



Received: 16-02-2017
Accepted: 28-02-2017

La simulación digital como herramienta para el reacondicionamiento bioclimático de edificios. Digital simulation as a tool for bioclimatic re-conditioning of buildings.

Andrea Sancho Salas

Universidad de Costa Rica (andrea.sancho_s@ucr.ac.cr)

Resumen— El presente estudio propone e implementa una metodología para analizar el comportamiento de edificios existentes en respuesta a variables climáticas y geográficas específicas, mediante el uso de simulaciones termodinámicas digitales que permitan modificaciones para mejorar el confort interno. El análisis se realizó por medio de seis casos de estudio ubicados en tres zonas de vida de Costa Rica: Bosque Seco Tropical (Bs-T), Bosque Húmedo Premontano (Bh-p) y Bosque Muy Húmedo Premontano (Bmh-p). Las edificaciones estudiadas son iglesias vernaculares de la época de 1901-1950. La metodología permite identificar los factores principales que influyen dentro del comportamiento térmico interior y establecer cuáles modificaciones se pueden implementar para lograr mayor bienestar, tanto en los casos de estudio, como en futuros diseños con condiciones similares.

Palabras clave— Clima Tropical, Simulación Energética, Zonas de Vida, Confort Higrótérmico.

Abstract- The present study proposes and implements a methodology to analyze the behavior of existing buildings in response to specific climatic and geographic variables, through the use of digital thermodynamic simulations that allow modifications to improve internal comfort. The analysis was carried out by means of six case studies located in three zones of life of Costa Rica: Tropical Dry Forest (Bs-T), Premontane Wet Forest (Bh-p) and Premontane Very Humid Forest (Bmh-p). The buildings studied are vernacular churches dating from 1901-1950. The methodology allows to identify the main factors that influence the internal thermal behavior and to establish which modifications can be implemented to achieve greater welfare, both in the case studies and in future designs with similar conditions.

Index Terms— Tropical Climate, Energy Simulation, Zones of Life, Hygrothermal Comfort.

I. INTRODUCCIÓN

El refugio se ha convertido en la defensa más elaborada contra la gran variedad de climas y a medida que ha evolucionado se ha diversificado con ingenio. La existencia de la arquitectura se debe en sí a la presencia de las condiciones

del ambiente exterior, ya que es debido a éstas que el hombre ha tenido que refugiarse en busca del confort y de una mejora en su calidad de vida.

El mundo se encuentra en una etapa de revaloración y acción, consecuencia de los años de industrialización vividos. El enfoque actual busca la personalización de los espacios. Lo fundamental en el diseño es lograr condiciones de confort ambiental para los ocupantes de las edificaciones, así como ahorrar y hacer un uso eficiente de la energía, preservando y

A. Sancho es licenciada en Arquitectura en la especialidad de Arquitectura Bioclimática Costarricense. Trabaja en el laboratorio de Arquitectura Tropical de la Escuela de Arquitectura, en la Universidad de Costa Rica.



Fig. 1. Imágenes correspondientes a 2 viviendas en Costa Rica; Se pueden observar similitudes en lo materiales utilizados, ventanería y techos, a pesar de ser dos climas opuestos. (a) Vivienda en Guardia, Liberia, Bs-T. (b) Vivienda de San Antonio, Turrialba, Bmh-p..

mejorando el ambiente y la calidad de vida del hombre y sus futuras generaciones. Según la sociedad, así va a ser la manera en que se quiera vivir y el tipo de vivienda que se quiera desarrollar. Por esta razón, utilizar el clima como el factor primordial para diseñar una edificación es una necesidad. La pluralidad bioclimática con la que cuenta Costa Rica debido a su ubicación geográfica y la amplitud altitudinal de su territorio es innegable. Sin embargo, el diseño de las edificaciones alrededor del país es muy similar (figura 1).

En atención a lo antes expuesto, se propone una metodología que busca un entendimiento alternativo de la relación entre el ser humano, el edificio y su entorno. Se analiza la afectación del ambiente climático interior de edificaciones existentes en tres zonas de vida que se encuentran en Costa Rica (figura 2). El diseño óptimo de cerramientos es considerado una tarea importante entre las medidas a implementar para ahorrar energía en los edificios, por lo que se propone evaluarlos con especial atención en las condiciones climáticas locales. Además, con el fin de lograr planteamientos aplicables en otras regiones con características medioambientales similares, se utilizan como parámetros la temperatura y humedad de las tres zonas de vida.

A través de la manipulación de datos climáticos, se obtiene un estado inicial (comportamiento ambiental real) y después de una detallada calibración, se realizan simulaciones energéticas en un ambiente digital, para identificar cómo se puede mejorar y optimizar el confort del ser humano en el espacio, con la intención de encontrar una respuesta más congruente a la sociedad y el hábitat de Costa Rica.

II. METODOLOGÍA

La metodología establece diferentes etapas a seguir para

determinar las modificaciones físicas que logren aumentar el índice de confort higrotérmico en la edificación. Sin embargo, antes de describir las etapas, se presenta el marco teórico conceptual que orientó la investigación.

A. Marco Teórico Conceptual

Cerramientos

El sistema de cerramiento, también conocido como envolvente, es un sistema primario pasivo que tiene una serie de requerimientos principales como el control de flujo de aire, control del flujo de vapor de agua, penetración de la lluvia y de la luz solar, control de ruido y del fuego, proveer rigidez, ser durable, estéticamente placentero y económico (Hutcheon,

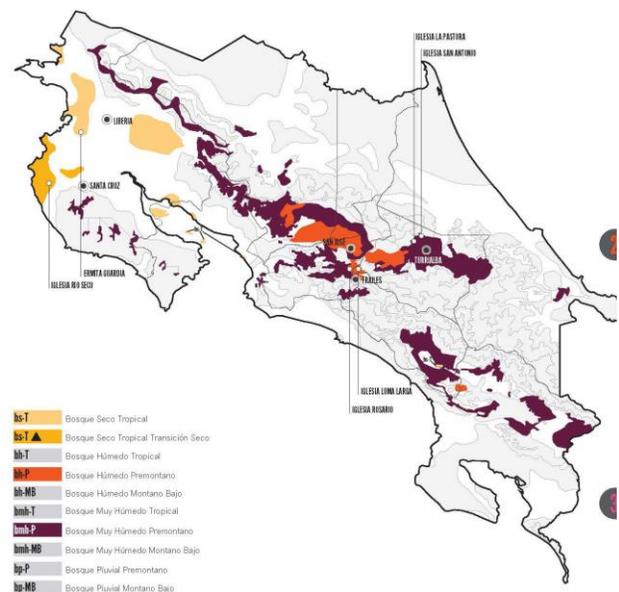


Fig. 2. Identificación de zonas de vida de estudio y ubicación de edificaciones analizadas.

1963). Otra manera de definirlo es, aquel medio físico que separa el exterior y el interior de un edificio para delimitar el espacio arquitectónico y acondicionarlo de manera tal que pueda cumplir funciones para las que fue creado.

La envolvente es una estructura conformada por un conjunto de sistemas individuales: piso, cubierta, paredes, pieles, puertas y ventanas. La integración de éstos es crítica en el confort interno durante todo el año. Los materiales y el ensamblaje de los mismos juegan un papel muy importante en el desempeño climático que tenga el edificio. Por esta razón, es necesario conocer la envolvente para determinar la ganancia o pérdida de calor, penetración de humedad, ventilación, infiltración, entre otras.

Zonas de vida

En Costa Rica existen diferentes sistematizaciones climáticas. Para los efectos de esta investigación se utiliza el sistema de clasificación según las zonas de vida de Leslie Holdridge. Éste se fundamenta en la relación existente entre el clima y la vegetación, basado en estudios a largo plazo de patrones encontrados en variedad de lugares tropicales. Cada zona de vida representa un hábitat distinto y un estilo de vida diferente.



Fig. 3. Mapa de Ecología según Zonas de Vida en Costa Rica. Fuente: Centro Científico Tropical.

Mediante este sistema, existen en Costa Rica doce zonas de vida y doce zonas de transición. Las zonas se encuentran distribuidas en pisos altitudinales (figura 3). Se han realizado mapas, partiendo de datos meteorológicos y estableciendo la relación del clima con la vegetación y el patrón de uso de la tierra. En Costa Rica, el Centro Científico Tropical es la entidad que desarrolló este mapa.

Confort y Sensación integral de bienestar

El ASHRAE Standard 55-2013 (ASHRAE, 2013) define confort como la condición de la mente en la cual expresa

satisfacción con el acondicionamiento térmico ambiental. Sin embargo, algunas otras definiciones lo caracterizan como “el estado ideal del hombre, que supone una situación de bienestar, salud y comodidad en la cual no existe en el ambiente distracción o molestia que perturbe física o mentalmente” (Serra, 2004).

El confort higrotérmico es una variable importante para el reacondicionamiento bioclimático de edificaciones. Existen múltiples estudios sobre el mismo, en donde se desarrollaron fórmulas, tablas y gráficas que permiten obtener aproximaciones sobre posibles condiciones de confort en un sitio. Los datos que se han tomado en cuenta son factores y parámetros ambientales: arropamiento, actividad metabólica, temperatura, humedad relativa, velocidad de viento y temperatura radiante. En el caso de esta investigación, se utilizaron el ábaco psicométrico, el Climograma de Bienestar Adaptado y el Índice de Fanger.

Simulación energética en edificios

La simulación de energía consiste en modelar el comportamiento energético de un edificio según sus características físicas (materiales, distribución, zonas, etc.) y los sistemas que lo conforman, mediante programas de computadora. Este método permite evaluar la interacción y el impacto de los diferentes elementos que se encuentran en una edificación como iluminación del espacio, cargas térmicas, uso, entre otros. Mediante esta metodología, se busca someter el modelo digital a un ambiente controlado específico, escogido por el diseñador según las intenciones o el sitio de estudio; esto con el propósito de generar conclusiones como base en los resultados que obtenga de dicho proceso.

Los programas de simulación computacional son una herramienta para predecir el consumo de energía de los edificios y validar su diseño pasivo. Para efectos de esta propuesta, se utilizan dos: Ecotect® y Design Builder®.

B. Propuesta Metodológica e implementación

El proceso metodológico se fundamenta en la teoría del diseño basado en el desempeño. Esta teoría utiliza como punto de partida el comportamiento específico de un edificio y busca optimizarlo por medio de alteraciones. Una vez modificado, el resultado será empleado como parámetro de inicio para comenzar nuevamente el proceso en la siguiente fase. La principal herramienta para llevar a cabo esta metodología es la simulación mediante modelos computarizados.

La metodología se implementa en 6 edificaciones, 2 por cada zona de vida estudiada: Z1 Bosque seco tropical, Z2 Bosque húmedo Premontano, Z3 Bosque muy húmedo Premontano (figura 4).

Las iglesias representan una tipología de edificio cuya variabilidad no es significativa, lo que permite observar otro tipo de parámetros con más detalle. En ellas existe un protocolo de vestimenta y comportamiento del usuario, lo que

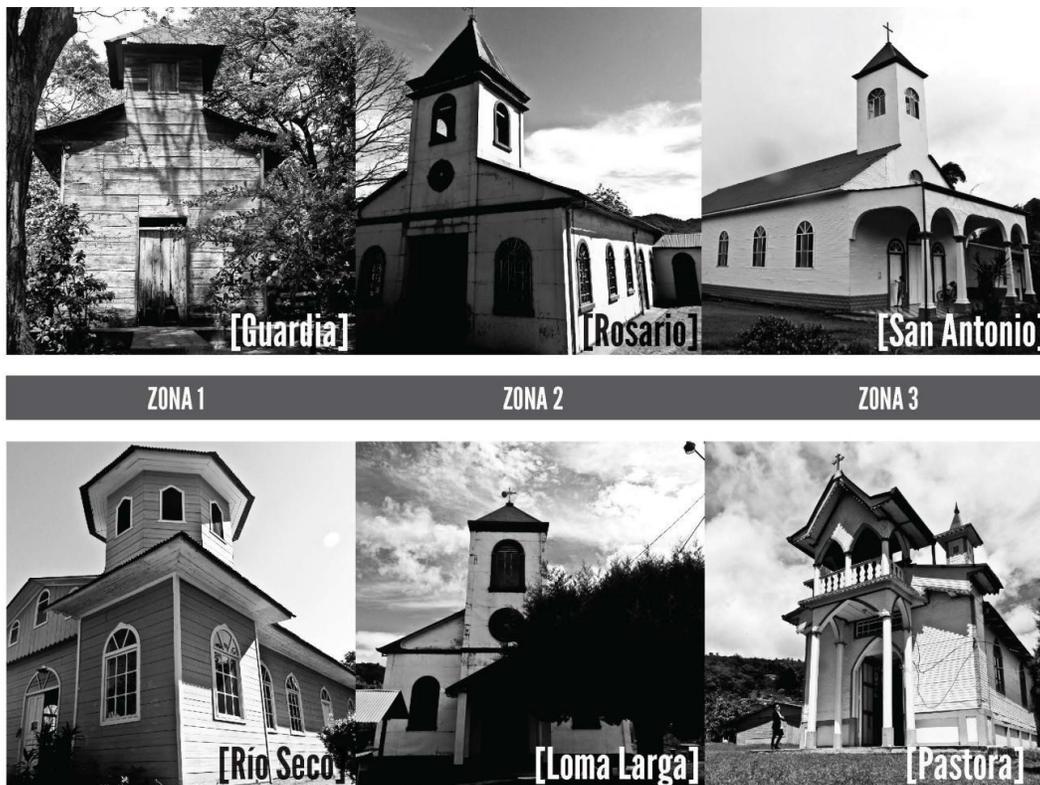


Fig. 4. Imágenes de las 6 edificaciones de estudio.

ayuda a estabilizar el arropamiento y la actividad metabólica que se lleva a cabo en la edificación. Por esta razón, las edificaciones seleccionadas para el experimento son iglesias, todas de la misma época constructiva. Además, son edificios patrimoniales, por lo que su uso no es frecuente sino solo una hora por semana. No presentan colindancias, lo que evita la transmisión directa de calor desde edificios anexos.

El hecho de que las edificaciones sean antiguas y por lo

tanto vernaculares también fue un aspecto que se consideró en su elección, debido a que el manejo de los materiales y la adaptación al territorio abarca patrones culturales del sitio.

A continuación se realiza una descripción de las etapas metodológicas implementadas (figura 5), incluyendo cada una de las actividades realizadas y herramientas utilizadas (dispositivos experimentales). A modo de ejemplo de aplicación, se tomarán como referencia imágenes aleatorias de

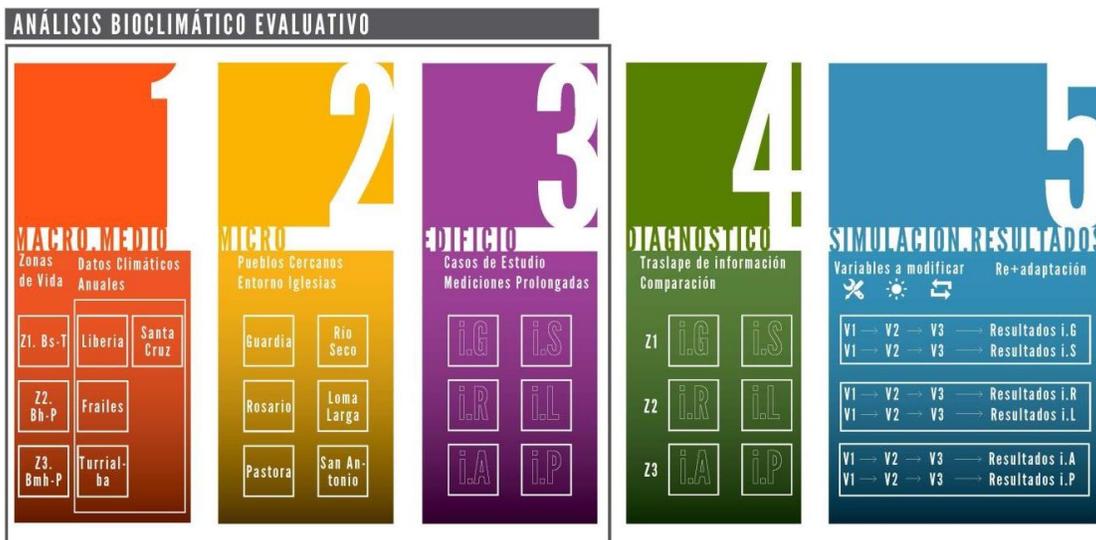


Fig. 5. Etapas metodológicas propuestas para el estudio de adaptación al clima.



Fig. 6. Mapa de ubicación del entorno medio, Iglesia de Río Seco, Santa Cruz, Guanacaste.

los 6 estudios de caso.

Descripción y ejemplificación de las etapas metodológicas

La metodología planteada comienza con un análisis bioclimático evaluativo por escalas. El mismo consiste en la descripción del contexto geográfico y climático de cada caso de estudio en tres escalas distintas.

La primera escala corresponde al macro entorno y meso entorno, en donde se describe la zona de vida escogida y la región específica (provincia, cantón, distrito). Además, mediante la recopilación y el procesamiento de datos se establece el rango de confort y se estudia el comportamiento climático del sitio a gran escala, identificando los elementos que influyen como son la topografía, la vegetación, densidad y masas de agua (figura 6).

Las herramientas utilizadas en esta etapa son: Mapeos, climograma de columnas, climograma de bienestar adaptado, diagrama psicométrico, índices de confort (PMV, PPD),

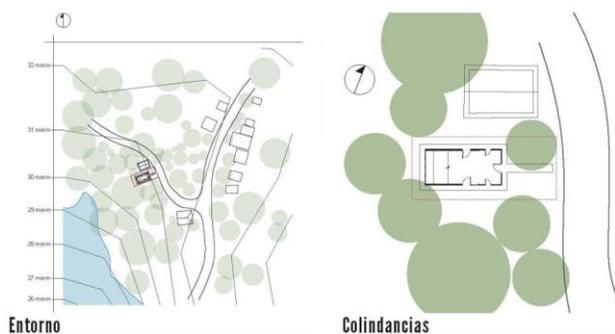


Fig. 7. Mapa de ubicación del entorno inmediato a la Iglesia de Guardia, Liberia.

Excel, Meteonorm, Weathertool, Ecotect y Winair.

La segunda escala estudia el entorno inmediato al edificio. En este caso, se determina cuáles elementos se relacionan directamente con las fachadas de la edificación (figura 7). Para esta etapa, es importante generar un archivo climático con datos horarios que permita realizar simulaciones de radiación, movimiento solar y movimiento del aire. Este archivo se genera por medio un software llamado Meteonorm, el cuál realiza una interpolación de datos basada en información mensual y estaciones meteorológicas existentes (figura 8).

Las herramientas utilizadas a este nivel son similares a las del nivel previo. En cuanto a ubicación y estudio de la geomorfología del sitio, son importantes las fotografías, el uso de Google Earth y Global Mapper.

La tercera escala del análisis hace referencia a la edificación. Lo más importante en este nivel es estudiar el desempeño de la envolvente y cómo se ve afectado el ambiente interior con respecto al exterior.

Existen diferentes factores que determinan este comportamiento, entre ellos los porcentajes de superficie y su material, el volumen de aire y las aberturas existentes. Otro aspecto importante en esta etapa es la realización de un monitoreo prolongado de la temperatura y humedad en la edificación. Esto consiste en tomar un registro propio de datos climáticos del interior y el exterior del inmueble durante las épocas representativas del año utilizando registradores de datos.

Es importante señalar, que la metodología implementada en el Seminario de Graduación Diseño de la envolvente y sus implicaciones en el Confort Higrotérmico (Porrás et al., 2011)

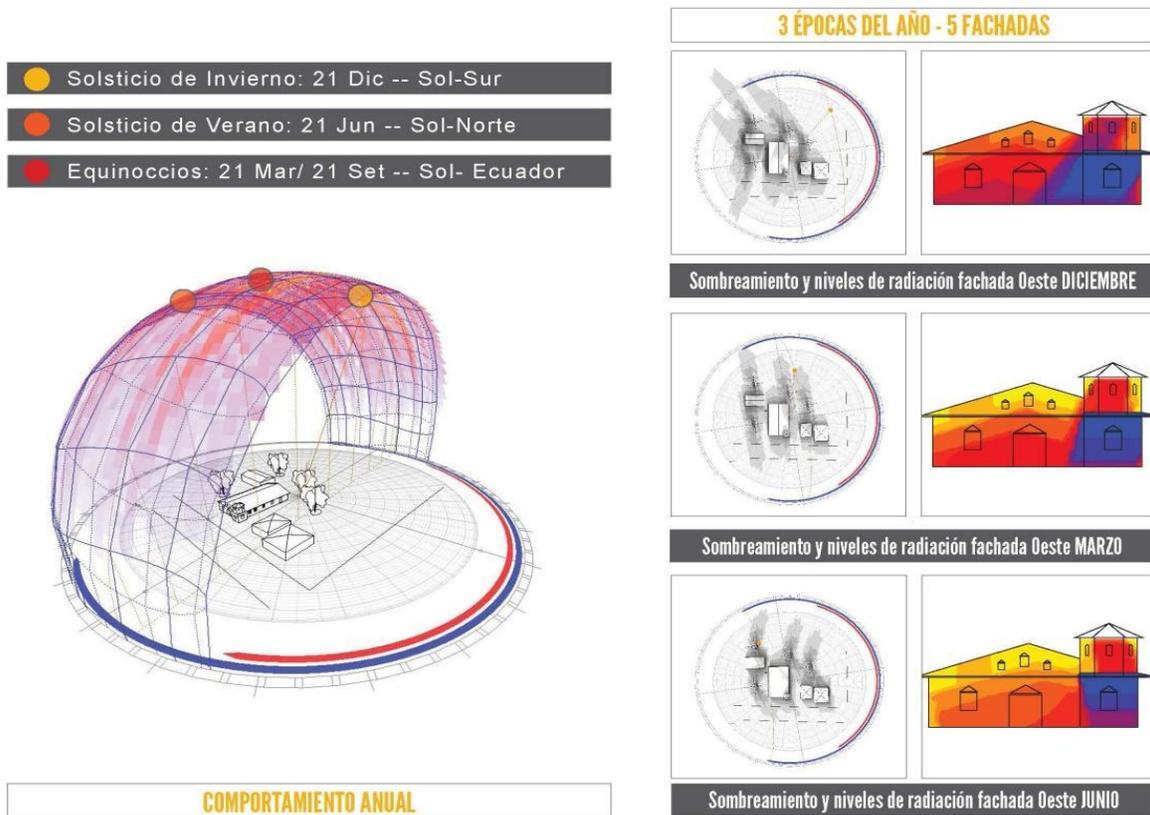


Fig. 8. Estudios de geometría solar en la Iglesia de Río Seco, Santa Cruz.

se utilizó como base para realizar las mediciones prolongadas de esta investigación. No obstante, el método de cálculo para el día promedio (día tipo) es distinto. En este caso, el método fue modificado por el autor.

Se colocaron 3 registradores de datos por cada edificación (figura 9). Uno en la parte interior, otro en la exterior y uno en la superior. Los dispositivos almacenaron información higrotérmica cada 2 minutos, lo que resulta en 10 000 valores de temperatura y humedad por dispositivo aproximadamente.

Una vez recolectados los datos, estos se procesan y promedian, eliminando los valores extremos dentro de la

muestra. Esto se logra estableciendo un rango de valor máximo y mínimo en los datos de temperatura y humedad mediante 3 desviaciones estándar. Esto implica que se utiliza un 99,74% de los datos, eliminando cualquier valor que se encuentre fuera del intervalo proporcionado mediante $[\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma]$, en donde μ corresponde al promedio de los datos y σ a la desviación estándar. Como resultado final, se obtienen gráficas del día más común para el interior y el exterior de los edificios, las cuales están conformadas por 24 valores, uno para cada hora (figura 10).

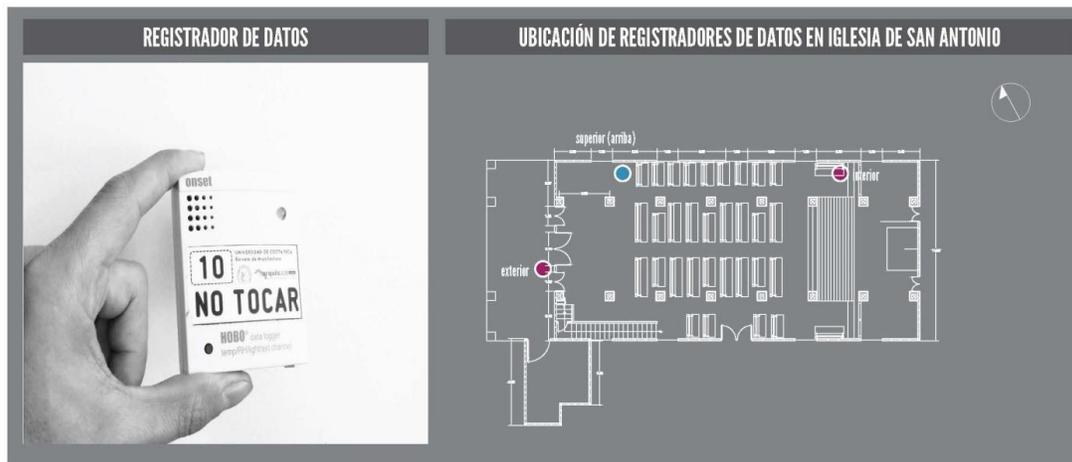


Fig. 9. Ubicación de los registradores de datos en Iglesia de San Antonio, Turrialba.

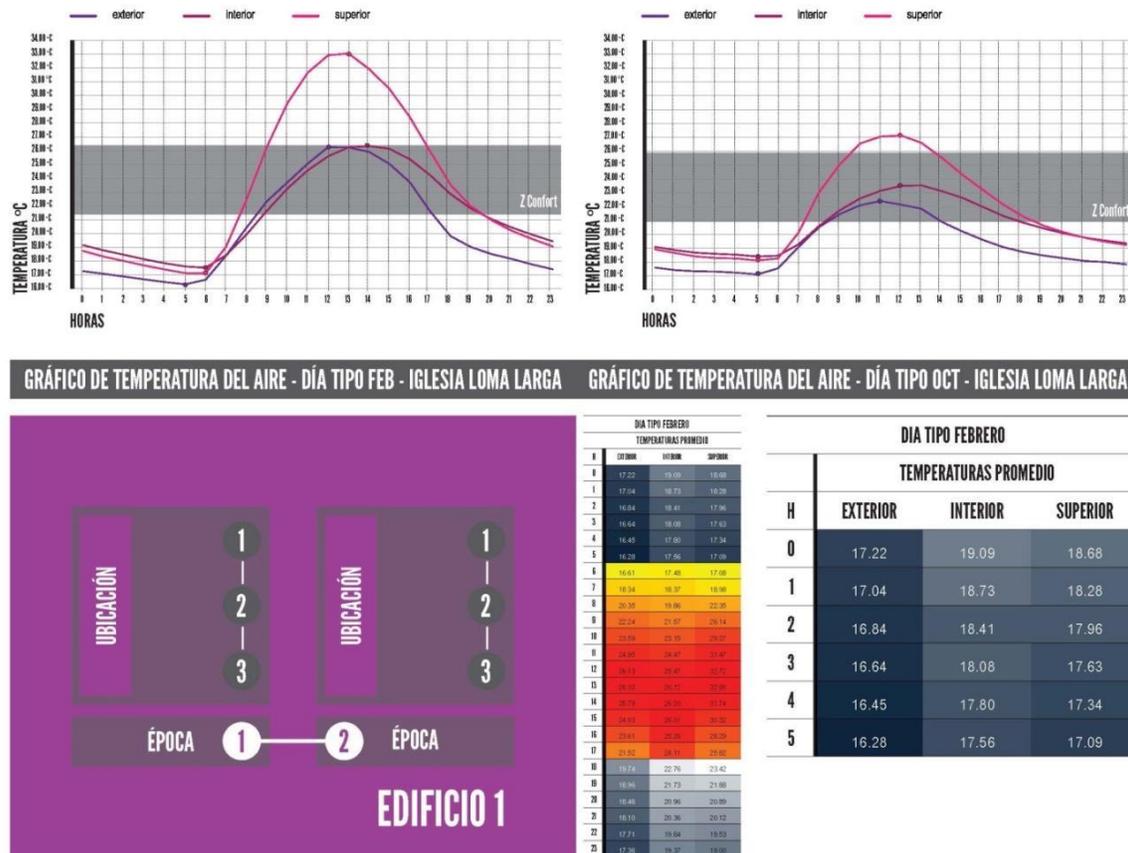


Fig. 10. Comportamiento térmico de la envolvente, Iglesia de Loma Larga.

C. Resultados iniciales y Diagnóstico comparativo

Una vez concluido el análisis bioclimático evaluativo por escalas, se elabora el diagnóstico comparativo, identificando conclusiones de cada una de las escalas del análisis y determinando cuáles son las variables a modificar según el comportamiento obtenido.

En la zona de vida del Bosque húmedo Premontano, se presenta el bioclima que tiene mayor confort para el ser humano, comprobando que, como está establecido en el libro de Leslie Holdridge, es la zona “ideal” para vivir. Sin embargo, las edificaciones de las otras dos zonas de vida deben implementar técnicas para re-adaptarse y tener condiciones de mayor bienestar. Se establece que la Z1, Bosque seco Tropical es un sitio muy caluroso y la Z3 Bosque muy húmedo Premontano es excesivamente húmeda y ligeramente fría.

A nivel macro climático, se evidencia la diferencia de altitud de las 3 zonas y la topografía, la cual influye en el movimiento del aire, el rango de temperatura y humedad de los sitios. También se aprecia que los 6 sitios escogidos son zonas rurales, donde no hay mayor densidad de ocupación. Se mantiene la premisa que existen dos polos opuestos como zonas que requieren mayor adaptación para el confort, y una zona intermedia en donde es menor el reacondicionamiento requerido.

En general, el comportamiento de las edificaciones en respuesta a la luz y radiación solar es similar según la orientación. En las fachadas Este y Oeste se da un mayor impacto que en las fachadas Norte y Sur. Sin embargo, cinco edificaciones de estudio se encuentran orientadas longitudinalmente, por lo que presentan la menor área de exposición hacia estos puntos cardinales. La única iglesia que tiene orientación transversal es la de La Pastora; no obstante, el clima en el que se encuentra puede beneficiarse de recibir sol ya que el exterior registra temperaturas frías.

En la escala micro climática, lo que influye en el comportamiento es la presencia de elementos anexos como vegetación o edificios cercanos. Además, la morfología juega un papel importante, ya que dependiendo de la forma, se pueden generar sombras en las fachadas por medio de volumetrías, pórticos, cubiertas. De esta manera, ya se encuentran diferencias dentro de la misma zona de vida. Por ejemplo, en el Bs-T, la primera iglesia tiene árboles a su alrededor, los cuales disminuyen el impacto de la radiación en el interior, mientras que en la segunda iglesia no existe protección de este tipo, sumado al entorno con la carretera de asfalto que aumenta la temperatura.

Otros elementos importantes que generan diferencias dentro de una misma zona de vida son: la cantidad de volumen de aire, los materiales y la relación entre la superficie y las

aberturas de cada edificación. Cada zona de vida presenta materiales específicos, los cuales responden positivamente a las características propias de cada clima: Bs-T con construcción de madera, Bh-P con madera en el interior y metal en el exterior y Bmh-P, igual al anterior pero con un zócalo de mampostería para evitar el contacto directo con el suelo (humedad). Ninguna edificación tiene elementos de sombra en las ventanas y la relación entre aberturas y superficie es muy poca, por lo que el intercambio de aire entre el exterior y el interior es muy lento; hay pocas renovaciones de aire por hora.

A modo de resumen, la Z1 (Bosque seco Tropical) tiende a registrar temperaturas muy altas en la época seca, generando un ambiente muy caliente para el confort, de poco bienestar. Ambas edificaciones presentan altos valores de humedad relativa, lo que llama la atención al ser una zona denominada “seca”.

La Z2 (Bosque húmedo Premontano) presenta un clima confortable durante el día y ligeramente frío durante las noches. El comportamiento interior de ambas iglesias es muy similar. Esto obedece a que ambas se encuentran orientadas de igual manera, tienen casi el mismo volumen de aire y un contexto similar. En este caso es necesario aumentar la temperatura interna en las noches y madrugadas de ambas edificaciones.

Por último, la Z3 (Bosque muy húmedo Premontano) presenta un clima fuera de la zona de confort debido a las bajas temperaturas y humedad excesiva. Ambas edificaciones presentan un comportamiento similar, ya que necesitan aumentar la temperatura interior para mejorar las condiciones de confort. No obstante, a pesar de que la envolvente es del mismo material, se comportan distinto. En San Antonio existe solo amortiguamiento térmico mientras que en la Pastora hay retardo térmico. Se concluye que la diferencia del comportamiento se debe a la orientación que presentan las iglesias ya que una es longitudinal y la otra transversal.

D. Reacondicionamiento bioclimático por medio de la simulación

Una vez realizado el diagnóstico, se tienen las variables iniciales para la etapa de simulación. La simulación consiste en modificar las condiciones bajo las cuales se construyeron los inmuebles. Sin embargo, es necesario tener un orden en la información que se va a introducir al modelo, razón por la cual se diseñó un protocolo de simulación. El mismo consta de 4 partes:

a) Elaborar un modelo tridimensional para el análisis térmico de cada edificación (figura 11). El modelo debe ser lo más simple posible y busca identificar las zonas térmicas o volúmenes de aire que existen dentro del edificio.

b) Introducir las características del estado inicial del edificio. En este caso, se indican cuáles son los materiales con los que se construyó, el grosor de los mismos y su ubicación. Además, se especifican las actividades que se llevan a cabo y las características de los usuarios (arropamiento y tasa metabólica). Por último, se debe indicar la ubicación del inmueble.

c) Introducir datos climáticos tomados in situ. Este tipo de simulaciones permiten realizar un análisis de comportamiento tanto de un mes como de un día o incluso horas. En el caso de esta investigación, se introducen los datos tomados durante las mediciones prolongadas para poder comparar la realidad con el ambiente digital.

d) Calibrar el modelo. Este paso es el más importante dentro del protocolo de simulación. Se debe equiparar el comportamiento que tiene el modelo con el comportamiento registrado in situ (figura 12), mediante la homogenización de la curva de temperatura del aire interna. Para esto es necesario ir modificando el grosor de los materiales y la infiltración del aire. Una vez lograda la calibración, se pueden realizar innumerables modificaciones y simulaciones para observar la conducta.

En este punto de la metodología, se ejecutan las variaciones

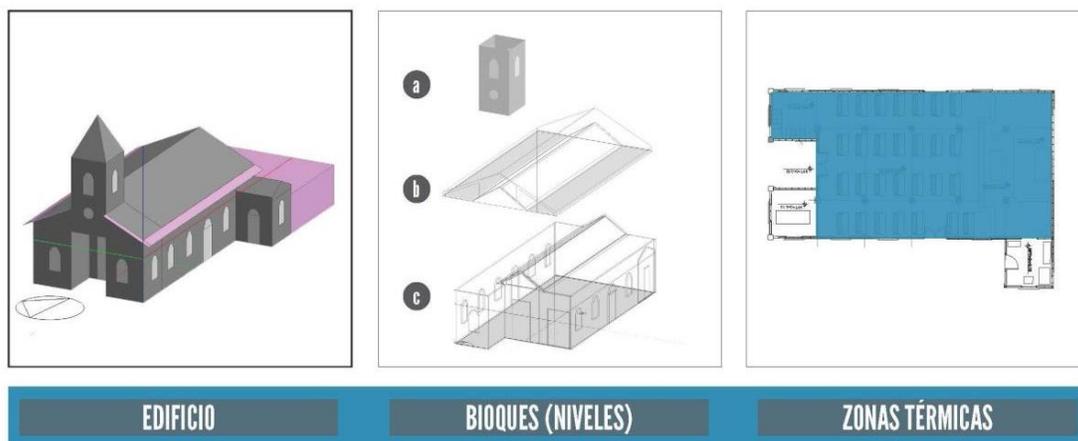


Fig. 11. Ejemplo de modelado y zonificación para simulación en Design Builder.

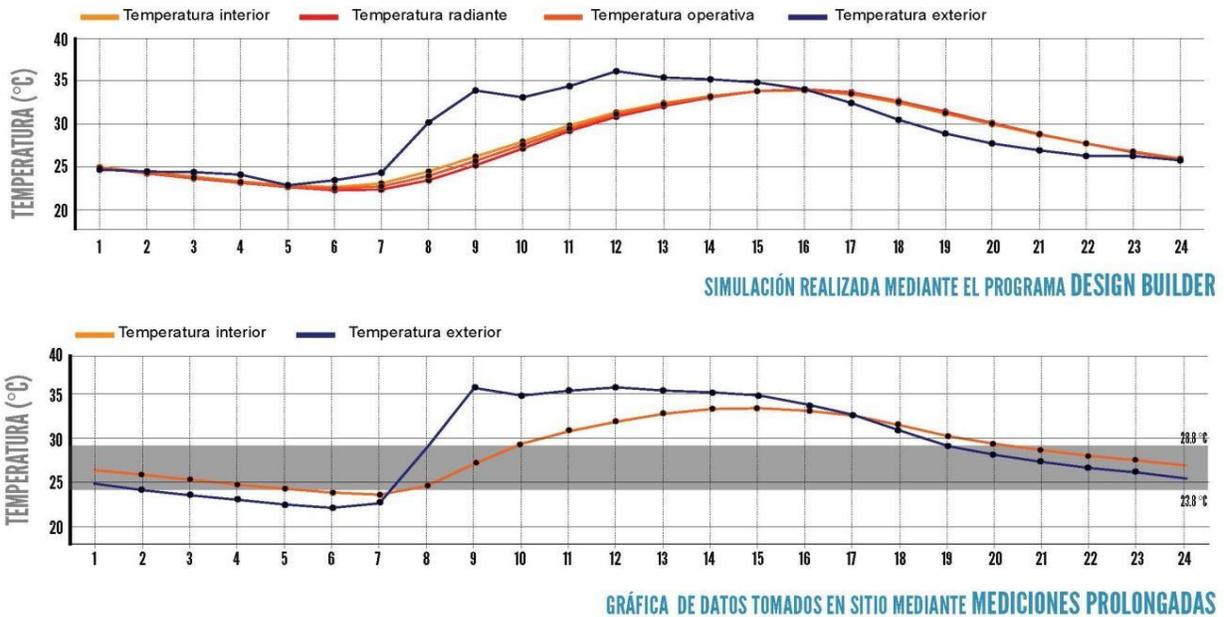


Fig. 12. Comparación de la curva de comportamiento térmico según mediciones prolongadas y datos de simulación en Design Builder.

en cada caso de estudio, midiendo el índice de confort para determinar si mejora o si empeora. Una vez obtenidos los resultados, es posible definir las variables que modifican positivamente el comportamiento térmico de cada edificio investigado y que representarán parámetros a considerar para diseños futuros.

III. RESULTADOS

Una vez delimitados los resultados iniciales en el diagnóstico y realizadas las simulaciones de comportamiento inicial, se establece que las variables a modificar en las edificaciones serán 3: ventilación, materiales y exposición solar. Una vez realizada la modificación, se comprueba mediante el índice de confort de Fanger que en efecto las variaciones están generando un aumento en el nivel de bienestar. Este proceso fue realizado en todos los inmuebles estudiados y en cada uno se obtuvieron resultados distintos. No obstante, con el fin de ejemplificar la manera en que fue realizado este proceso, se tomará como referencia el caso de la Iglesia de Guardia, en Liberia.

Al analizar el comportamiento de la edificación en febrero y octubre, se concluye que su ambiente interior se encuentra fuera del confort, especialmente en los meses más calurosos. El material del edificio tiene un buen comportamiento, no obstante se necesita aumentar el grosor de la pared y emplear aislamiento para mejorar la capacidad térmica. A su vez, es necesario evitar las ganancias térmicas a través de la cubierta, por lo que debe aislarse y separarse del cielo raso. En este caso no existe superficie translúcida. Se adjuntan dos gráficos: el primero muestra las modificaciones realizadas en el inmueble (figura 13) y el segundo muestra cómo mejora el índice de confort y la temperatura interna después de realizadas las modificaciones (figura 14). Para ahondar más en los casos mencionados, se puede consultar el documento RE+ADAPTAR (Sancho, 2013).

IV. CONCLUSIONES

Costa Rica es un país con amplia variedad climática. A pesar de que existen diferentes formas de clasificación, el sistema de zonas de vida propuesto por Leslie Holdridge



Fig. 13. Modificaciones realizadas en la Iglesia de Guardia.

identifica los escenarios climáticos del país con mayor precisión. La zona de vida permite reconocer un primer nivel de bioclima global en un sector geográfico dado, lo que posibilita identificar las primeras características ambientales que pueden afectar una edificación, ya sea construida o por construir. Por esta razón, éste fue el método utilizado como primera fuente de información en esta investigación y mediante el mismo se llegó a las conclusiones sobre cada zona de vida que se presentan a continuación.

La zona de vida Bosque seco Tropical presenta altas temperaturas en algunos meses del año, generando un ambiente muy caliente para el bienestar. De acuerdo con lo analizado en esta investigación, las modificaciones a realizar para mejorar el índice de confort son las mismas en ambas edificaciones estudiadas. Se deben generar elementos de sombra para todas las superficies translúcidas que existan y los mismos deben de funcionar durante todo el año. Además la cubierta debe contar con aislamiento térmico en la parte superior y una cámara de aire que separe el cielo raso del volumen del techo en el inferior, si es posible con ventilación. Por último, es necesario proporcionar paredes más gruesas, con un aislamiento térmico que permita un mayor

amortiguamiento de la temperatura exterior. Se recomienda la ventilación natural solo en momentos en que existan muchas personas utilizando la edificación. Los casos de estudio ubicados en esta zona de vida son los que requieren mayores modificaciones, debido a que su clima es el más extremo. Cada iglesia tiene un comportamiento distinto; la iglesia de Guardia se beneficia de la cantidad de cobertura vegetal a su alrededor y de no tener superficies translúcidas mientras que la iglesia de Río Seco tiene gran cantidad de ventanas y poca sombra en las mismas.

El Bosque húmedo Premontano presenta un clima tanto frío como caliente. El mismo tiende a salirse de los límites de confort en ambas direcciones, sin embargo no de manera extrema. Por esta razón, las edificaciones ubicadas en esta zona de vida deben tener adaptaciones que funcionen según la época crítica del año. Las iglesias estudiadas en esta zona son bastante homogéneas. La discrepancia en su comportamiento obedece a dos factores específicos: el diseño de la torre del campanario y el porcentaje de superficie translúcida. En la iglesia de Rosario la torre permite la ventilación constante debido a que no presenta superficie vidriada sino vanos, mientras que en la Loma Larga existen amplias ventanas en 3

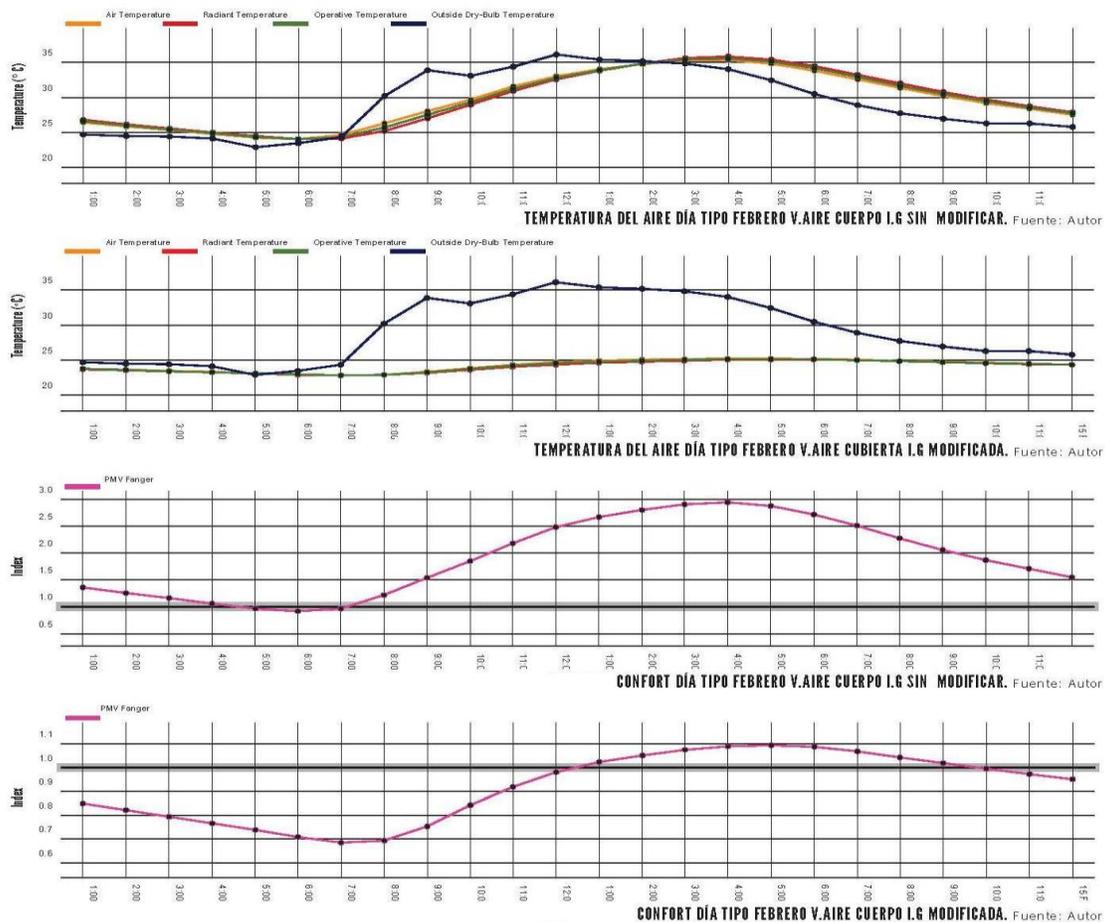


Fig. 14. Comportamiento térmico y confort, antes y después de realizadas las modificaciones.

costados del campanario, sin ventilación de ningún tipo. Ambas edificaciones se ven beneficiadas por la implementación de ventilación natural en un horario diurno, durante los meses fríos del año. Además, en ambos casos es necesario utilizar aislamiento térmico en la cubierta y elementos de sombra que van a disminuir el impacto de la radiación en el interior durante los meses calientes. Sin embargo, solo en la ermita de Rosario es necesario aumentar el porcentaje de superficie translúcida para captar radiación solar en meses fríos y solamente en Loma Larga se debe generar ventilación natural en la torre del campanario. También es importante señalar que, con solo aumentar el arropamiento de los usuarios a un ciclo, mejora la sensación de bienestar en las noches.

La tercera y última zona de vida estudiada, el Bosque muy húmedo Premontano, muestra bajas temperaturas y alta humedad. Sin embargo, en el caso de las dos edificaciones analizadas, existen características propias de cada caso que generaron modificaciones distintas en cada una. La iglesia de San Antonio se encuentra a menor altitud por lo que sus temperaturas son mayores. Además, cuenta con un gran volumen de aire, tanto el de la iglesia en sí como el de su cubierta, lo que disminuye el impacto de la radiación y hace que sea más lento el calentamiento o enfriamiento del edificio. La misma tiene el mejor comportamiento de los seis casos de estudio y no requiere adaptaciones. En el caso de La Pastora, su orientación permite captar mayor radiación para calentar el interior. Además, la nave y la cubierta son un solo volumen de aire, lo que permite ganar más calor. Por esta razón, se recomienda generar una pequeña superficie translúcida en el techo para captar radiación y aumentar la temperatura en momentos fríos. Sin embargo, todas las superficies transparentes (incluyendo la superior) deben tener elementos de sombra.

En esta investigación se obtuvieron pautas sobre el clima en la primera escala, como por ejemplo implementar ventilación natural (según la zona de vida y los datos procesados de las estaciones meteorológicas). Ésta estrategia pasiva se recomienda para todos los estudios de caso y no se aplica de igual forma para cada edificio. En el caso de las iglesias de Guardia y Río Seco, implementar sistemas de ventilación natural implica aumentar en gran medida la temperatura interna del edificio y por ende el discomfort. Existen otras variables que entran en el análisis como la cantidad de personas que utilicen el edificio, los horarios en que se utilice, las dimensiones de las ventanas y la orientación de las mismas. Por otro lado, las iglesias de Rosario y Loma Larga sí mejoran su situación interna con la ventilación, sin embargo, no es durante todo el año, sino en momentos específicos y por ciertas fachadas. De esta forma, existen estrategias que sólo funcionan para un lugar específico y un edificio particular y las mismas se descubren cumpliendo con todas las etapas de la

metodología propuesta, desde lo más general hasta lo más específico, incluyendo las simulaciones. La importancia de cumplir con todas las escalas es que en cada etapa se obtienen diferentes conclusiones y debe existir una retroalimentación de información entre los niveles de análisis para poder seguir avanzando.

Otro aspecto importante a mencionar dentro del método de análisis, es que no existe un orden completamente lineal, sino que es recursivo: puede repetirse indefinidamente. De este modo, es necesario regresar etapas para retomar información que se obtuvo anteriormente y utilizarla como retroalimentación en el análisis actual. Un ejemplo de esta situación es la iglesia de Rosario, en donde se determinó en la etapa de simulación que es necesario captar radiación en el interior de la edificación. Para poder delimitar cuál es la mejor fachada para realizarlo, es necesario revisar los factores analizados en las etapas anteriores: en qué fachada existe mayor radiación solar, cuál tiene mayor superficie translúcida, qué elementos generan sombra en las colindancias, etc.

El hecho de que dos edificaciones se encuentren dentro de una misma zona de vida, y por ende un mismo clima, implicaría que las pautas de diseño bioclimático para ambas serían las mismas. Sin embargo, en esta investigación se comprueba que esto no es una verdad absoluta. Existen factores tanto del entorno inmediato como del edificio en sí, que llegan a afectar la manera en que el mismo se comporte. La altitud y la topografía de un lugar modifican el movimiento del aire, el rango de temperatura y la humedad del sitio. La orientación del edificio, su morfología y los elementos anexos al mismo afectan la manera en que la radiación, la luz solar y el viento influyen sobre sus fachadas. El volumen de aire, los materiales de la edificación y la relación de la superficie y sus aberturas influyen de manera directa en el comportamiento, sobre todo en la cantidad de tiempo que tarda el aire interior en enfriarse o calentarse. De este modo, se determinaron pautas de diseño que pueden ser aplicadas en edificaciones de cada una de las tres zonas de vida estudiadas y las modificaciones de readaptación en cada caso de estudio, según las características propias de las edificaciones.

Si bien es cierto, la metodología diseñada en esta investigación tiene el objetivo de reacondicionar bioclimáticamente edificios existentes, su uso permite obtener mucho más que las modificaciones para readaptarlos. La utilización de esta herramienta busca aprender de las edificaciones construidas, ya que estudiar inmuebles que tienen cierto tiempo de existir y utilizarse, permite identificar errores recurrentes en el desempeño de los mismos así como entender las decisiones acertadas de diseño, sobre todo si se estudian elementos vernaculares que usualmente tienen un mejor manejo de los materiales, el sitio y el clima. Además, el conocimiento adquirido en los estudios permite tener pautas para futuros proyectos que se realicen en el lugar; es decir,

posibilita el estudiar una edificación existente y basarse en su desempeño para proponer una nueva edificación con las enseñanzas obtenidas (Diseño basado en el desempeño).

La simulación de energía como método de análisis permite obtener los resultados en tiempo real. En otras palabras, si se decide realizar una modificación en un edificio para identificar qué beneficios puede traer, ésta herramienta da la posibilidad de saber cuál va a ser la reacción del inmueble y qué tanto va a mejorar el confort interno antes de realizar cualquier cambio en sitio. Esta situación implica una gran ventaja para el arquitecto, ya que actualmente existe una responsabilidad por parte del profesional de respaldar su diseño, para lo cual debe tener herramientas que permitan comprobar el funcionamiento o cumplimiento de variables y requisitos. Con una correcta calibración, existe la posibilidad de que el modelo computarizado permita saber qué modificaciones se pueden realizar, cómo va a reaccionar el edificio ante los cambios y cuál es su porcentaje de efectividad.

Al hablar de arquitectura se menciona la relación que existe entre tres elementos principales: el ser humano, el edificio y el entorno. Si alguno de estos tres elementos varía con el tiempo, los otros deben adaptarse. El entorno cambia, por lo que la lógica dice que el edificio debe cambiar también. De esta manera, los mecanismos de adaptación se convierten en una necesidad en el diseño actual y deben responder a las exigencias específicas de cada sitio.

La metodología diseñada es una herramienta para mejorar las edificaciones existentes, diseñar nuevas edificaciones acorde con las necesidades presentes e incluso realizar proyecciones del comportamiento que podrán tener en los próximos años.

En el marco de este último punto, cabe hacer referencia a un tema que se menciona con frecuencia actualmente: el cambio climático. A pesar de que el mismo se encuentra fuera de los alcances del presente trabajo, con esta herramienta se podría generar un archivo de clima en el que se establezcan los rangos de temperatura y humedad previstos por el cambio climático en 10 o 20 años y poder simular un comportamiento a futuro. Esta situación sería una buena temática para profundizar en futuras investigaciones.

REFERENCIAS

- ASHRAE (2013). "Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy", Standard 55.
- Hutcheon, H.B (1963). "Requirements for Exterior Walls", Canadian Building Digest, vol. 48, pp. 01 – 06.
- Porras et al. (2011). "Diseño de la Envolvente y sus implicaciones en el Confort Higrotérmico", Seminario de Graduación de la Universidad de Costa Rica.
- Sancho, A. (2013). "RE+ADAPTAR: "Uso de la simulación digital para reacondicionar bioclimáticamente edificios existentes", Tesis de Graduación de la Universidad de Costa Rica.
- Serra, R. (2004). "Arquitectura y Climas," GG Básicos.



Reconocimiento – NoComercial (by-nc): Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.