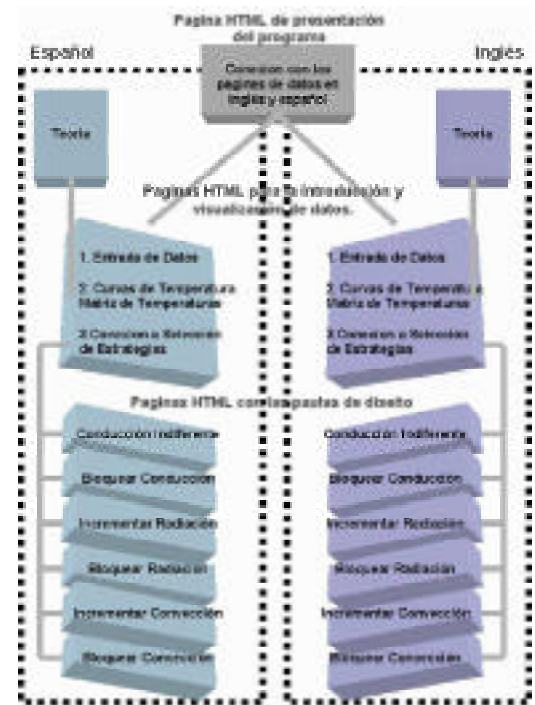


Figura 2. Estructura de las Páginas HTML

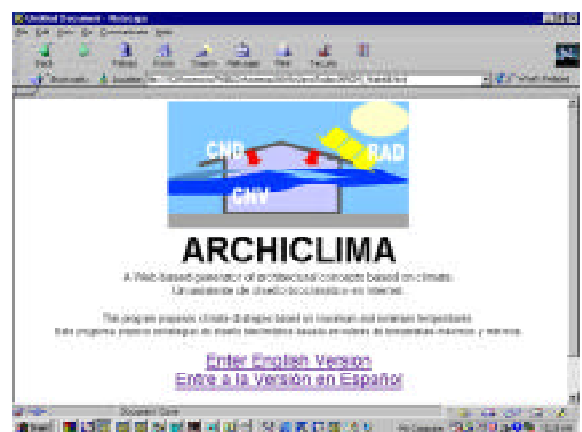


Figura 3. Página de entrada de datos

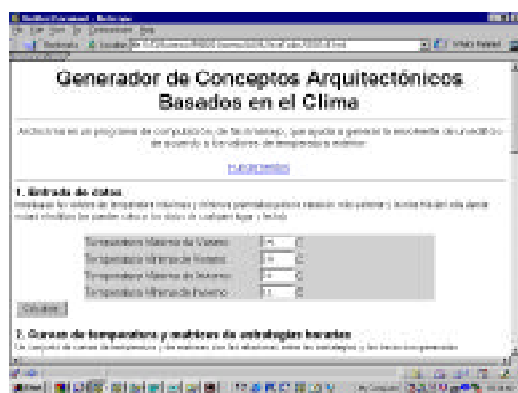


Figura 4. Sección superior de la página principal: entrada de datos

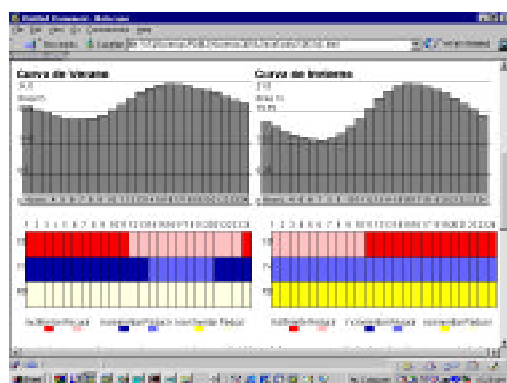


Figura 5. Sección intermedia de la página principal: curvas y matrices

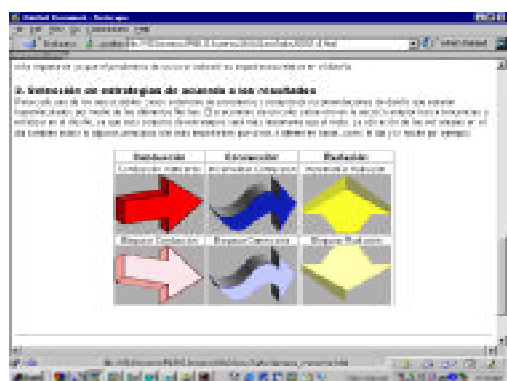


Figura 6. Sección inferior de la página principal: vínculos a las recomendaciones de diseño

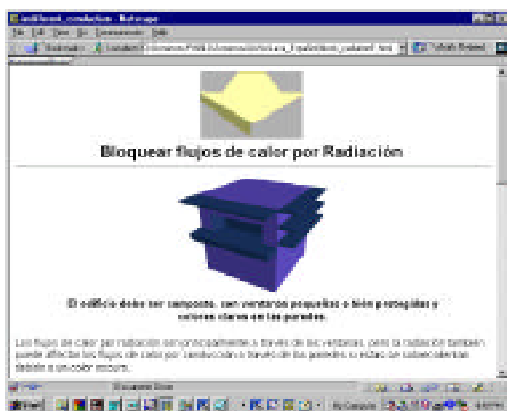


Figura 7. Ejemplo de una de las paginas: Sección superior de la pagina de "bloquear radiación"

El código JavaScript está embutido en la pagina HTML llamada SDGcE. Consta de dos funciones y una forma para introducción de datos.

La función "Compute Curve" genera una señal de alerta si los valores están introducidos erróneamente. También en esta función se leen las variables que serán utilizados por los applets de Java para los cálculos.

Las instrucciones:

```
document.SumCurv.changePositionT
(MaTS,MiTS,1);
```

```
document.WinCurv.changePositionT
(MaTW,MiTW,2);
```

envían las variables que son introducidas dentro de la forma "ClimateForm" y enviadas a funciones dentro de los applets para ser procesados y ejecutar operaciones gráficas y numéricas. En la figura 8 se explican las relaciones que existen entre la página HTML, el código JavaScript y los Applets de Java.

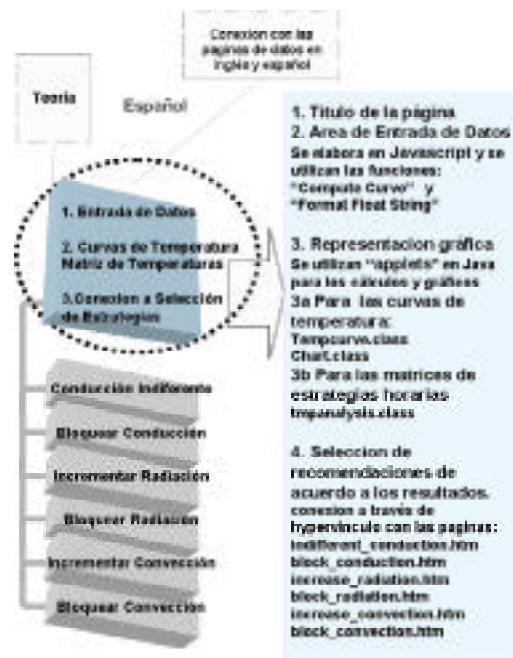


Figura 8. Estructura de la página principal

La función "FormatFloatString" reduce los decimales a dos dígitos.

La indicación del nombre de la forma (que esta fuera del área de script) indica que los datos que el programa va a utilizar son los introducidos por el usuario en esa forma.

Se utilizó el lenguaje Java para construir tres "applets" que son llamados desde la página HTML para ejecutar funciones de cálculo y funciones gráficas. Los applets "Chart.java" y "TempCurve.java" trabajan juntos para leer la información de las formas en las cuales se introducen las temperaturas máximas y mínimas, calcular los valores horarios a partir de estos dos valores y graficar las curvas generadas por los valores horarios.

“Tmpanalysis.java” toma la información horaria de “TempCurve.java” y la analiza para generar las matrices con los colores que corresponden a las diferentes recomendaciones para cada hora.

El flujo de la información entre los applets, el JavaScript y las paginas es de la siguiente forma (Fig. 9):

1. El usuario de la página introduce los datos de temperatura máxima (Tmax) y mínima (Tmin) en la forma, desarrollada en JavaScript y dentro de tablas, que está en la página HTML.
2. Los datos de Tmax y Tmin son enviados desde el JavaScript al método *ChangePositionT* que está en el applet *TempCurve.java*
3. Los datos son procesados en este applet y enviados como una matriz de datos al applet *chart.java* donde se dibujan las dos curvas de temperatura horarias en la función *paint*, de acuerdo a lo procesado por la función *temperature* dentro del applet *chart.java*.
4. Se llama dos veces al applet *tempcurve.java* desde el código HTML de la página *SDG1cE* para que se grafiquen las dos curvas con un tamaño de 380 pixeles de ancho dentro de unas tablas elaboradas en HTML.
5. Los datos de temperatura horaria se envían al applet *Tmpanalysis.java* para que estos sean procesados dentro de varias condicionales y se dibujen con la función *paint*.
6. Se llama dos veces al applet *Tmpanalysis.java* desde el código HTML de la página *SDG1cE* para que se grafiquen las dos matrices con un tamaño de 380 pixeles de ancho, dentro de unas tablas que quedaran justo debajo de las curvas.
7. Se hacen los vínculos a las paginas de recomendaciones.

3. Evaluación del Programa

Para comprobar la efectividad del programa se introdujeron en el programa los datos máximos y mínimos promedios de temperatura en Diciembre y Agosto para Maracaibo, Venezuela (clima cálido húmedo). Para la Estación de Caujarito el máximo promedio para Diciembre es de 32.2 C y el mínimo promedio es de 23.1 C. Para agosto es de 33.8 y 24.9 C, respectivamente.

En las figuras 10 y 11 se presentan los resultados que genera el programa para esos datos. Debido a la latitud de Maracaibo, cercana al trópico, las dos curvas y las matrices de agosto y diciembre, son bastante similares ya que no hay mucha diferencia entre los dos meses, como ocurre en climas templados donde las estaciones son mas diferenciadas.

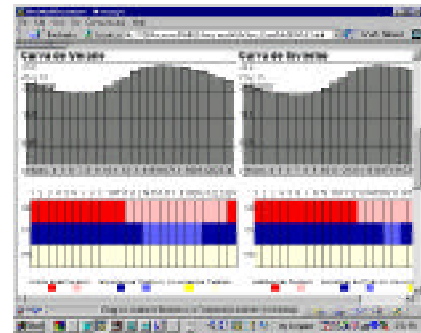


Figura 10. Resultados para Agosto (matriz izquierda)

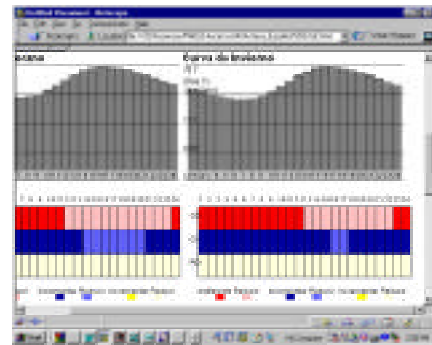


Figura 11. Resultados para Diciembre (matriz derecha)

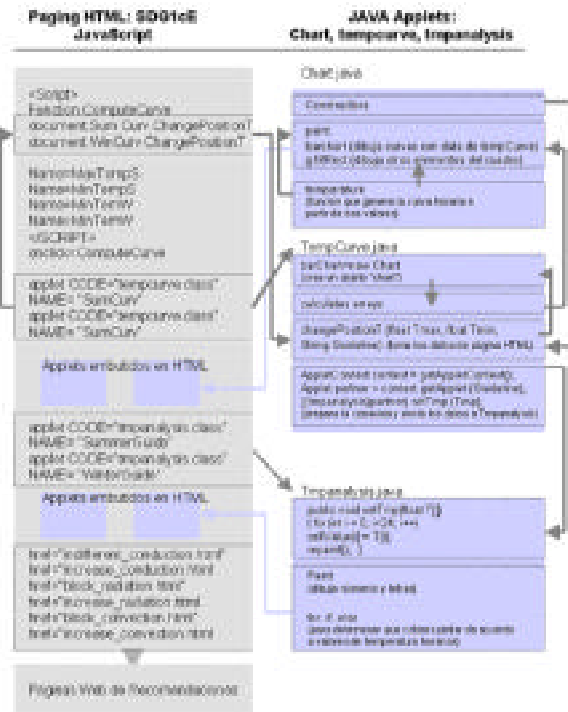


Figura 9 Flujos de Información entre la página HTML, el lenguaje Java y JavaScript.

A partir del análisis de los gráficos se establecen las siguientes conclusiones para ambos meses:

Conducción: Aproximadamente la mitad del día (Agosto) y la tercera parte del día (Diciembre) es necesario evitar los flujos de calor por conducción y el resto del tiempo es indiferente si se aplican o no las recomendaciones. Por lo tanto, es preferible aplicar las recomendaciones de diseño para la conducción.

Convección: Durante las dos terceras partes del día es necesario mantener el intercambio de aire entre el interior y el exterior, pero durante una tercera parte del día es necesario evitar este intercambio ya que las temperaturas exteriores son demasiado elevadas. Por lo tanto, es necesario diseñar ventanas que puedan incrementar o bloquear los intercambios por convección dependiendo de las necesidades.

Radiación: Es necesario evitar el flujo de radiación desde el exte-

rior al interior durante todo el día.

Al estudiar los resultados para los dos meses concluimos que debemos evitar el flujo de calor por conducción, controlar el intercambio de aire y evitar las ganancias de calor por radiación. Al buscar las recomendaciones para cada una de estas características con los diferentes hipervínculos obtenemos los siguientes resultados:

- a. **Bloquear la Conducción. El edificio debe ser compacto, opaco y aislado.** Se propone: Incrementar la resistencia térmica del componente. Utilizar materiales aislantes en las paredes techos y pisos. Utilizar cámaras de aire en las paredes techos y pisos. Incrementar la resistencia superficial de las paredes y techos. Incrementar la resistencia térmica de las ventanas. Utilización de masa y espesor de elementos arquitectónicos como reguladores de la temperatura interna. Reducir la oscilación de las temperaturas externas utilizando materiales de alta densidad y capacidad térmica. Se deben proponer materiales con efusividad, difusividad y conductividad apropiados para reducir la amplitud térmica. Reducir la superficie en contacto con los intercambios de calor.
- b. **Controlar los flujos de aire.** El edificio debe ser permeable al viento en algunas oportunidades y opaco en otras, por lo tanto se presentan las dos opciones. **Bloquear flujos de Calor por Convección.** El edificio debe ser compacto y opaco. **Incrementar los flujos de Calor por Convección.** El edificio debe ser transparente al viento. Ambos se logran mediante el posicionamiento y diseño de las ventanas y mediante la forma y orientación del edificio.
- c. **Bloquear los flujos de calor por radiación. El edificio debe ser compacto, con ventanas pequeñas o bien protegidas y colores claros en las paredes.** Esto se puede lograr mediante: el manejo adecuado de la relación superficie volumen. Utilización de dispositivos y técnicas de sombreado. Selección de materiales reflectivos y emisivos para las superficies exteriores. Disminución del impacto de la radiación solar en envoltentes transparentes. Orientación de edificios y aberturas. Manejo de la proporción entre las superficies opacas y las transparentes. Utilización de dispositivos de sombreado. Utilización de vidrio reflectivo. Utilización de vidrio selectivo. Utilización de vidrio fotosensible.

Por lo tanto la imagen que se genera de este edificio es la de un edificio con cierta capacidad aislante y colores claros en las paredes y techos; gran superficie de ventanas operables (que se pueden abrir y cerrar) y protegidas del sol, y mucha sombra. Estos resultados concuerdan con las conclusiones de muchas investigaciones anteriores sobre lo que debe ser un edificio adaptado al clima en Maracaibo. Por lo tanto, se asume que el programa genera resultados válidos.

Se realiza otro análisis seleccionando los valores máximos y mínimos absolutos (36.2 y 23.2 C para agosto y 34.5 y 20 para Diciembre) en Maracaibo. Al utilizar los valores máximos y

mínimos absolutos para los mismos meses se obtendría una mayor amplitud y por lo tanto el diseño tal vez sería más complejo.

Al estudiar los resultados en la figura 12 se observa que la única diferencia importante indicada por el programa es que se deben reducir los intercambios por convección, e incrementar los intercambios por radiación entre las cinco y las ocho de la mañana porque el aire está demasiado frío. Sin embargo, a 20 C el aire todavía es útil para enfriar el edificio, especialmente si las paredes tienen cierta masa, y 20 C todavía está en los límites de la zona de confort para personas en climas tropicales así que tal vez no sea una temperatura incomoda. Por lo tanto el arquitecto o el usuario del programa puede decidir no considerar los resultados entre las cinco y las ocho de la mañana y obviar la necesidad de bloquear los intercambios convectivos e incrementar la ganancia de calor por radiación.

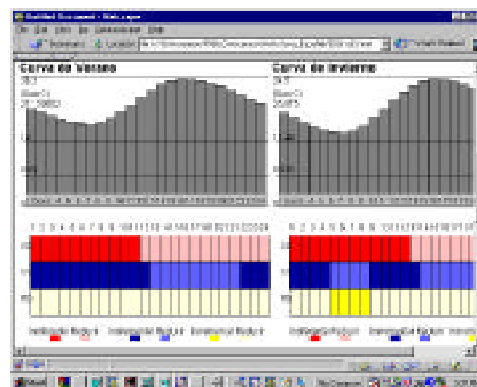


Figura 12. Resultados para Agosto (curva derecha)

Conclusión

Las posibilidades y oportunidades presentadas por el desarrollo de la Internet no se deben despreciar ya que a través de ella es posible desarrollar herramientas sencillas, de fácil utilización y disponibles de forma gratuita a millones de usuarios en todo el mundo. También, a través del protocolo TCP/IP el programa se hace independiente de cualquier plataforma o "hardware" multiplicando las potencialidades de los programas desarrollados en esta plataforma.

Esta es una versión "prototipo" del programa. Sin embargo, el programa funciona, tal y como lo demuestra el ejemplo desarrollado, y genera datos con la suficiente validez para ser utilizados en las primeras etapas del proceso de diseño. Por supuesto, se puede y debe mejorar en muchos de sus componentes.

Debido a la facilidad de uso del programa, y la poca cantidad de datos que se deben introducir, se espera que este programa pueda ser utilizado por usuarios sin entrenamiento bioclimático. Sin embargo, el usuario siempre deberá tomar algunas decisiones, las cuales serán más delicadas cuando los valores estén en las zonas limítrofes de las zonas térmicas propuestas para las diferentes recomendaciones y las edificaciones sean de masa

elevada. Por lo tanto, mientras mayor formación tenga el usuario, mejores decisiones podrá tomar. En este caso, el programa también será de utilidad como herramienta educativa donde el estudiante podrá consolidar conceptos de diseño a través de múltiples iteraciones. Para esto el programa se pudiese instalar en un servidor de la Facultad de Arquitectura y ser utilizado por los estudiantes de la misma Facultad o de otras Facultades de Arquitectura.

