

- ▲ **Palabras clave/** Arquitectura, bioclimática, diseño, sostenibilidad.
- ▲ **Keywords/** Architecture, bioclimatic, design, sustainability.
- ▲ **Recepción/** 30 de abril de 2019
- ▲ **Aceptación/** 09 de octubre de 2019

Herramientas bioclimáticas de análisis y comunicación en la enseñanza/aprendizaje del proyecto arquitectónico

Bioclimatic analysis tools and communication in the teaching/learning of the architectural project

Lizeth Rodríguez-Potes

Arquitecta, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia.
Magister en Ciudad, Territorio y Medio ambiente, Escuela Central de Nantes, Francia.
Doctora en Arquitectura, Universidad Aix-Marseille, Francia.
Docente e investigadora, Facultad de Arquitectura, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia.
lizethrodriguez@mail.unitlantico.edu.co

Samuel Padilla-Llano

Arquitecto, Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
Magister en Diseño Urbano, Universitat de Barcelona, España.
Doctor en Espacio Público y Regeneración Urbana, Universidad de Barcelona, España.
Decano y docente investigador, Departamento de Arquitectura y Diseño, Universidad de la Costa, Barranquilla, Colombia.
spadilla13@cuc.edu.co

RESUMEN/ Este trabajo revisa el uso de cinco tipos de herramientas utilizadas para el análisis bioclimático del proyecto arquitectónico a través de prácticas pedagógicas orientadas desde la investigación. Las herramientas analizadas fueron: dispositivos de simulación, aparatos de medición especializados y encuestas de percepción térmica, índices de confort, diagramas o cartas y software de simulación bioclimática. La muestra se extrajo de dos cursos universitarios de segundo año con énfasis en arquitectura bioclimática. Los resultados evidenciaron que las herramientas gráficas y de cálculo fueron las más aceptadas por los estudiantes. La utilización del software supuso algunas dificultades, mientras que la interpretación y la comunicación de los resultados en el proyecto evidenció mayores obstáculos por superar. En síntesis, el uso de estas herramientas es fundamental en la enseñanza de la arquitectura y se espera que este ejercicio permita guiar la construcción de metodologías para su aprendizaje.

ABSTRACT/ This work reviews the use of five types of tools used for the bioclimatic analysis of the architectural project through research-based pedagogical practices. The tools discussed were: Simulation devices, specialized measurement tools, and thermal perception surveys, comfort indexes, diagrams or charts, and bioclimatic simulation software. The sample was taken from two second-year university courses, with emphasis on bioclimatic architecture. The outcomes revealed that the graphic and calculation tools were those most accepted by students. The software involved some difficulties, while the interpretation and communication of the project's outcomes revealed more obstacles that need to be overcome. In sum, the use of these tools is critical in architecture pedagogy and the expectation is for this exercise to guide the development of learning methodologies.

INTRODUCCIÓN

La arquitectura debe tener como principio crear hábitats cómodos para la vida en común con los otros y para la vida privada (Padilla 2015), trazando una serie de principios básicos como la gestión eficiente de los recursos materiales y energéticos, la minimización del impacto sobre el medio ambiente (aire, suelo y agua) y un bienestar máximo tanto en el espacio arquitectónico como en el ámbito urbano. La agenda EDUCATE para la enseñanza en arquitectura sostenible promueve el

conocimiento y las prácticas en diseño con el objetivo de incentivar el confort, el placer, el bienestar y la eficiencia energética en edificios nuevos y existentes. El principio número 8 de esta agenda proclama que y todos estamos llamados a “desarrollar de forma continuada la base de conocimiento de diseño ambiental sostenible mediante investigaciones ejemplares y la práctica del diseño” (Altomonte 2012:7)¹. Así, antes y durante el proceso de proyección del objeto arquitectónico, el estudiante o el proyectista requieren una serie de herramientas o

instrumentos para llegar eficientemente al resultado final de un proyecto arquitectónico integral (Lanzilotta, 2010). El objetivo de este trabajo es presentar una serie de prácticas pedagógicas orientadas desde la investigación en dos cursos centrados en arquitectura bioclimática, utilizando cuatro herramientas de análisis y de comunicación: dispositivos de simulación, aparatos de medición especializados y encuestas de percepción térmica, índices de confort, diagramas o cartas y software de simulación bioclimática.

¹ Sobre los procesos de enseñanza y aprendizaje en temas de producción urbana, se puede leer “Interdisciplina: la Enseñanza/Aprendizaje en Proyectos de Diseño Urbano” (Padilla Llano, 2014).

LAS HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS BIOCLIMÁTICO EN LA ARQUITECTURA

La arquitectura bioclimática se define como: (...) un conjunto de elementos arquitectónicos, constructivos y pasivos capaces de transformar las condiciones del microclima para lograr valores que lo acerquen a las condiciones de bienestar termofisiológico del ser humano, utilizando preferentemente energías pasivas, en pos de la reducción de los consumos de energía y minimización de impactos negativos al medio ambiente (Barranco Arevalo, 2015:39).

Esto implica la elección de una ubicación apropiada y una correcta adaptación al clima y al entorno. De allí que el análisis bioclimático se constituya como el estudio e interpretación de las condiciones micro climáticas del sitio y la presentación de estrategias técnicas y de diseño que mejoren el desempeño de las edificaciones y su entorno, aportando a condiciones de confort térmico y promoviendo la reducción del consumo energético. *La evaluación bioclimática es el punto de partida para cualquier proyecto arquitectónico que aspire a proporcionar un entorno climático equilibrado* (Olgay V. 1998).



Imagen 1. Heliodón en la Universidad de la Costa CUC (fuente: El autor, 2018).

Para realizar este análisis se debe disponer de las variables del sitio suministradas por las estaciones meteorológicas, establecer de antemano criterios de análisis y contar con la fundamentación teórica en diseño bioclimático. Un diagnóstico bioclimático del sitio de emplazamiento comprende al menos un análisis solar, análisis de vientos,

análisis de la temperatura y de la humedad, organización de la arborización para mejorar el microclima (Rodríguez Potes, Hanrot, Dabat, & Izard, 2012; Rodríguez Potes, Hanrot, Dabat, & Izard 2013) y el efecto de la forma urbana sobre el confort térmico (Villadiego Bernal & Velay-Dabat, 2014). En el caso del edificio, debe contener la propuesta de las estrategias técnicas y de diseño que conciernen la configuración espacial, los materiales de construcción, la forma, la orientación, los elementos de captación y protección solar y la ventilación natural. Para este fin, en la práctica de la arquitectura se utilizan principalmente los siguientes cinco tipos de herramientas:

- Dispositivos de simulación
- Aparatos de medición especializados y encuestas de percepción térmica
- Índices de confort
- Diagramas o cartas
- Software de simulación.

El primer instrumento utilizado es el heliodón, que sirve para simular la trayectoria aparente del sol en la bóveda celeste. Las zonas de sombra y las zonas asoleadas se simulan de acuerdo con tres



Imagen 2. Túnel de viento en la Universidad del Atlántico (fuente: El autor, 2018).

| Escala de sensación térmica PMV | |
|---------------------------------|----------------------|
| PMV | Sensación |
| 3 | Muy caluroso |
| 2 | Caluroso |
| 1 | Ligeramente caluroso |
| 0 | Confort (neutro) |
| -1 | Ligeramente frío |
| -2 | Frío |
| -3 | Muy frío |

Tabla 1. Escala de confort PMV (fuente: Elaboración de Lizeth Rodríguez a partir de Fanger [1973]).

datos suministrados: la latitud del sitio simulado, la fecha y la hora. El instrumento está compuesto por una lámpara que simula el sol y un gráfico solar que expresa los grados de azimut, altitud solar y latitud. Con la ayuda de maquetas a escala, el estudiante puede analizar su proyecto y determinar su orientación y zonificación.

Otro instrumento es el túnel de viento, el cual permite simular el movimiento del flujo de aire alrededor de un elemento. El procedimiento consiste en ubicar una maqueta en el túnel o vena y activar la propulsión de aire con la ayuda de un motor que simula el viento. Se pueden controlar las velocidades de este flujo de aire e incorporar humo para visualizar el movimiento. Su uso en arquitectura se enfoca en el estudio de los efectos de vientos producidos por los elementos arquitectónicos, analizando la velocidad y la dirección del viento para incorporar estrategias de ventilación natural y enfriamiento pasivo.

Los índices de confort son usados en el diseño arquitectónico o urbano para estimar la sensación de confort térmico de los ocupantes de los espacios y se pueden usar tanto en la etapa de diseño -mediante fórmulas o programas de simulación- como en procesos de diagnóstico de espacios construidos para corrección y mejoramiento. Con frecuencia se usan los índices PMV (*Predicted Mean Vote Index*) y el PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied Index*)², desarrollados por Fanger (1973). El PMV predice el valor medio de la

sensación térmica global correspondiente a un determinado ambiente térmico a través de una escala de siete niveles (tabla 1): Las herramientas bioclimáticas usadas con mayor frecuencia en los análisis preliminares del diseño arquitectónico son el diagrama psicrométrico (*psychrometric chart*) del ASHRAE (1993), el diagrama bioclimático de Olgyay (1963) adaptado por Szokolay (1984), la carta bioclimática de Givoni (1981), los triángulos de confort de Evans (2000), el diagrama de isopletas (Neila Gonzalez, 2004), el nomograma de temperatura efectiva corregido (ASHRAE, 1993) y las tablas de Mahoney (Koenigsberger, Mahoney, & Evans, 1971).

Un software de simulación bioclimática es una herramienta computacional que permite la modelización en tercera dimensión (3D) de un elemento y el cálculo de los fenómenos físicos, partiendo de datos suministrados como los parámetros climáticos, la ocupación, los períodos de uso, las características térmicas de los materiales y la presencia de elementos como agua y vegetación que permiten tomar decisiones del diseño para producir espacios térmicamente eficientes y confortables. Existen muchos softwares de simulación bioclimático que permiten obtener gráficos de la trayectoria solar, la carta solar, la rosa de los vientos y simulaciones del flujo del viento (CFD³), de la temperatura, la radiación, el confort térmico y el comportamiento energético.

METODOLOGÍA

El tipo de investigación es exploratorio y los resultados se basaron en la observación y la retroalimentación proporcionada por la población objeto. La primera muestra de estudio estuvo conformada por estudiantes de segundo año de arquitectura de la Universidad de la Costa, CUC, cada una con un promedio de 30

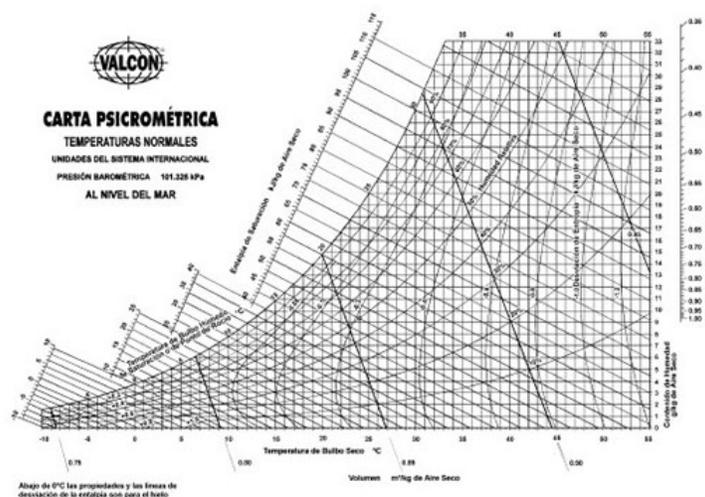


Figura 1. Carta psicrométrica del ASHRAE (fuente: ASHRAE, <http://psicrometria-imi31.blogspot.com/2013/11/carta-psicrometrica.html>, 1992).

² El PPD permite predecir el porcentaje de personas que considerarán dicha situación como no confortable (Fanger 1973). Estos índices son descritos en la norma ISO 7730.

³ Computational Fluid Dynamics (CFD): Software de simulación de fluidos.

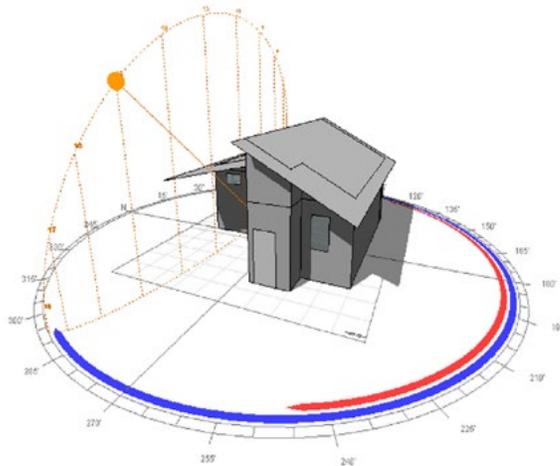


Figura 2. Imagen de heliódromo producida por el software Ecotect Analysis (fuente: Shellsea Perez y Constanza Ospina, 2018).

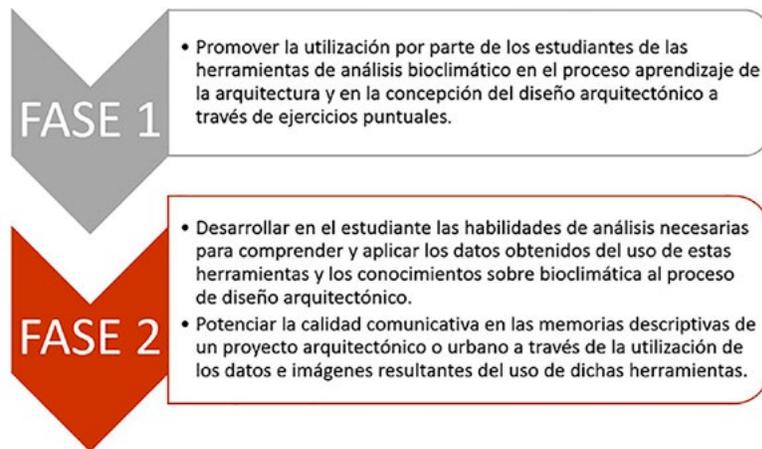


Figura 3. Objetivos pedagógicos (fuente: Elaboración propia, 2018).

estudiantes. Las muestras se desarrollaron durante los años 2015, 2016 y 2017 con una duración de 16 semanas cada una y una dedicación de cuatro horas por semana. La segunda muestra estuvo conformada por estudiantes de segundo año de la carrera de arquitectura de la Universidad del Atlántico, con un promedio de 34 estudiantes y se desarrolló durante el segundo semestre de 2018 y el primer semestre de 2019.

La información se recopiló por medio de observaciones y entrevistas con preguntas abiertas y las actividades se llevaron a cabo en parejas, en clase y fuera del aula, y sometidas a diferentes retroalimentaciones y evaluaciones. Inicialmente, en cada actividad se entregó a cada estudiante un instructivo que contenía el tema, el objetivo, el contenido, las indicaciones metodológicas, las

fuentes de consultas, los indicadores de evaluación y la forma de presentación de la actividad (Hernandez Infante & Infante Miranda, 2016). El trabajo en clase incluyó el acompañamiento para la comprensión y la investigación del contexto de implantación, un seguimiento de la ejecución de los análisis previos y una etapa iterativa de retroalimentación durante el proceso de maduración del concepto de diseño y la aplicación de todos estos elementos en la respuesta final, en este caso el diseño arquitectónico. Los objetivos pedagógicos planteados para fundamentar este taller se establecieron en dos fases, cada una con una duración de ocho semanas (figura 3).

RESULTADOS

Fase 1: Ejercicios puntuales para aprender a utilizar las herramientas de análisis.

Actividad 1: Trabajo de campo con aparatos de medición especializados y encuestas de percepción térmica.

Un primer ejercicio fue realizado en la Universidad de la Costa CUC (imagen 3) en dos tipos de recintos, uno con ventilación natural y otro con climatización artificial. Con el uso del termoanemómetro, se debían tomar las medidas microclimáticas de temperatura del aire, la humedad relativa del aire y la velocidad del viento, anotando el recinto y la hora. Esos datos debían ser usados para calcular los índices de confort térmico PMV y PET usando la



Imagen 3. Mediciones con termoanemómetro en la Universidad de la Costa (fuente: El autor, 2018).



Imagen 4. Encuestas de percepción térmica en la Universidad del Atlántico (fuente: Elaboración de estudiante de electiva "Hábitat, bioclimática y sostenibilidad", 2018).



herramienta on-line <http://smap.cbe.berkeley.edu/comforttool>. Finalmente se comparan los índices de confort estudiados y se sacan conclusiones. Un segundo ejercicio fue realizado en la Universidad del Atlántico (imagen 4), en cuyo marco los estudiantes debían realizar

una encuesta de percepción térmica (tabla 2) teniendo en cuenta la escala de percepción térmica PMV. Este ejercicio se hizo en grupos de cuatro y cada grupo aplicó la encuesta a 20 individuos ubicados en cinco tipos de sitios: **(1)** espacio abierto y soleado; **(2)** espacio abierto y cubierto con

elemento artificial en teja de fibrocemento; **(3)** espacio abierto y cubierto con elemento artificial textil; **(4)** espacio abierto y cubierto con elemento artificial en concreto; y **(5)** espacio abierto y cubierto con arborización. Las encuestas se aplicaron a las: 08:00 hrs., 10:00 hrs., 12:00 hrs, 15:00 hrs, y 17:00 hrs. Los objetivos de esta actividad eran implementar la escala PMV y analizar e interpretar los resultados obtenidos.

Observaciones:

Las actividades de campo con el uso de aparatos de medición y las encuestas (imagen 3) resultan didácticas para los estudiantes. La sistematización de los datos recogidos les permitió evaluar globalmente la evolución de las condiciones microclimáticas y pudieron intercambiar experiencias relacionadas con la percepción térmica. El trabajo práctico fomentó en ellos la apropiación del campus universitario y la generación de ideas de mejoramiento de las condiciones microclimáticas, entre las cuales manifestaron siembra de vegetación ornamental e instalación de dispositivos que proyecten sombra. La comunicación del proceso resultó muy positiva debido a que el estudiante pudo concretar las ideas adquiridas tanto verbalmente como por escrito.

Actividad 2: Uso del diagrama solar y del diagrama psicométrico.

En el primer ejercicio, los estudiantes debían calcular la temperatura de bulbo húmedo para cada mes del año, tomando como referencia la temperatura promedio del aire proporcionada por la estación meteorológica y utilizando el diagrama psicométrico. Seguidamente, debían calcular la temperatura eficaz utilizando el nomograma de la temperatura eficaz para cada mes del año. Finalmente se estimaba la temperatura de confort (Humphreys & Nicol, 2000) para cada mes en Barranquilla (Chyee Toe & Kubota, 2013). En el segundo ejercicio los estudiantes debían aprender la utilización de los diagramas solares. Se utilizó el diagrama de girasol, construido con una base en cartulina que contenía el gráfico con el azimut, la

| Fecha y Hora: | Encuesta N°: | Temperatura del aire: | Espacio: |
|--|--|--|----------|
| Información a solicitar | | Información por observación | |
| 1. Información demográfica: Sexo: _____ Edad: _____ Peso: _____ Estatura: _____ | 2. Índice de indumento o vestimenta CLO <input type="checkbox"/> Short, camisa cuello abierto, mangas cortas, sandalias (0.3) <input type="checkbox"/> Pantalón, camisa de cuello abierto, mangas cortas, calcetines finos, zapatos (0.5) <input type="checkbox"/> Camisa de algodón manga larga, pantalón, calcetines, zapatos (0.7) <input type="checkbox"/> Camisa de algodón manga larga, jersey, pantalón, calcetines, zapatos (1.0) | 3. Nivel de actividad: <input type="checkbox"/> Reposo (sentado, leyendo...) <input type="checkbox"/> Caminando <input type="checkbox"/> Deporte | |
| Sensación térmica: ¿Cómo definiría su sensación térmica en este momento? | | | |
| <input type="checkbox"/> Mucho calor <input type="checkbox"/> Bastante calor <input type="checkbox"/> Algo de calor <input type="checkbox"/> Neutra | | <input type="checkbox"/> Algo de frío <input type="checkbox"/> Bastante frío <input type="checkbox"/> Mucho frío | |

Tabla 2. Encuesta de percepción térmica (fuente: Elaboración propia a partir de Cohen, Potcher y Matzarakis, 2013).

altitud y la altitud, y una máscara en acetato sobrepuesta en la cartulina que contenía las fechas y las horas. La primera etapa consistía en hallar los ángulos de azimut y altitud solar a partir de la altitud y los datos de día y hora (tabla 3). La segunda etapa consistía en utilizar los ángulos solares obtenidos para dimensionar un elemento de protección solar a través de un método geométrico con la ayuda de un transportador (figura 5).

Observaciones:

Con el apoyo del estudio previo de nociones teóricas, el ejercicio resultaba fácil para la mayoría, aunque algunos manifestaron tedio por los cálculos. La comunicación del proceso final resultó muy eficaz con el uso de gráficos que relacionaban de forma práctica los datos obtenidos (gráfico 1). El ejercicio con el diagrama solar fue rápidamente asimilado en su primera etapa. La segunda etapa tuvo más dificultades de asimilación y requirió la realización de varios ejercicios en clase.

Fase 2: Proyecto arquitectónico

El proyecto a elaborar era una vivienda unifamiliar de dos pisos para una familia de cinco miembros de situación económica alta y ubicada en un sitio geográfico de clima tropical cálido húmedo, y en un contexto urbano.

El programa arquitectónico constaba de acceso y lobby, garaje, sala, comedor, cocina, tres habitaciones y dos baños privados, un baño social, zona de labores, terraza y jardín. La complejidad a la que se enfrentaban los estudiantes se enfocó en el análisis y la integración de los resultados de los ejercicios en la concepción del proyecto arquitectónico.

Actividad 3: Análisis del lote con dispositivos de simulación: Heliodón y túnel de viento.

El ejercicio consistió en realizar una maqueta del lote con el entorno inmediato (edificios cercanos, calles y arborización) y la topografía del terreno de implantación a escala 1:500, además del análisis de soleamiento y de viento utilizando una

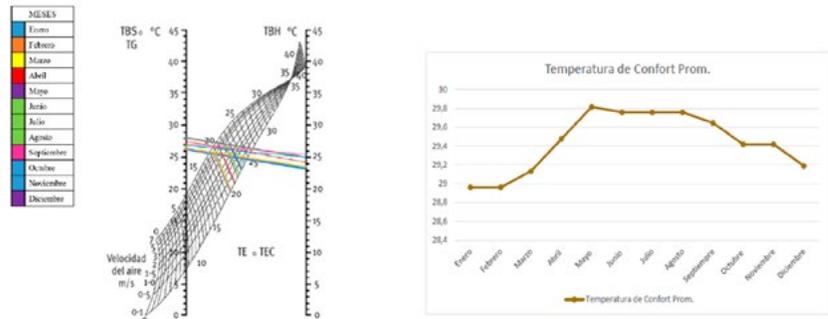


Figura 4. Gráficos de la estimación de la temperatura eficaz y la temperatura de confort (fuente: Trabajo de estudiantes, 2018).

| CIUDADES | LATITUD | HORA | FECHAS | | | | | | | |
|-------------------|---------|------------|-------------|---------|-----------------|---------|------------|---------|-------------|---------|
| | | | 21 de junio | | 21 de diciembre | | 22 de sept | | 22 de abril | |
| | | | AZIMU | ALT SOL | AZIMU | ALT SOL | AZIMU | ALT SOL | AZIMU | ALT SOL |
| Paris, Francia | 48° N | 09:00 a.m | 73 | 47 | 42 | 9 | 55 | 30 | 65 | 39 |
| | | 12:30 p.m | 15 | 66 | 8 | 19 | 10 | 43 | 10 | 55 |
| | | 03:00 p.m. | 73 | 47 | 42 | 9 | 55 | 30 | 65 | 39 |
| Sidney, Australia | 33° S | 09:00 a.m | 137 | 18 | 93 | 50 | 120 | 37 | 130 | 29 |
| | | 12:30 p.m | 173 | 33 | 145 | 78 | 168 | 55 | 170 | 44 |
| | | 03:00 p.m. | 137 | 18 | 93 | 50 | 120 | 37 | 130 | 29 |
| Hong Kong, China | 22° N | 09:00 a.m | 103 | 49 | 47 | 27 | 70 | 42 | 85 | 46 |
| | | 12:30 p.m | 110 | 83 | 10 | 44 | 20 | 67 | 35 | 79 |
| | | 03:00 p.m. | 103 | 49 | 47 | 27 | 70 | 42 | 85 | 46 |

Tabla 3. Ejercicio para hallar ángulos solares con la ayuda del diagrama solar (fuente: Trabajo de estudiantes de la electiva "Hábitat, bioclimática y sostenibilidad", 2018).

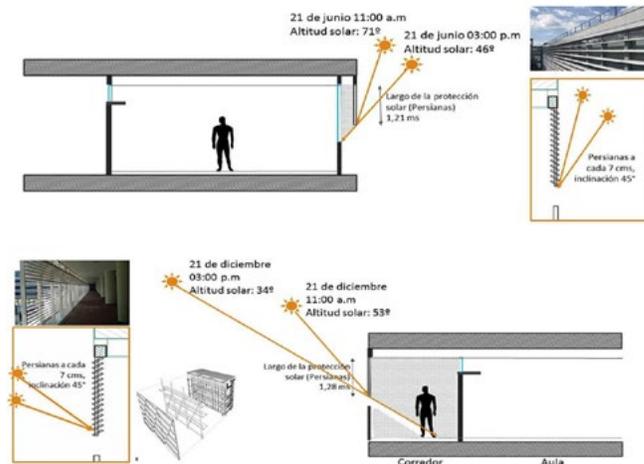


Figura 5. Gráficos de dimensionamiento de protecciones solares usando ángulos solares y método geométrico usados en clase magistral (fuente: Elaboración propia, 2018).

herramientas heliodón y túnel de viento.

El ejercicio debía contener lo siguiente:

- Análisis de sol en heliodón para las fechas 21 de junio (10:00 y 15:00 hrs.) y 21 de diciembre (10:00 y 15:00 hrs.).
- Análisis en el túnel de viento para una condición con viento fuerte (>10 m/s) y una condición con viento débil (< 5 m/s).

En el análisis solar se debían identificar las fachadas y las zonas soleadas y las zonas en sombra según día y hora (imágenes 5 y 6). Para el análisis de viento se debían identificar la naturaleza de los efectos aerodinámicos, la influencia de la geometría y la orientación del edificio en la dirección del viento y las zonas con presiones positivas y negativas (Rodríguez Potes L., 2010) (imágenes 7 y 8).

Observaciones:

El uso del heliodón y el túnel de viento plantearon un escenario lúdico para algunos estudiantes, aunque también supuso complejidad debido a las nociones teóricas a implementar. La actividad permitió la integración y el intercambio de opiniones entre los estudiantes, a la vez que fomentó el trabajo colaborativo, el análisis, la recolección de datos y la elaboración de maquetas. Los estudiantes estuvieron activamente motivados y pudieron extraer información importante para la solución del diseño de su proyecto. Sin embargo, hubo balanzas en la comunicación del resultado final debido a la baja calidad de las fotografías, algunas de las cuales no mostraban los fenómenos señalados o carecían de información relevante.

Actividad 5: Análisis bioclimático con el uso de un software de simulación.

El análisis debía contener una etapa de modelización y de simulaciones utilizando el *software Ecotect Analysis de Autodesk* y una etapa de análisis e interpretación de la información arrojada por el mismo (figuras 6, 7 y 2). Este análisis debía contener:

1. Simulaciones.
- a. Soleamiento con la herramienta *Sun path*
- b. Iluminación natural con la herramienta *Lighting levels*



Imagen 5. Análisis solar con heliodón en la asignatura proyecto III de la Universidad de la Costa (fuente: El autor, 2018).



Imagen 6. Análisis solar de una maqueta en heliodón en la asignatura proyecto III en la Universidad de la Costa. Autores del trabajo: Diana Benavides y Saray Castro (fuente: El autor, 2018)



Imagen 7. Análisis del flujo de viento con el túnel de viento en la asignatura proyecto III de la Universidad de la Costa (fuente: El autor, 2018).



Imagen 8. Análisis del flujo de viento de una maqueta en el túnel de viento en la asignatura teoría III de la Universidad del Atlántico. Autor del trabajo: Juan Romero. (fuente: El autor, 2018)

- c. Temperatura interna del aire con la herramienta *Thermal analysis*
 - d. Confort térmico interior (PMV y PPD) con la herramienta *Spatial comfort*
 - e. Radiación acumulada de fachadas con la herramienta *Solar access analysis*
- Estas simulaciones se debían realizar para las siguientes condiciones:
- a. Para el análisis de soleamiento e iluminación, los solsticios de verano e invierno, 10:00 y 15:00 hrs.
 - b. Para las otras variables (temperatura, confort y radiación) el día típico más cálido y el día típico más frío, durante la mañana (desde la hora que sale el sol hasta las 12:00 hrs.) y durante la tarde (desde las 12 hrs. hasta la puesta del sol).
- El análisis debía describir los resultados observados en las gráficas, curvas, histogramas y tablas y para cada simulación se debían realizar las interpretaciones y

las recomendaciones, entre ellas: explicar de qué modo los resultados afectan el diseño, proponer estrategias orientadas a mejorar las condiciones del espacio e incluir ilustraciones en planta y corte, diagramas u otras gráficas explicativas.

Observaciones:

El uso del *software* para análisis bioclimático supuso la mayor complejidad para los estudiantes. Aunque desarrollaron la primera etapa de modelización sin dificultad, la implementación de algunas simulaciones –como el confort térmico y la radiación acumulada– generó algunas dificultades y, en algunos casos, incluso tedio debido a los tiempos de cálculo del *software*. La parte más compleja de la interpretación fue la de traducir la información de las gráficas arrojadas por el *software* en estrategias concretas de diseño, aun cuando todas estas nociones fueron trabajadas en

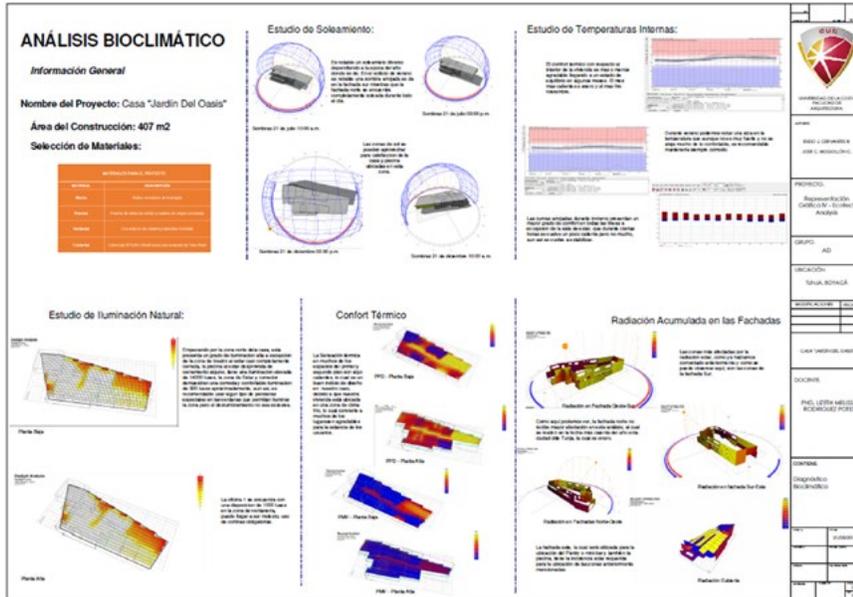


Figura 6. Síntesis del análisis bioclimático de la vivienda. Trabajo de proyecto III de la Universidad de la Costa (fuente: María Reyes y Yuliana Gutiérrez, 2018).



Figura 7. Visualización del proyecto de vivienda. Trabajo de proyecto III de la Universidad de la Costa (fuente: María Reyes y Yuliana Gutiérrez, 2018).

etapas anteriores a la simulación. Aunque los estudiantes desarrollan de manera sistemática algunas actividades, es evidente

que el principal problema es la traducción de datos abstractos a soluciones de diseño puesto que ello requiere de un análisis

crítico por parte de los estudiantes y un acompañamiento constante del docente (figura 7).

DISCUSIÓN

El proceso de enseñanza/aprendizaje que se describe con las actividades ilustradas anteriormente facilita la asimilación dinámica de conceptos a través del estudio de la teoría y la aplicación de los conocimientos en el proyecto de aula. Sin embargo, surgen ciertas dificultades en el uso de algunas de las herramientas estudiadas en el desarrollo y la comunicación del proyecto.

La práctica pedagógica con el heliodón y el túnel de viento despertó el interés de los estudiantes por la bioclimática, aunque las fotografías tomadas durante el proceso para sustentar el análisis muestran falencias. Además, el uso de herramientas de representación gráfica como diagramas y de fórmulas para estimaciones de confort térmico, apunta a la necesidad de profundizar las bases conceptuales en el aula. Una vez que el estudiante revisó estas nociones, el ejercicio se convirtió en una actividad sistemática y fácil de realizar. Los estudiantes manifestaron dificultades de asimilación tecnológica del *software*, sensación de pérdida de tiempo cuando ocurrían bloqueos del *software* e incomodidad al tener que esperar cálculos más lentos como el de radiación acumulada de Ecotect. En cuanto a la pedagogía, los estudiantes valoraron favorablemente la interacción directa con los docentes para que estos explicaran paso a paso los procesos a seguir en el aula, tal como una clase magistral. Estos resultados coinciden con los de Pérez Sandoval (2012). En cuanto a la interpretación de la información arrojada por los métodos utilizados, en todos hubo dificultades considerables para traducirlos en información concreta aplicable al diseño arquitectónico. La complejidad de esta etapa implica abordar las respuestas con una mirada crítica, reflexiva y compleja para dar solución a los problemas evidenciados

en el diseño (Giró & Benítez, 2006), habilidades que los estudiantes de segundo año no han desarrollado completamente. Para abordar estas dificultades es necesario incentivar la investigación y la praxis extracurricular de los estudiantes para cada uno de los temas.

Con todo, es claro que el desarrollo de talleres de arquitectura y urbanismo bioclimático resultan complejos debido a la necesidad de incorporar una visión holística e interdisciplinar (biología, física, sistemas, matemáticas) en el proceso de enseñanza y aprendizaje. Esto supone un gran reto para el docente, puesto que motivar e incentivar al estudiante a aplicar dichos principios en su diseño, utilizando adecuadamente las herramientas y comunicándolo de forma eficaz, no es tarea fácil (Altomonte, S.F).

CONCLUSIONES

Este trabajo revela la necesidad de incorporar contundentemente las temáticas medioambientales en los procesos de enseñanza y aprendizaje, no solo a nivel universitario. En los programas de diseño arquitectónico o urbano, el compromiso con el medio ambiente y la calidad de vida de las personas obliga a un pensamiento holístico, interdisciplinario e intersectorial que permee todos los niveles de formación

(primaria, secundaria, media, profesional), para transferir la responsabilidad y garantizar un comportamiento ambientalmente sostenible (Padilla, et al. 2018). En este sentido, la utilización de herramientas de diseño bioclimático debe ser fundamental en la enseñanza del proyecto arquitectónico, para la concepción, la ideación y la comunicación del mismo. El uso de estas herramientas fortalece la complejidad no solo del proyecto resultante del diseño, sino también el pensamiento crítico y el dominio técnico de los estudiantes frente al ejercicio del diseño arquitectónico y urbano. Ahora bien, esto requiere de una estructuración pedagógica, tal como se recomienda en la llamada Carta de Barcelona (UIA/UNESCO 1996) en relación con trascender las temáticas que aportan a la mejora de la calidad de vida en los espacios arquitectónicos desde el compromiso medioambiental a la práctica profesional de la arquitectura. Esto quiere decir permear las escuelas de formación con todas las herramientas (tecnológicas, digitales y análogas) necesarias para garantizar dicho aprendizaje. Todo ello se ve reflejado en el proceso de diseño y el dominio del lenguaje técnico de los estudiantes a la hora de exponer y explicar las condiciones proyectuales de

cualquier propuesta arquitectónica, quienes posteriormente se han insertado en los semilleros de investigación y construido sus proyectos de grado siguiendo las líneas temáticas de la bioclimática. Es importante que estas estrategias permeen el currículo, especialmente en los talleres de diseño, como aquel espacio creativo del proyecto urbano y arquitectónico y como una postura contundente que garantice la responsabilidad en el ejercicio de la disciplina de la arquitectura. Este quehacer es el que se encarga principalmente del espacio donde ocurre la vida del ser humano, en lo individual y en común con los otros, y donde los procesos de hacer la arquitectura o proyectar lo urbano (Vidal 2012) requieren de la integración de saberes en pro del proyecto. ▲■●

REFERENCIAS

- Altomonte, S. (Ed.). (S.F). *Educación en arquitectura sostenible. Libro blanco - Resumen ejecutivo*. Educate. Obtenido de http://www.educate-sustainability.eu/downloads/white-papers/Sustainable%20Arquitectura%20Education_Summary%20Spanish.pdf
- ASHRAE. 1993. *Handbook Fundamentals, American Society of Heating Air Conditioning Engineers*. Atlanta.
- Barranco Arevalo, O. 2015. La Arquitectura Bioclimática. *Modulo Arquitectura CUC, 14*. Obtenido de <file:///C:/Users/HP/Downloads/733-Texto%20de%20art%C3%ADculo-2486-1-10-20150911.pdf>
- Chyee Toe, D., & Kubota, T. 2013. Development of an adaptive thermal comfort equation for naturally ventilated buildings in hot-humid climates using ASHRAE RP-884 database. *Frontiers of architectural research*, 2(3), 278 - 291.
- Cohen, P., Potcher, O., & Matarakis, A. 2013. Human thermal perception of coastal Mediterranean outdoor urban environments. *Applied Geography*(37), 1-10.
- Evans, J. M. (2000). Técnicas Bioclimáticas de Diseño: las Tablas de Confort y los Triángulos de Confort. *Conferencia Internacional "Confort y Comportamiento Térmico de Edificaciones*. Maracaibo.
- Fanger, P. (1973). *Thermal Comfort*. McGraw-Hill.
- Giró, M., & Benitez, M. A. 2006. La articulación teoría / práctica. Una experiencia docente en el último taller de diseño en la Facultad de Arquitectura de la UNNE. *INVI*, 21(56), 31-42. Obtenido de <http://www.revistainvi.uchile.cl/index.php/INVI/article/view/307/280>
- Givoni, B. 1981. *Man Climate and Architecture*. London: Applied Science Publishers.
- Hernandez Infante, R. C., & Infante Miranda, M. E. 2016. El método de enseñanza-aprendizaje de trabajo independiente en la clase encuentro: Recomendaciones didácticas. *Revista de Pedagogía*, 37(101), 215-231.
- Humphreys, M., & Nicol, J. 2000. Outdoor temperature and indoor thermal comfort: raising the precision of the relationship for the 1998 ASHRAE database of field studies. *ASHRAE Transactions*, 485-492.
- Koenigsberger, O., Mahoney, C., & Evans, J. M. 1971. *Climate and house design*. New York: United Nation.
- Lanzilotta, J. 2010. *Forma y comunicación en arquitectura: conceptos básicos* (1era ed.). La Plata: Edulp. Obtenido de https://issuu.com/jmlanzi/docs/libro_com_noche
- Neila Gonzalez, J. 2004. *Arquitectura sostenible en un entorno sostenible*. Madrid: Munilla-Leria.
- Olgay, V. 1963. *Design with Climate*. Princeton: Princeton University Press.
- Olgay, V. 1998. *Arquitectura y clima*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Padilla Llano, S. 2014. Interdisciplina en los procesos de enseñanza/aprendizaje en el diseño urbano. *On the w@terfront*, 29. Obtenido de <http://revistes.ub.edu/index.php/waterfront/issue/view/1585>
- Padilla Llano, S., Rodríguez, L., Villadiego, K., Osorio, H. 2018. Arquitectura y urbanismo sostenible en Colombia. Una mirada al marco reglamentario. *Bitácora Urbano Territorial*, Volumen 28, Número 3, p. 19-26, 2018. ISSN electrónico 2027-145X. ISSN impreso 0124-7913. DOI: <https://doi.org/10.15446/bitacorav28n3.52051>
- Padilla-Llano, S. 2015. Producción de espacio público [X] Participación ciudadana. El proyecto de espacio público resultado de procesos de participación ciudadana. Barcelona, Universitat de Barcelona. En: <http://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/66978>
- Pérez Sandoval, M. 2012. Experiencias de un curso piloto de Taller de Arquitectura en formato Blended Learning. *Memorias del Primer Coloquio sobre la Práctica de la Educación Virtual en la UAM-A* (págs. 369-393). Mexico: Universidad Autónoma Metropolitana. Obtenido de http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/5250/Experiencias_de_un_curso_piloto_de_Taller_de_Arquitectura.pdf?sequence=1
- Rodríguez Potes, L. 2010. Efectos de los arboles sobre el viento en medio urbano. *Modulo Arquitectura CUC*, 9(1), 131-144. Obtenido de <https://revistascientificas.cuc.edu.co/moduloarquitecturacuc/article/view/122>
- Rodríguez Potes, L., Hanrot, S., Dabat, M.-A., & Izard, J.-L. 2012. Variation des paramètres de plantation des arbres d'alignement dans un milieu urbain et son influence sur la température de l'air-Cas d'Aix-en-Provence, France. *Ambiances in action/Ambiances en acte (S)-International Congress on Ambiances*. 261-266. Obtenido de <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00745975/document>
- Rodríguez Potes, L., Hanrot, S., Dabat, M.-A., & Izard, J.-L. 2013. Influence of trees on the air temperature in outdoor spaces according to planting parameters: the case of the city of Aix-en-Provence in France. (W. Press, Ed.) *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 173, 299-310.
- Szokolay, S. 1984. Passive and Low Energy Design for Thermal and Visual Comfort. *Proceedings of the International Conference on Passive and Low Energy Eco Techniques Applied to Housing* (PLEA 84). México: Pergamon Press.
- UIA/UNESCO. 1996. CARTA UNESCO/UIA DE LA FORMACIÓN EN ARQUITECTURA. La Carta UNESCO/UIA aprobada inicialmente en 1996 (Asamblea de la UIA, Barcelona).
- Vidal, T., Salas, X., Viegas, I., Esparza, D., Padilla, S. 2012. El mural de la memoria y la Rambla Ciutat d'Asunción del barrio de Baró de Viver (Barcelona). *Athenea digital*. Vol.: 12 Núm.: 1 Crítica imaginativa de la ciudad contemporánea. DOI: <https://doi.org/10.5565/rev/athenead/v12n1.933>
- Villadiego Bernal, K., & Velay-Dabat, M.-A. 2014. Outdoor thermal comfort in a hot and humid climate of Colombia. *Building and Environment*(75), 142-452.