

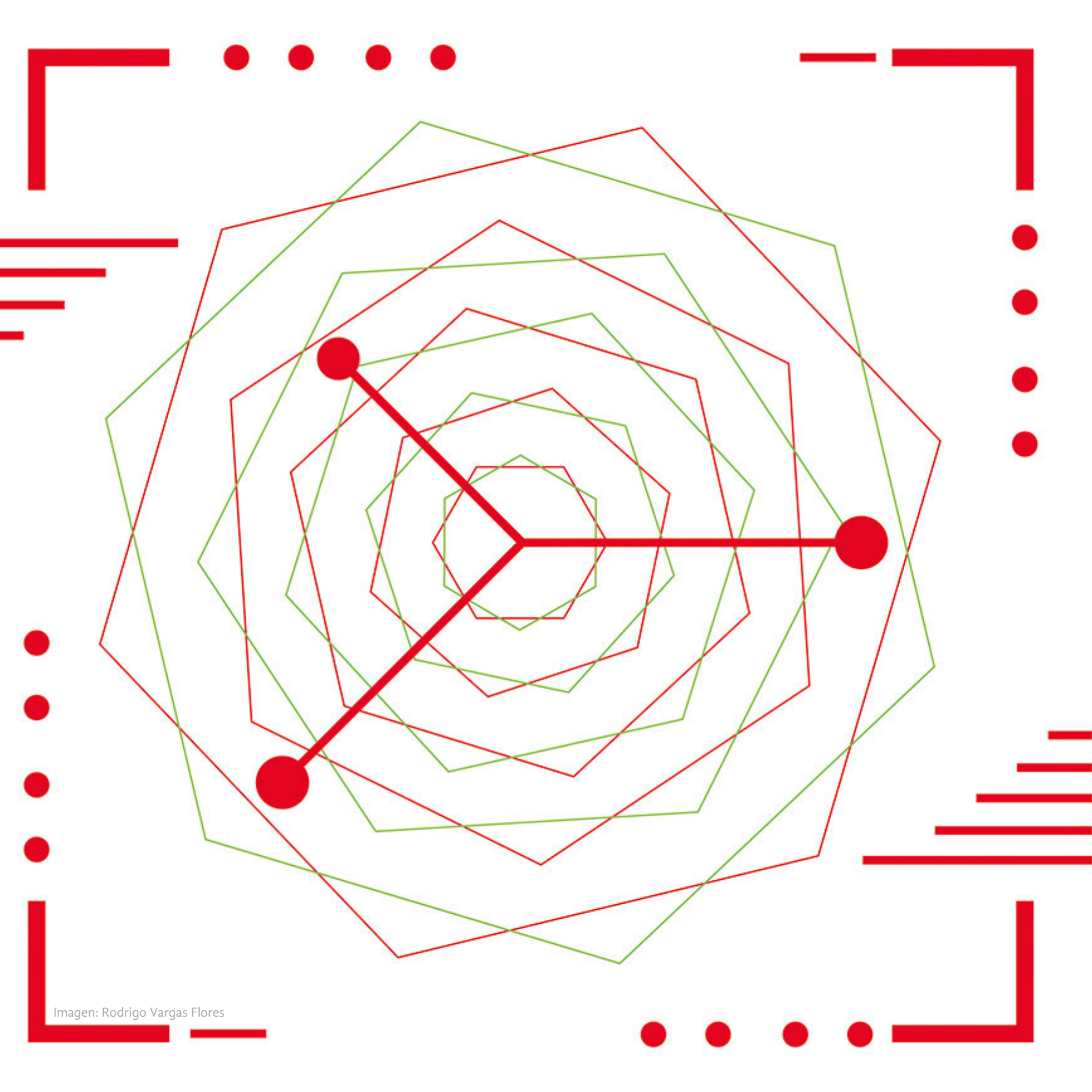


Imagen: Rodrigo Vargas Flores

Aplicación tecnológica en la visualización de la información digital para el diseño arquitectónico sustentable

Technological application in the visualization of digital information for sustainable architectural design

Luis Ángel Meza Zárate* Ingeniero Arquitecto por el Instituto Politécnico Nacional, Especialista y Maestro en Diseño en la línea de Arquitectura Bioclimática y Doctorando en Diseño y Visualización de la Información en CYAD/UAM-Azcapotzalco. Profesional con 14 años de experiencia en el campo del diseño, administración de la construcción y edificación sustentable. Desarrollador de contenido para distintas universidades privadas a nivel licenciatura y profesor a nivel maestría en diversas especialidades.

Román Anselmo Mora Gutiérrez** Ingeniero forestal industrial por la Universidad de Chapingo, Maestría y Doctorado en Ingeniería-Sistemas de Investigación de operaciones por la UNAM. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, escritor, editor, catedrático, conferencista y docente de tiempo completo. Cuenta con diversas publicaciones y aportaciones científicas, libros y más de 10 artículos en revistas científicas indexadas.

Resumen

¿Puede la tecnología potenciar la visualización de la información digital y el diseño arquitectónico generando un entorno que promueva y fomente el confort? ¿La tecnología digital puede generar recomendaciones en la morfología de la arquitectura contemporánea? Con un mundo cambiante y con el reto de fomentar mejores y buenas prácticas en el diseño que promuevan el bienestar del ser humano, la presente investigación se enfoca en el uso y desarrollo de tecnología como una herramienta de análisis que permita visualizar y potenciar el diseño apoyado de inteligencia artificial. La visualización de información digital y la generación de recomendaciones de diseño que garanticen el confort del usuario son los resultados de la influencia que tiene el uso correcto de la tecnología como elemento integrador

Abstract

Can technology enhance the visualization of digital information and architectural design by creating an environment that promotes and encourages comfort? Can digital technology generate recommendations in the morphology of contemporary architecture? With a changing world and with the challenge of promoting best and best practices in design that promote human well-being, this research focuses on the use and development of technology as an analysis tool that allows visualizing and enhancing design, supported by artificial intelligence. The visualization of digital information and the generation of design recommendations that guarantee user comfort are the results of the influence that the correct use of technology has as an integrating element

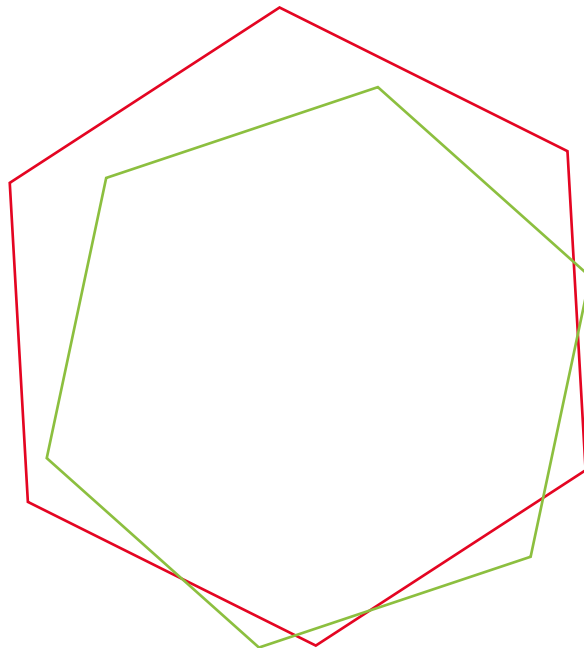


que puede aplicarse en cualquier parte de México. El objetivo central de la investigación es difundir la influencia de la tecnología en la generación de proyectos arquitectónicos sustentables y que puedan ser simulados con éxito en diferentes contextos naturales para la toma de decisiones al momento de diseñar. Se desarrolla un modelo y una técnica de optimización, como una herramienta digital accesible y práctica para los interesados en el proceso del diseño, permitiendo generar principios básicos de morfología arquitectónica que logre los estándares de calidad de vida deseados, mejorando el confort y el grado de bienestar y habitabilidad de los usuarios.

Palabras clave: Tecnología, visualización de la información digital, diseño arquitectónico, inteligencia artificial, confort, modelo de optimización.

that can be applied anywhere in Mexico. The main objective of the research is to spread the influence of technology in the generation of sustainable architectural projects that can be successfully simulated in different natural contexts for decision-making when designing. An optimization model and technique is developed, as an accessible and practical digital tool for those interested in the design process, allowing the generation of basic architectural morphology principles that achieve the desired quality of life standards, improving comfort and the degree of welfare and habitability of users.

Key words: Technology, digital information visualization, architectural design, artificial intelligence, comfort, optimization model.



Introducción



La arquitectura es **proyectar, programar, administrar y edificar espacios estéticos en armonía** con el medio ambiente y, sobre todo, que respondan a una necesidad en particular y que sean **confortables** para el usuario. Por lo tanto, en esta investigación partimos de la siguiente pregunta para comenzar a profundizar en la lectura del trabajo: ¿la tecnología digital puede generar estrategias de diseño que permitan definir la morfología de la arquitectura para lograr condiciones de confort o simplemente son herramientas de visualización de la arquitectura?

Anteriormente, los grandes cambios en las tendencias del diseño y la ingeniería estaban marcados por el descubrimiento y usos de nuevos materiales, como el vidrio y el acero. Sin embargo, a finales del siglo XX y principios del siglo XXI, las nuevas tendencias en la forma en que se concebía y programaba el diseño arquitectónico se debía al desarrollo de las tecnologías digitales como herramientas que sirven para potenciar el acto analítico y creativo del arquitecto (Schumacher, 2004). Dicho esto, para generar una arquitectura que responda a las necesidades del usuario y al medio ambiente, debemos de posicionarnos frente a un nuevo estilo de diseño, que pone de manifiesto la extraordinaria capacidad de artefactos tecnológicos para su creación y, sobre todo, para enriquecer al universo del diseño y a la arquitectura con nuevos métodos y procedimientos para solucionar problemas y necesidades.

Con el apoyo de la tecnología, más allá de la actividad esencial del diseño, se pueden identificar y desarrollar una serie de nuevos conceptos y métodos que son diferentes de los métodos de ejercicios arquitectónicos tradicionales. En consecuencia, se puede hablar de la aparición de un nuevo paradigma o método en el diseño contemporáneo: la arquitectura digital como un nuevo lenguaje o tendencia arquitectónica en la consecución de objetivos y solución de requerimientos especiales.

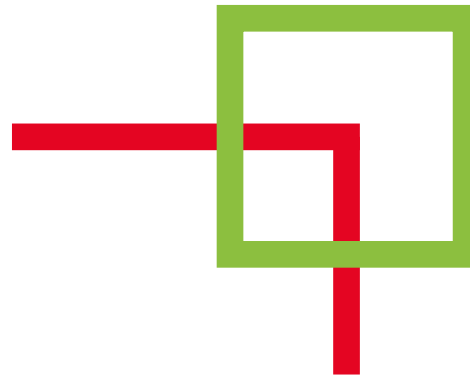


**“La arquitectura es
*proyectar, programar,
administrar y edificar
espacios estéticos en
armonía* con el medio
ambiente”**



Es importante considerar que utilizar métodos en la proyección de la arquitectura es necesario para poder acercarse a una respuesta más acertada y cada vez menos prematura o inacabada (Rodríguez, 1989). Según el autor, la solución a los problemas que enfrenta la práctica de la arquitectura, es a través de un proceso ordenado, el cual, al ser desarrollado de forma correcta, tendrá recompensas satisfactorias al final del trabajo.

Por otro lado, al seguir creciendo las actividades humanas que demanden mayor consumo de recursos y una expansión masiva de la urbe, las zonas urbanas y las edificaciones en general necesitarán diseñarse, adaptarse y equiparse con nuevas estrategias para la generación y consumo de energías limpias, que busquen encontrar un equilibrio entre el elemento natural y el medio construido. Es por ello que el diseño sustentable en cualquier proyecto cobra importancia demandando el análisis detallado para proponer estrategias, con el objetivo principal de que todo diseño logre la eficiencia energética para resolver las necesidades de habitabilidad y mitigar el cambio climático. En el año 2011, Rubio concluyó que el sector de la construcción es responsable de, aproximadamente, el 40% de



los impactos negativos que se causan al medio ambiente. Por ello, en respuesta a la situación medioambiental actual, se incorporan nuevas tendencias y formas de pensamiento, como **la arquitectura bioclimática y sustentable**, que considera las condiciones del clima y los recursos disponibles del sitio donde se localizará el edificio, con el fin de **disminuir los consumos de energía desmedidos, el impacto ambiental y, sobre todo, garantizar el confort del ser humano** aprovechando las condiciones naturales del sitio.

Entonces, en la era donde la arquitectura digital y el cuidado al medio ambiente cobra mayor relevancia en el proceso del diseño, es de suma importancia para esta investigación **desarrollar nuevos conceptos y procesos** que den rigor al proceso de generación desde un punto de vista sistémico e integral, es decir, considerando **la integración de la tecnología en el análisis de datos, la visualización de la información, los modelos de optimización, el uso de software y la arquitectura sustentable**, para generar recomendaciones de diseño, que garanticen el confort y la habitabilidad del usuario.

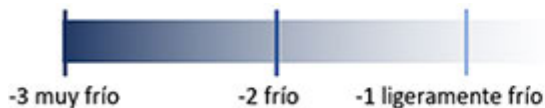


El confort

El confort del usuario es el **objetivo principal en el diseño bioclimático y sustentable**, ya que es la forma de medir el grado de bienestar o incomodidad que puede presentar una persona en cualquier espacio arquitectónico construido. Según la Organización Mundial de la Salud (1948), la salud es un estado integral de bienestar físico y mental que experimenta una persona.

Por lo tanto, el estudio cuantitativo del confort en la arquitectura permite ser punto de referencia en las propuestas arquitectónicas para ofrecer condiciones de habitabilidad al usuario. De acuerdo con Fanger (1970), el confort térmico puede ser medido bajo tres índices:

1) Temperatura Radiante Media: Es la temperatura media de los objetos que rodean a una persona (plafones, muros, suelos, equipos de trabajo, etcétera) y que influye en la pérdida o ganancia de calor de dicha persona debido al intercambio de la energía. García (1996), investigador internacional especialista en arquitectura bioclimática, establece que el rango de confort se puede considerar rígido en un rango de 18°C a 23°C para cualquier época del año, rangos utilizados para el modelo de optimización desarrollado en este proyecto de investigación.



2) Predicted Mean Vote (PMV): Opinión Media Estimada, es un índice de confort térmico vital en el cálculo del confort térmico, como lo menciona Gálvez (2013). El índice PMV se refiere a la comodidad higrotérmica en una escala de siete grados, desde el frío (-3), pasando por el valor neutro o cero, hasta el calor (+3) (Fanger, 1970). En este caso, el valor ideal es el neutro 0 (cero), ya que las pérdidas son iguales a las ganancias (Figura 1). Para cumplir con la Norma 55 de ANSI/ASHRAE (2017), el límite térmico recomendado en la escala de 7 puntos de PMV está entre -0.5 y 0.5. De igual forma, de acuerdo a la ISO 7730 (2005) establece un límite "rígido" entre -1 y +1, considerado para los cálculos matemáticos en el modelo de optimización desarrollado.

3) Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD): El Porcentaje Pronosticado de Insatisfechos es un índice que establece una predicción cuantitativa del porcentaje de personas insatisfechas. ANSI/ASHRAE Norma 55 (2017), determina que se puede lograr el confort térmico con base en una tasa de satisfacción del 85% o más de los ocupantes, es decir, si el 15% de los ocupantes está insatisfecho con su ambiente interior, el edificio y el sistema en general se consideran aceptables, puesto que el resto está en condiciones de confort.

Figura 1. Índice Predicted Mean Vote (PMV).

Fuente: Elaboración propia a partir de los estudios de Fanger (1970).

Modelo de optimización para la toma de decisiones en el diseño arquitectónico

Las metodologías son aquellos elementos bajo una estructura ordenada, lógica y organizada para encontrar la solución de un problema en especial, en este caso, lograr condiciones de **confort en el usuario**. Por lo tanto, el presente desarrollo experimental se enfoca en la aplicación de **tecnologías digitales** con el uso especial de dos software: *Autodesk Ecotect Analysis 2011* para el levantamiento del prototipo y el análisis de los tres índices de confort, y *Matlab 2019* para la implementación del **modelo de optimización** y la programación matemática, que permita automatizar y generar las recomendaciones de diseño. Dicho lo anterior, la metodología experimental consta de las siguientes etapas:

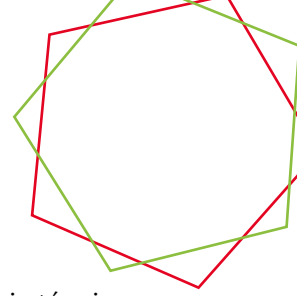
El diseño arquitectónico es un trabajo muy complejo de acuerdo a la gran cantidad de variables y aspectos formales que le dan vida al objeto arquitectónico.

Etapas 1: Modelado y análisis de los índices de confort en Autodesk Ecotect Analysis 2011

El diseño arquitectónico es un trabajo muy complejo de acuerdo a la gran cantidad de variables y aspectos formales que le dan vida al objeto arquitectónico. Existen muchas variables que pueden tomarse e integrarse en futuras líneas de investigación, sin embargo, para acotar variables y para fines prácticos de la investigación, se definieron y seleccionaron los elementos que el arquitecto o diseñador puede controlar en la práctica profesional, estableciendo el modelo formal (Figura 2) de la siguiente forma:

Variables fijas:

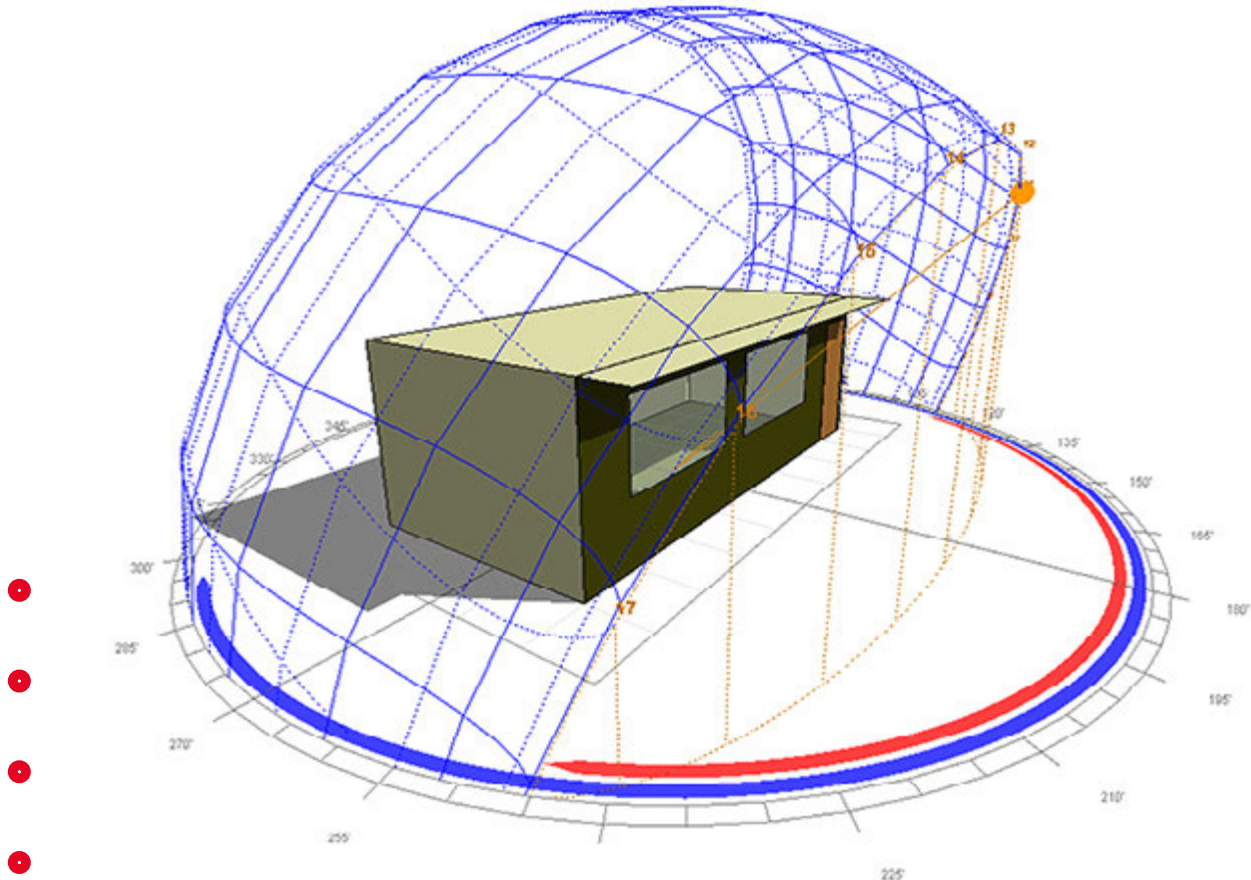
- ▶ Dimensiones del espacio: 8.00 m de largo por 4.00 m de ancho.
- ▶ Orientación: norte-sur
- ▶ Tipo de techo: plano.



Variables con varias opciones:

- ▶ Altura del espacio: alta (2.70m) o baja (2.30) de acuerdo a los rangos mínimos recomendados en el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal de Arnal, L. & Betancourt, M. (2019).
- ▶ Densidad del material: para muros kg/m^3 (alta o baja), para techos kg/m^3 (alta o baja) de acuerdo a la biblioteca de materiales de Autodesk Ecotect Analysis, 2011.
- ▶ Acabado de los materiales: acabado liso con acabados en colores con reflectancia alta (80%) o acabado liso en colores con baja reflectancia (20%).
- ▶ Sistema de ventilación: unilateral o cruzada.
- ▶ Tipo de cristal en ventanas: alta transmitancia térmica $\text{w/m}^2\text{k}$ (cristal sencillo 6 mm) o baja transmitancia térmica $\text{w/m}^2\text{k}$ (sistema de doble cristal 6-10-6) de acuerdo a la Biblioteca de materiales de Autodesk Ecotect Analysis, 2011.

Figura 2. Prototipo modelado en Autodesk Ecotect Analysis, 2011.
Fuente: Elaboración propia.





Etap 2: Definición de periodos de estudio

Equinoccio de primavera (21 de marzo), solsticio de verano (21 de junio) y solsticio de invierno (21 de diciembre), a las 3:00 am y 3:00 pm para cada estación del año, por ser los momentos críticos de baja y alta temperatura respectivamente.

Etap 3: Sitios de aplicación

De acuerdo a la clasificación bioclimática (Tabla 1), se seleccionaron todos los sitios de acuerdo con los requerimientos de temperatura y precipitación para tener la base de datos de todos los escenarios climáticos. Semifrío seco: Ciudad de México. Semifrío: Puebla, Pue. Semifrío húmedo: Xalapa, Veracruz. Templado seco: Celaya, Guanajuato. Templado: Guadalajara, Jalisco. Templado húmedo: Tepic, Nayarit. Cálido seco: Chihuahua, Chihuahua. Cálido semihúmedo: Coquimatlán, Colima, y cálido húmedo: Cancún, Quintana Roo.

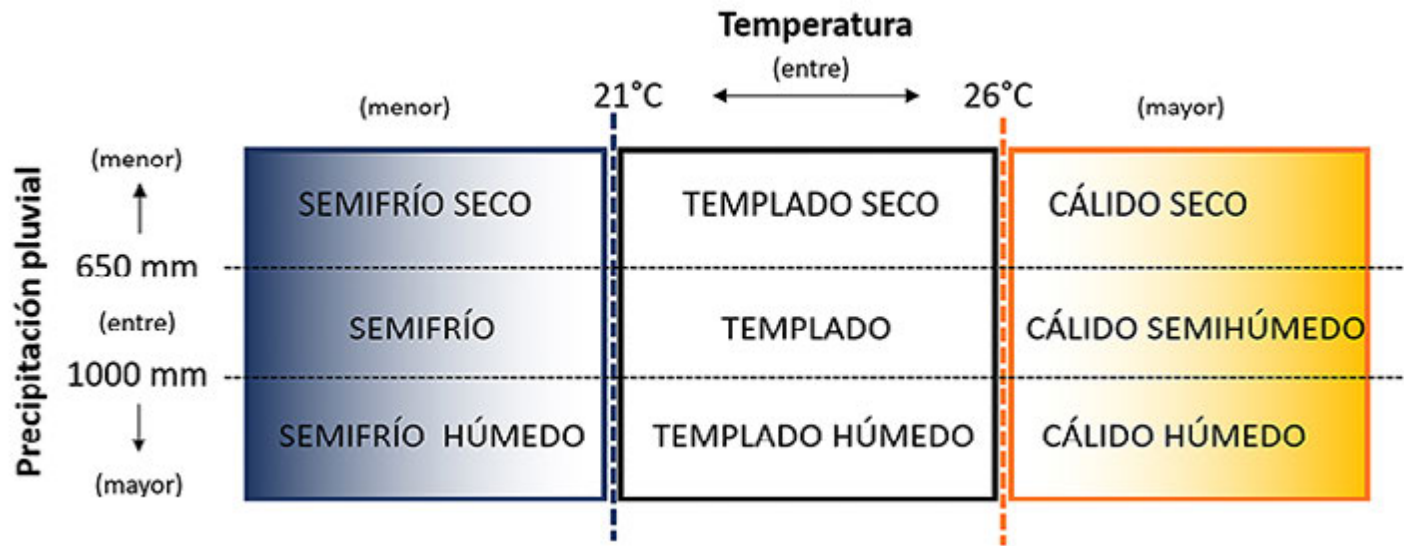


Tabla 1. Clasificación de los bioclimas.
Fuente: Elaboración propia a partir de los trabajos de King (1994) y Morillón (2004 y 2005).





Etapla 4: Modelo de optimización para el tratamiento, análisis e interpretación de información de simulaciones desarrolladas

El prototipo se modeló con el objetivo de combinar y manipular todas las variables entre sí, y por ello se combinan sin repetirse e integran en su totalidad en un modelo formal (Figura 3), obteniendo 64 escenarios posibles, en los cuales se analizaron los tres índices de confort explicados anteriormente, para cada periodo de estudio y para cada bioclima elegido, generando 10,368 valores numéricos de acuerdo al modelo formal analizado.

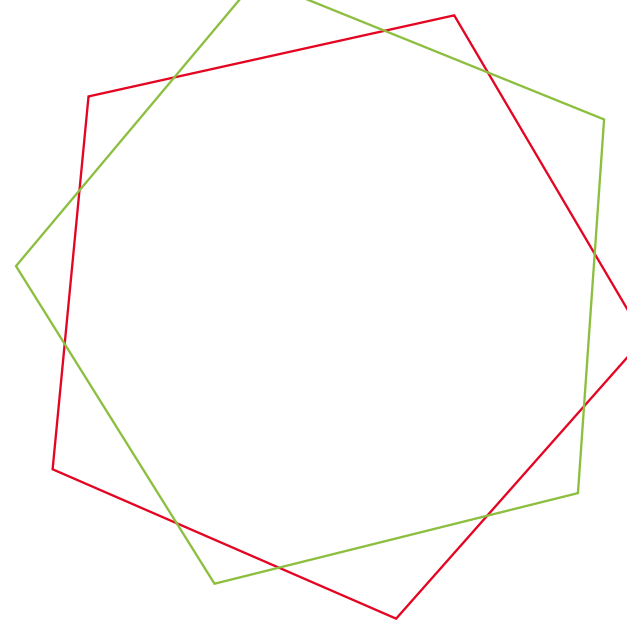
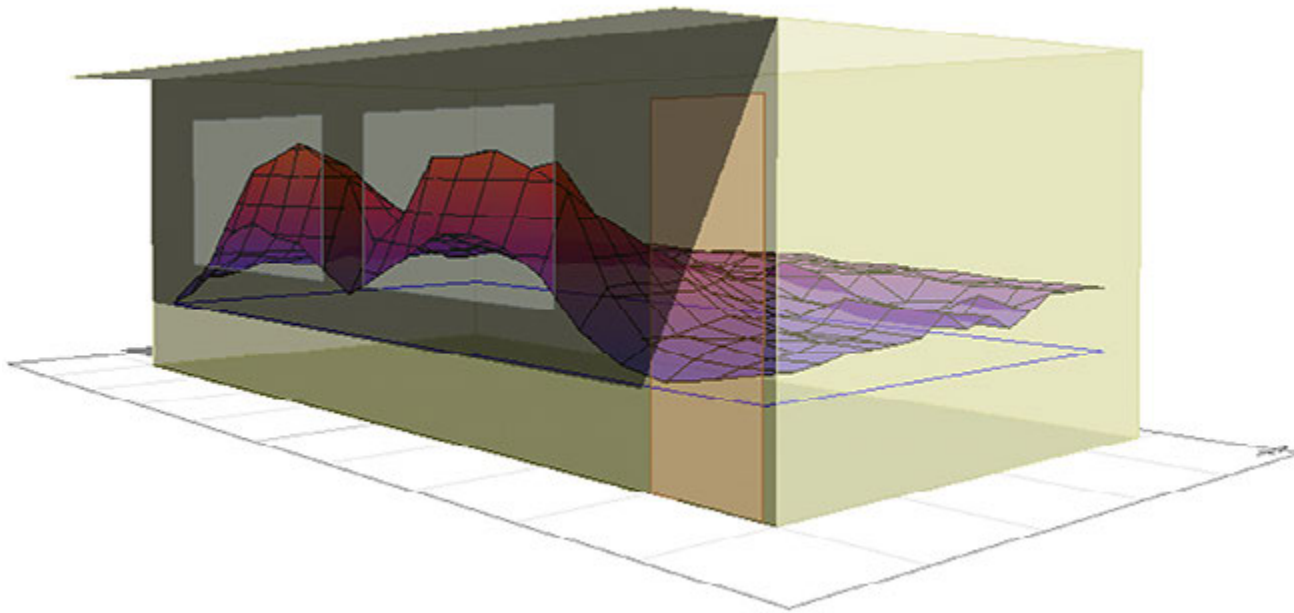
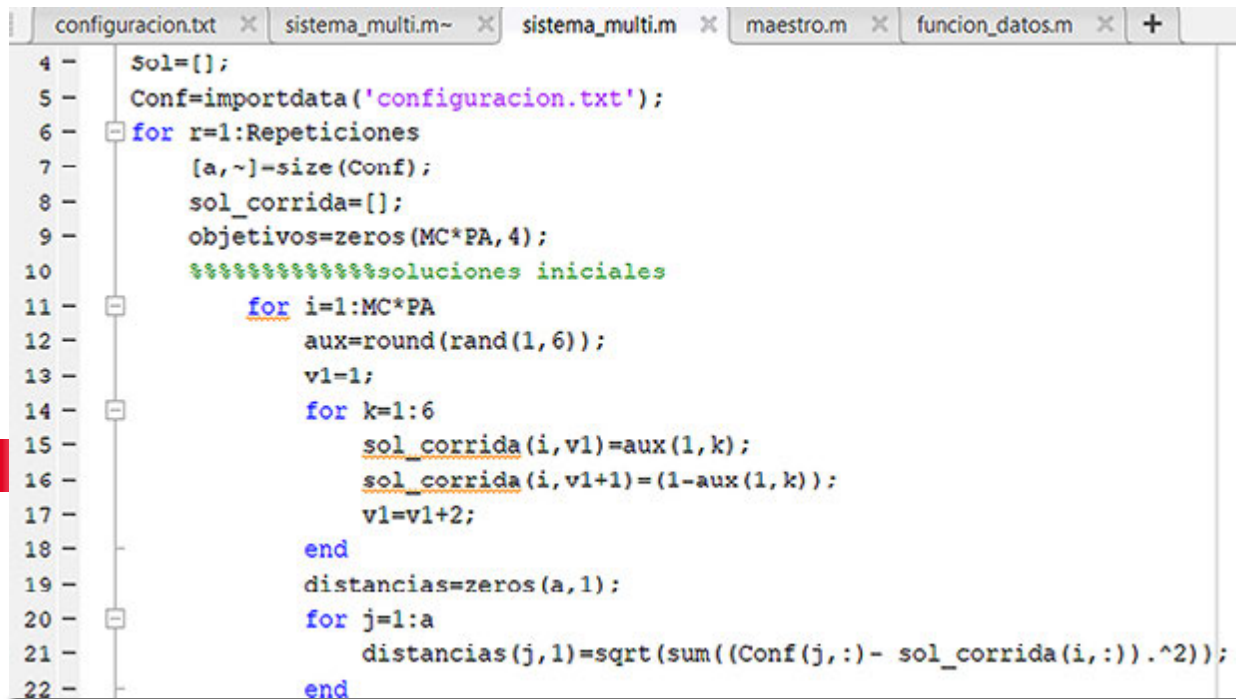


Figura 3. Interacción entre las variables de estudio.
Fuente: Elaboración propia



La parte central de la investigación radica en esta etapa, debido al análisis tan completo e integral realizado en *Matlab 2019*. Este software posee un gran número de prestaciones y permite la integración de modelos matemáticos tan complejos que se necesiten para el análisis y tratamiento de información según el objetivo que se desee lograr (Goering, 2007). La aplicación de la tecnología y el uso de la inteligencia artificial en *Matlab 2019* demandó planear el modelo y la técnica a utilizar para resolver y poder analizar todos los valores numéricos de las simulaciones previamente desarrolladas. En consecuencia, el modelo fue resuelto como un **problema de optimización**, es decir, calculando los valores de una función que, en el caso de estudio, son los datos obtenidos de los tres índices de confort. Sin embargo, dada la complejidad e integración del sistema, se resolvió como un **problema estocástico multiobjetivo y de optimización** para que proporcione un frente estadístico, y así poder tomar la mejor decisión o la mejor alternativa según el caso que se presente (Figura 4).



```
configuracion.txt x sistema_multi.m~ x sistema_multi.m x maestro.m x funcion_datos.m x +
4 - Sol=[];
5 - Conf=importdata('configuracion.txt');
6 - for r=1:Repeticiones
7 -     [a,~]=size(Conf);
8 -     sol_corrida=[];
9 -     objetivos=zeros(MC*PA,4);
10 -     %%%%%%%%%soluciones iniciales
11 -     for i=1:MC*PA
12 -         aux=round(rand(1,6));
13 -         v1=1;
14 -         for k=1:6
15 -             sol_corrida(i,v1)=aux(1,k);
16 -             sol_corrida(i,v1+1)=(1-aux(1,k));
17 -             v1=v1+2;
18 -         end
19 -         distancias=zeros(a,1);
20 -         for j=1:a
21 -             distancias(j,1)=sqrt(sum((Conf(j,:)- sol_corrida(i,:)).^2));
22 -         end
```

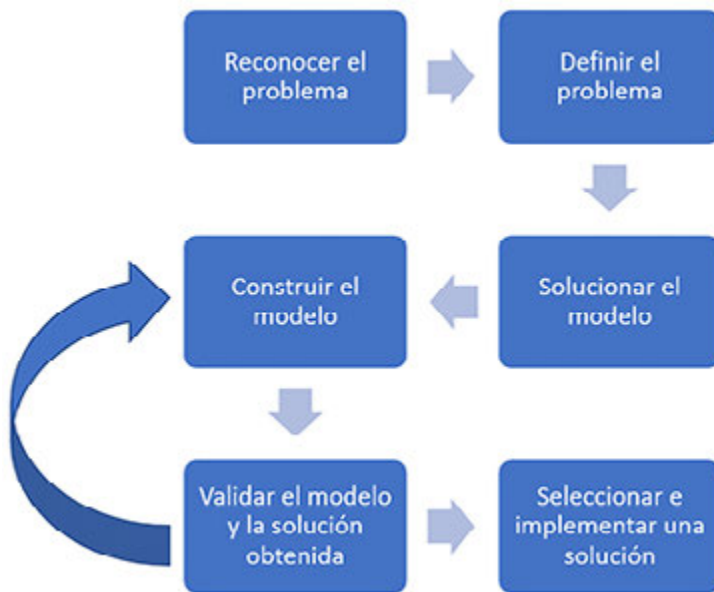
Figura 4. Programación del modelo de optimización y de multiobjetivo en *Matlab 2019*.
Fuente: Elaboración propia.

¿Qué es la optimización?

De acuerdo a Ackoff (1978), la optimización es la aplicación, por grupos interdisciplinarios, del método científico a problemas relacionados con el control de las organizaciones o sistemas a fin de que se produzcan las soluciones que mejor sirvan a los objetivos de toda la organización; en otras palabras, es obtener **la mejor solución posible de una actividad** o un proceso a través del uso adecuado de la información y conocimientos disponibles.

El **modelo de optimización matemático** utilizado en la programación informática del problema a resolver contiene los siguientes elementos:

- ▶ **Alternativas o variables de decisión:** son las decisiones cuantificables, cuyo valor afecta el desempeño del sistema. En otras palabras, las estrategias de diseño que mejor se apegan a los rangos de confort establecidos.
- ▶ **Restricciones:** representan un conjunto de relaciones o condiciones (expresadas como ecuaciones e inecuaciones) que un subconjunto de variables está obligado a satisfacer, es decir, los índices de confort que todo proyecto debe de lograr.
- ▶ **Función objetivo (o funciones multiobjetivo):** es la medida cuantitativa sobre la calidad de las soluciones de un problema. Se expresa como una función matemática de las variables de decisión.



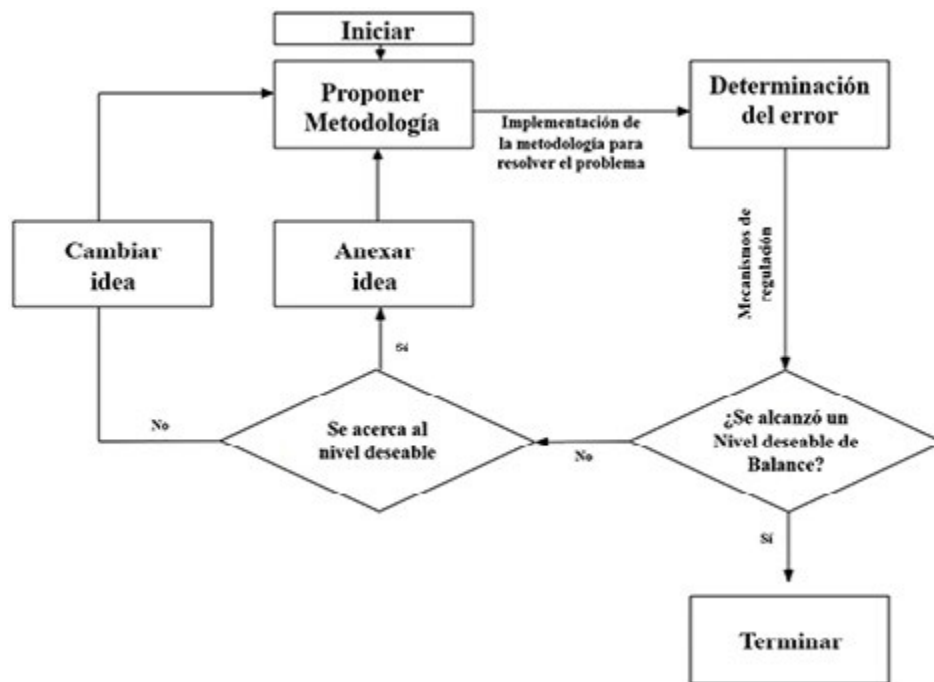
Por lo tanto, el modelado matemático desarrollado se nombró como un **proceso creativo-intelectual**, es decir, la fusión del diseño arquitectónico y la inteligencia artificial, para la generación de todos los modelos y combinaciones pertinentes, los cuales deben de ser sistemáticos, racionales y teóricamente guiados, cuyo objetivo principal es analizar y resolver problemas, en este caso **el confort del usuario**.

La modelación de este **problema de optimización** toma en cuenta el estudio y sistematización de la investigación de operaciones de Taha (2004), cuya metodología (Figura 5) aplicada al problema de estudio en *Matlab 2019* se puede considerar como un **potenciador del diseño arquitectónico** para seleccionar la mejor solución de diseño posible con las mejores condiciones de confort, de acuerdo con el lugar en donde se vaya a generar el proyecto arquitectónico.

Figura 5. Metodología de la investigación de operaciones en el modelo de optimización desarrollado. Fuente: Elaboración propia a partir de los estudios de Taha (2004).

¿Cómo se resolvió el problema de programación matemática?

La tarea esencial de la herramienta de optimización desarrollada consistió en localizar un punto meta dentro del espacio de soluciones, es decir, obtener las mejores condiciones de confort, lo cual solamente se puede asegurar mediante el empleo de algoritmos exactos. Sin embargo, el problema en el diseño arquitectónico es complejo, debido a la enorme cantidad de variables que entran en el análisis, por lo tanto, no sólo se requirieron dichos algoritmos, por lo que, de acuerdo con los estudios de Piaget (1971) se necesitó realizar una modificación en su formulación inicial como alternativas de solución que resolverán el problema en un tiempo polinomial de forma óptima (Figura 6).



Dicho lo anterior, en el modelo resuelto, al tratar **elementos matemáticos y estadísticos** aplicados en el diseño y en la informática, se manejaron los datos con el descubrimiento de los mejores valores de la función multiobjetivo, es decir, poder acceder a los rangos de confort de los tres índices definidos.

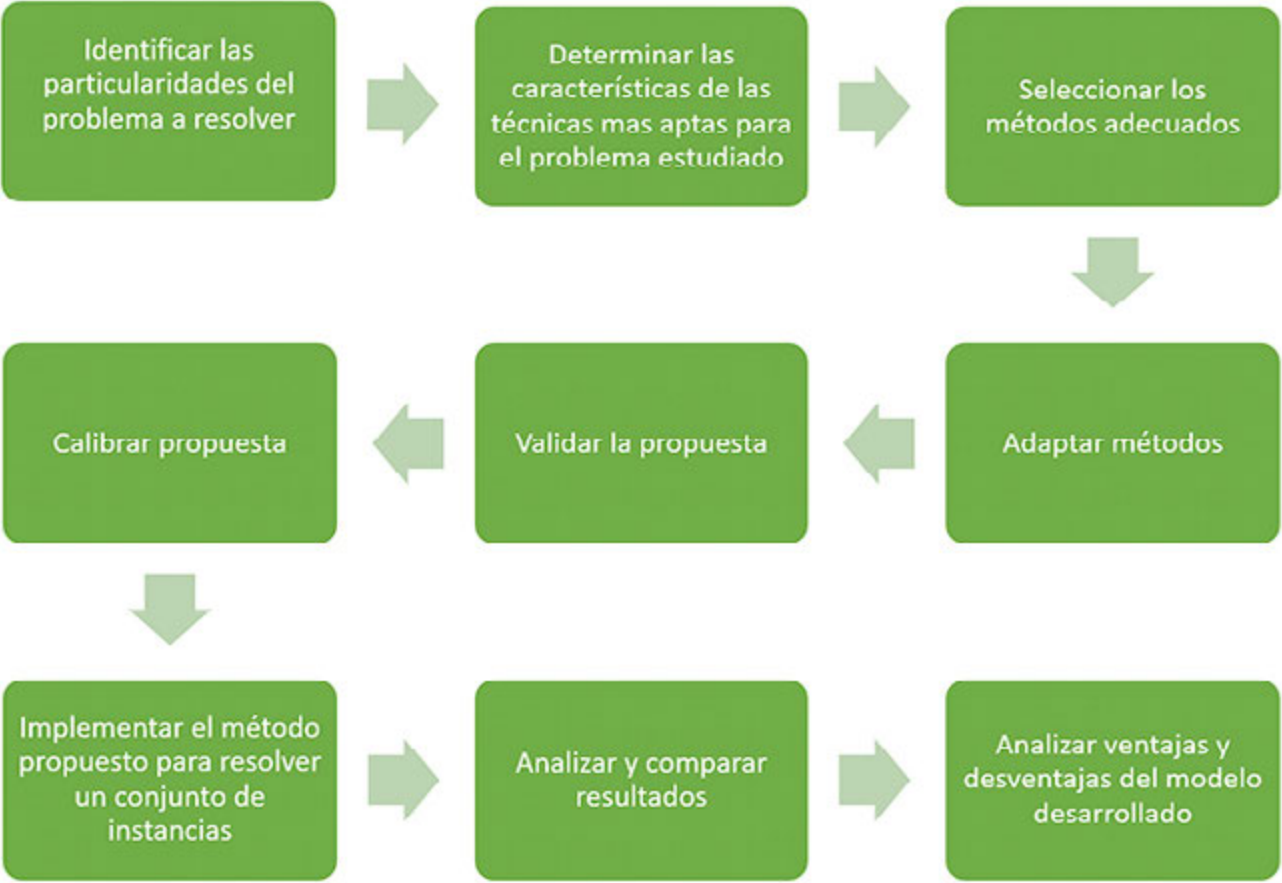
Al ser un **modelo multiobjetivo y de optimización**, el tratamiento de los datos obtenidos en las simulaciones se enfocaron en la acción y el efecto de optimizar, es decir, en resolver el sistema de la manera más eficiente posible, traduciendo los datos en valores binarios, utilizando la menor cantidad de recursos y gestionando eficientemente todos los procesos y valores obtenidos para generar la base datos integral que posteriormente nos permita generar las recomendaciones de diseño sustentable.

Figura 6. Metodología del problema de optimización y multiobjetivo. Mecanismo de Piaget para la búsqueda de balance.

Fuente: Elaboración propia a partir de los estudios de Piaget (1971).

Este **modelo de optimización y de multiobjetivo** se realizó como un **proceso estocástico** con programación de jerarquías, mínimos, máximos, filtros, repeticiones y condicionantes, para poder hacer búsquedas aleatorias guiadas o inteligentes con base en todos los escenarios simulados que estén más cercanos a las condiciones de confort de referencia (Figura 7) y así, al final, se puedan generar las recomendaciones de diseño que se pueden tomar en cuenta para cualquier proyecto.

Figura 7. Metodología utilizada para el desarrollo de la implementación.
Fuente: Elaboración propia a partir de los estudios de Taha (2004).





Etapa 5: Toma de decisiones

Concluyendo con la **optimización de la información** generada de todos los bioclimas existentes en México, como resultado final del análisis se muestran las recomendaciones de diseño (Tabla 2) que se pueden proponer de acuerdo a las mejores **condiciones de confort**.

RECOMENDACIONES GENERALES DE DISEÑO					
1	2	3	4	5	6
DENSIDAD		CONFIGURACIÓN (ALTURA)	ACABADO	VENTILACIÓN	TRANSMITANCIA DEL CRISTAL
MUROS	TECHOS				
1.- ALTA	1.- ALTA	1.- ALTO (MÍN. 2.7 M)	1.- REFL. ALTA (80%)	1.- UNILATERAL	1.- ALTA
2.- BAJA	2.- BAJA	2.- BAJO (2.30 M)	2.- REFL. BAJA (20%)	2.- CRUZADA	2.- BAJA

Tabla 2. Recomendaciones generales de diseño.
Fuente: elaboración propia.

La aplicación desarrollada, llamada AVDE (Aplicación de Visualización en Diseño Ecosustentable) (Figura 8), fue desarrollada como producto final para que el usuario pueda, en menos de dos minutos, conocer las recomendaciones de diseño necesarias, para que se pueda acceder a condiciones de confort. La aplicación no necesita un complemento extra, licencia, llave, ni tener instalado Autodesk Ecotect Analysis 2011 o Matlab 2019, y está disponible de forma gratuita en el departamento de posgrado de Ciencias y Artes para el Diseño en la Universidad Autónoma Metropolitana-unidad Azcapotzalco.

Figura 8. AVDE-Aplicación de Visualización en Diseño Ecosustentable.
Fuente: Elaboración propia.



Una vez instalado en cualquier sistema operativo, se procede a ejecutar el icono de acceso rápido en el escritorio; al ser un programa de rápido acceso y fácil de usar, en un lapso máximo de 10 segundos se abre la única ventana con la cual el usuario podrá interactuar, dividida en 3 secciones (Figura 9).

1

Datos necesarios

Temperatura

14.6

Precipitación

275.7

Correr con parámetros recomendados

2

Parámetros (técnica)

Compositores

Repeticiones

Evaluaciones

Cambio Social

Cambios por genialidad

Cambios por innovación

Memoria del compositor

Pruebas

Correr

3

Resultado recomendación

Materiales para muros:

Opción 1

Materiales para techos:

Opción 1

Altura del espacio:

Opción 2

Color en los acabados:

Opción 2

Sistemas de Ventilación:

Opción 2

Tipo de cristal:

Opción 2

Figura 9. Interacción y solicitud de datos al usuario, parámetros de corridas especiales y resultados. Fuente: AVDE-Elaboración propia.

Los únicos datos que el arquitecto, diseñador, ingeniero o, en general, cualquier persona interesada debe de ingresar son los siguientes:

- ▶ Temperatura: se refiere a la temperatura media normal.
- ▶ Precipitación: la precipitación pluvial anual o normal.

Escoger la opción: Correr con parámetros recomendados.

La figura anterior es el resultado del proceso de análisis y de ejecución de todo el trabajo de investigación en donde se le informa al diseñador, de forma concreta y puntual, qué acciones debe considerar en el proceso del diseño. Es importante señalar que son 3 resultados puntuales que AVDE muestra al final de la corrida del análisis:

1. Resultado de las recomendaciones
2. Gráfica de barras y de dispersión como elementos de apoyo estadístico
3. Gráfica de corridas para la toma de decisiones.

Dicho lo anterior, para el caso de la Ciudad de México, con un bioclima **semifrío seco**, las mejores alternativas en las cuales el espacio entra en condiciones de confort, de acuerdo al **modelo de optimización y multiobjetivo** programado en *Matlab 2019* (Figura 10) y de acuerdo a la Tabla 2 de recomendaciones generales, son las siguientes:

- ▶ Muros: sistemas compuestos de densidad alta de adobe con aplanados de mortero.
- ▶ Techos: sistemas compuestos de densidad alta de losa aislante con aplanados de mortero.
- ▶ Altura del edificio: bajo de 2.30 m.
- ▶ Acabado liso con reflectancia alta (80%).
- ▶ Sistema de ventilación: cruzada.
- ▶ Tipo de cristal de baja transmitancia térmica: sistema de doble cristal 6-10-6.

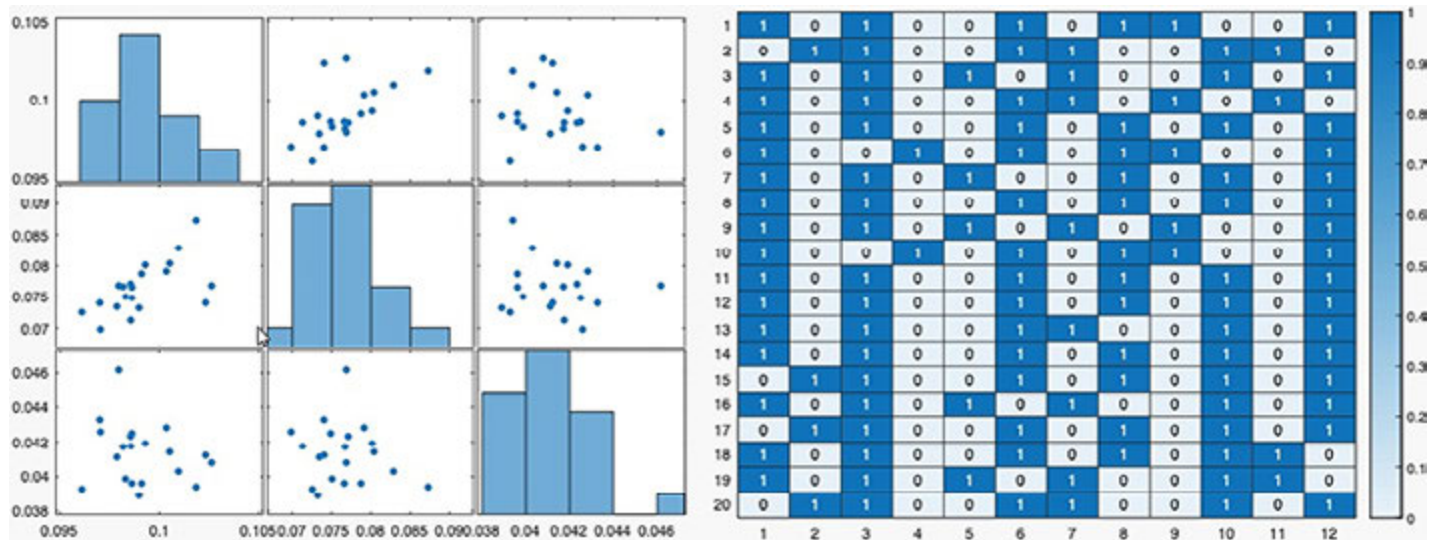


Figura 10. Análisis del sistema multiobjetivo y de optimización en Matlab 2019 para la Ciudad de México. Fuente: AVDE-Elaboración propia.

En Cancún, Quintana Roo, con un bioclima **cálido húmedo** (Figura 11), las recomendaciones de diseño son:

- ▶ Muros: sistemas compuestos de densidad baja con aplanados de mortero.
- ▶ Techos: sistemas compuestos de densidad de losa aislante con aplanados de mortero.
- ▶ Altura del edificio: alto de 2.70 m.
- ▶ Acabado liso con reflectancia alta (80%).
- ▶ Sistema de ventilación: cruzada.
- ▶ Tipo de cristal de baja transmitancia térmica: sistema de doble cristal 6-10-6.

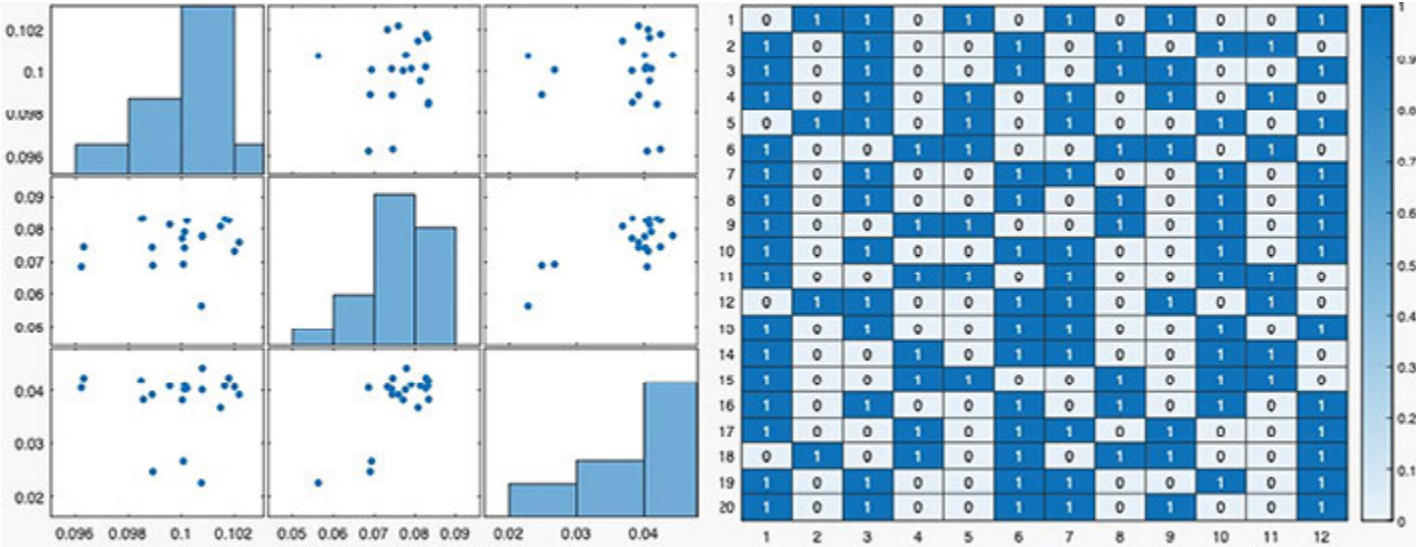


Figura 11. Análisis del sistema multiobjetivo y de optimización en Matlab 2019 para Cancún, Q. Roo. Fuente: A.V.D.E-Elaboración propia.

Por último, otro ejemplo de aplicación: en Chihuahua, Chihuahua, con un bioclima **cálido-seco** (Figura 12), las recomendaciones de diseño son:

- ▶ Muros: sistemas compuestos de densidad alta como el adobe con aplanados de mortero.
- ▶ Techos: sistemas compuestos de densidad de losa aislante con aplanados de mortero.
- ▶ Altura del edificio: alto de 2.70 m.
- ▶ Acabado liso con reflectancia alta (80%).
- ▶ Sistema de ventilación: unilateral.
- ▶ Tipo de cristal de baja transmitancia térmica: sistema de doble cristal 6-10-6.

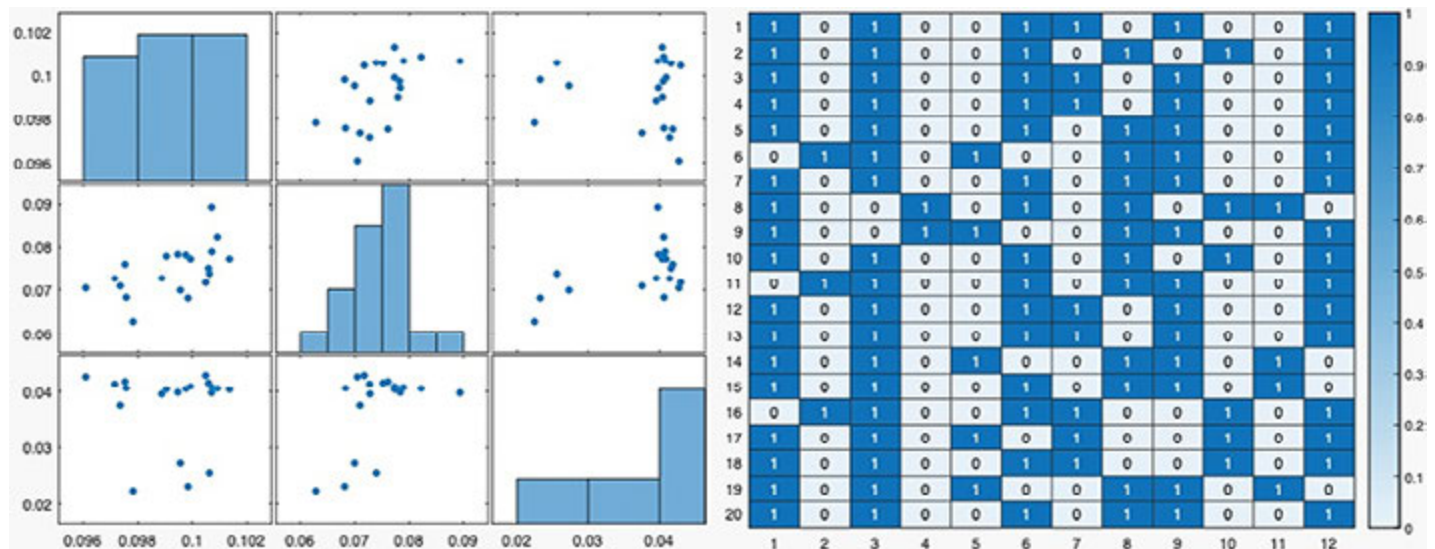


Figura 12. Análisis del sistema multiobjetivo y de optimización en Matlab 2019 para Chihuahua, Chihuahua. Fuente: AVEDE-Elaboración propia.

Conclusiones

Con la generación de nuevas prácticas en el desarrollo del conocimiento, se manifiesta la necesidad de generar nuevos contextos que deben ser integrados en la enseñanza y en la práctica profesional, aprovechando el enorme potencial que brinda la aplicación de **las tecnologías y la visualización de la información** aplicadas al diseño sustentable. Por ello, se analizaron todos los tipos de bioclimas que presenta la República Mexicana, con el fin de generar una base de datos completa, con las variables de diseño incluídas y los índices de confort que debe de perseguir toda propuesta de diseño. Posteriormente, con la integración y resolución del **modelo multiobjetivo y de optimización**, y la programación y el tratamiento estadístico de los datos, el usuario **podrá obtener las recomendaciones de diseño** más adecuadas para cualquier punto espacial de México, indicando solamente la temperatura media y la precipitación media pluvial del sitio en donde se ubique el proyecto.

Este artefacto digital desarrollado sirve como **potenciador de diseño para poder generar** las recomendaciones necesarias que se puedan implementar en la fase de conceptualización o de anteproyecto. Para estas etapas de diseño resulta de suma importancia, ya que permitirá tener en cuenta los elementos de diseño sustentables básicos desde un inicio. De igual forma, para proyectos que ya estén contruidos, esta herramienta ayudará a la toma de decisiones que puedan ser implementadas en remodelaciones o ampliaciones para que el usuario pueda experimentar condiciones de confort.

AVDE (Aplicación de Visualización en Diseño Ecosustentable) tiene como finalidad ser **digerible, aprendible y enseñable a todos los interesados**; para que se pueda repetir en cualquier proyecto, cualquier clima y, sobre todo, que ayude a establecer un camino, de los muchos posibles, generando las condiciones de comodidad, bienestar y confort que requiere el ser humano para realizar sus actividades.

Referencias

- Ackoff, R. (1978). *El arte de resolver problemas*. Pensilvania: Limusa.
- ANSI/ASHRAE Norma 55 (2017), *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Recuperado de: https://www.techstreet.com/ashrae/standards/ashrae-55-2017?product_id=1994974 (Fecha de consulta: 2 de mayo de 2020).
- Arnal, L., & Betancourt, M. (2019). *Reglamento de construcciones para el Distrito Federal*. México: Trillas.
- Fanger, P. (1970). *Thermal comfort*. Copenhagen: Danish Technical Press.
- Gálvez, M. (2013). *Instalaciones y Servicios Técnicos*. Madrid: Sección de Instalaciones de Edificios. Escuela Técnica Superior de Arquitectura, U.P.M.
- García, J. (1996). *Diseño bioclimático para ahorro de energía y confort ambiental integral*. Universidad Autónoma Metropolitana. Departamento de Medio Ambiente. México: UAM.
- Goering, R. (2007). *Matlab edges closer to electronic design automation world*. EE Times.
- ISO 7730 (2005). *Ergonomics of the thermal thermal environment. Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criterio*. Asociación Española de Normalización y Certificación.
- King, D. (1994). *Acondicionamiento bioclimático*. México: UAM-Xochimilco.
- Morillón, G. (2004). *Atlas del bioclima de México, II*. México: UNAM.
- Morillón, G. (2005). *Recomendaciones bioclimáticas para diseño arquitectónico y urbano: Estudios aplicables en Chihuahua, Cd. Juárez*. Región Lagunera y Durango. México: CFE-PAESE
- Organización Mundial de la Salud (1948). ¿Cómo define la OMS la salud? Recuperado de: <https://www.who.int/es/about/who-we-are/frequently-asked-questions> (Fecha de consulta: 20 de abril de 2020).
- Piaget, J. (1971). *El estructuralismo*. 3a. ed. Buenos Aires: Proteo.
- Rodríguez, L. (1989). *Para una teoría del Diseño*. México: UAM- Azcapotzalco.
- Rubio, R. (2011). *Repercusión medioambiental del uso de la cerámica estructural en España. Energía embebida y emisiones de CO2*. Madrid.
- Schumacher, P. (2004). *Responsive Environments-From Drawing to Scripting*, The challenge presented by the new level of dynamic complexity in the metropolitan life processes and the opportunity presented by the development of new powerful digital design tools. Estocolmo: Royal Institute of Technology. Recuperado de: <http://www.patrikschumacher.com/Texts/AADRLDrawingScripting.html> (Fecha de consulta: 29 de abril de 2020).
- Taha, H. (2004). *Investigación de Operaciones*. Trad. de Gonzáles P. V. s.l.: Arkansas: Pearson Educación.