

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA

JOSÉ DAVID HERNÁNDEZ SANDOVAL

EVALUACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD EN VIVIENDA

Aplicación de criterios a un caso de estudio en Montería – Colombia

2012



**INSTITUTO
DE INVESTIGACIONES
HISTÓRICAS**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



EVALUACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD EN VIVIENDA
Aplicación de criterios a un caso de estudio en Montería – Colombia

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN ARQUITECTURA

PRESENTA:

JOSÉ DAVID HERNÁNDEZ SANDOVAL

PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA

UNAM

MÉXICO

2012



**INSTITUTO
DE INVESTIGACIONES
HISTÓRICAS**

JURADO:

Director de Tesis:

Mtro. FRANCISCO REYNA GÓMEZ

Sinodales:

Dr. JOSÉ DIEGO MORALES RAMÍREZ

Dr. HERMILO SALAS ESPÍNDOLA

Dra. DOLORES ANA FLORES SANDOVAL

Mtra. ADRIANA DÍAZ CAAMAÑO

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	5
1. DESARROLLO Y ARQUITECTURA	9
1.1. Desarrollo.	9
1.2. Arquitectura.	10
2. ACCIONES QUE CONTRIBUYEN A LA SUSTENTABILIDAD EN LA ARQUITECTURA.....	15
2.1. Certificación de edificios.	15
2.1.1. Evaluación de criterios.....	18
2.1.2. Recepción de datos.	19
2.1.3. Selección y uso.....	21
2.1.4. Programas informáticos.....	22
2.2. Beneficios para el sector de la Construcción.	24
2.3. Implementación de la certificación sustentable en Colombia.....	25
2.3.1. Ventajas.....	29
3. APORTES DEL DESARROLLO A LA ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA EN CÓRDOBA.....	31
3.1. La vivienda vernácula.	31
3.1.1. Origen de los asentamientos.	31
3.1.2. El aporte de conquistadores y colonizadores.	33
3.1.3. Conformación de la ciudad.	35
3.2. Aportes de la arquitectura vernácula a la bioclimática.	38
4. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES BIOCLIMÁTICAS DE MONTERÍA CON ECOTECT Y CTE.....	40
4.1. Análisis del sitio.	40
4.1.1. Análisis del clima.	41
4.1.2. Datos climáticos.....	43
4.1.3. Exigencias bioclimáticas.	46
4.2. Modelización con Ecotect.	55

4.2.1. Descripción geométrica del modelo.....	56
4.2.2. Asignación de materiales.....	57
4.2.3. Variables ambientales.....	57
4.2.4. Estudio de Asoleamiento.....	59
4.2.5. Análisis Térmico.....	59
4.3. Modelización con (CTE).....	60
4.4. Análisis de resultados.....	62
4.5. Análisis comparativo Ecotect y CTE.....	63
5. EVALUACIÓN DE VARIABLES EN EL DISEÑO DE LA VIVIENDA.....	68
5.1. Análisis del diseño urbano y arquitectónico.....	68
5.1.1. Evaluación Urbanización El Laguito.....	72
5.2. Ganancia de radiación solar en la envolvente.....	75
5.2.1. Consumo de Energía.....	83
CONCLUSIONES.....	85
BIBLIOGRAFÍA.....	87

INTRODUCCIÓN

“En el mundo la vivienda representa actualmente uno de los problemas más acuciantes. En los países desarrollados y en vías de desarrollo (más críticos en estos últimos), los sistemas habitacionales no tienen integrados los diferentes subsistemas que lo componen, refiriéndose a la integrabilidad como sustentabilidad y apropiabilidad o sea, desarrollo real, parejo y universal.”¹

Las prioridades de una economía emergente como la Latinoamericana las políticas de gestión de vivienda solo se centran en darle techo a la gente, antes de llegar a una eficiencia energética o concebir un proyecto con criterios sustentables² y se confunde que este tipo de construcciones solo están destinadas a países desarrollados, quizás porque no se han mostrado las ventajas que representa un proyecto con estas características, las cuales pueden influir en la disminución del consumo de energía y que como países pobres no deberíamos darnos el lujo de despilfarrar. Los altos costos de los servicios públicos domiciliarios (SPD) en Colombia dados por la privatización de este sector con la implementación de la Ley 142 de 1994,³ han incidido para que en muchas familias estos servicios sean considerados un lujo dada la capacidad de pago de los estratos socioeconómicos más bajos.⁴ El déficit actual de vivienda ha traído como consecuencia la construcción de desarrollos habitacionales a bajos costos, de dimensiones mínimas, sin eficiencia energética, sin áreas verdes etc., los cuales se deben demoler o reconstruir al corto tiempo o que tengan un costo operacional muy elevado ya que estas contribuirán de manera significativa al uso de

¹ Bacarat, Saad Al-Lah. *La cooperatividad árabe en la vivienda entre la realidad y la aspiración*. Revista La cooperación en la vivienda. (Al-Tauson Al Sakani) (Damasco. Siria) (2); p.13ss; marzo-abril: 1996.

² El principio de sustentabilidad contiene la visión filosófica referida al derecho de las generaciones siguientes a disfrutar por lo menos del mismo bienestar actual, valorando un proyecto como una necesidad que no puede darse por supuesta; hace falta calificar, evaluar y verificar su alcance; constituyendo un punto de partida para la toma de decisiones de todos los procesos.

³ SPD (acueducto, alcantarillado, aseo, energía eléctrica, distribución de gas combustible, Telefonía Pública Básica Conmutada de Larga Distancia, telefonía local móvil en el sector rural).

⁴ Ejemplificando esto en la tarifa de energía eléctrica para el estrato socioeconómico 2 (El estrato más bajo es 0 y el más alto es 6), que en 1993 ocupa el 9,5% del total del ingreso y en 2003 es de 13,8%, un 50% más. DANE; 2003.

recursos esenciales como el agua y la energía y al uso eficiente del suelo, con sus respectivos impactos.

Por lo tanto es necesaria la aplicación de criterios sustentables en Colombia dada la problemática que enfrenta frente al cambio climático, como el aumento de la temperatura media en el territorio nacional en 3,2 °C para lo largo del siglo XXI⁵ y es el departamento de Córdoba uno de los mas vulnerables; pues pasaría de un clima semihúmedo a árido, de una temperatura “cálida” a “muy cálida” y las precipitaciones aumentarían 36%. Esto nos muestra que una de las variables a tener en cuenta en el desarrollo de la vivienda es el clima, por lo tanto: ¿Al tener en cuenta criterios sustentables en el diseño de vivienda de la ciudad de Montería, es posible que éstos contribuyan en la reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero, por el consumo de energía requerido para satisfacción de las necesidades de confort interior en la vivienda, para que en la medida de lo posible mejoren, la calidad del ambiente para las generaciones actuales y futuras?

Las aportaciones que pretende la investigación, es buscar la aplicación de criterios de sustentabilidad en la vivienda de interés medio de la ciudad de Montería; lo cual requiere del estudio y análisis de las herramientas que actualmente se utilizan para la evaluación de la sustentabilidad en la arquitectura, estas se seleccionaran de acuerdo a lo estudiado únicamente para alcanzar el propósito específico, de obtener herramientas para su aplicación, siendo necesario que los criterios adoptados permitan su operatividad y con ello, obtener el potencial del método de análisis. Lo cual resultaría imprescindible para lograr un programa de viviendas con este enfoque, ya que teniendo una *visión prospectiva*⁶ del diseño, se permitirían estudiar las posibles alternativas y toma de decisiones.

La aplicación de estos criterios de sustentabilidad en Colombia resulta atractivo para la vivienda de interés medio, la cual pertenece a estratos socioeconómicos 2 (bajo) y 3 (medio – bajo),

⁵ Ruiz M, José Franklyn., *CAMBIO CLIMÁTICO EN TEMPERATURA, PRECIPITACION Y HUMEDAD RELATIVA PARA COLOMBIA USANDO MODELOS METEOROLÓGICOS DE ALTA RESOLUCION (PANORAMA 2011-2100)*, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM SUBDIRECCIÓN DE METEOROLOGÍA, Bogotá, Mayo de 2010.

⁶ Visión Prospectiva: Plantea métodos de planeación estratégica donde se concibe al futuro deseable y se diseñan los medios para llegar a él.

representando el 69,5%, del total de vivienda propia, mientras que para las viviendas arrendadas representan el 79,2%,⁷ presentando la mayor tenencia y a la vez el mayor déficit expresado en la capacidad de arriendo actual. Por lo tanto se toma como caso de estudio un desarrollo de este tipo, que sin ser una muestra probabilística sea representativa de la vivienda de la ciudad de Montería; en materiales utilizados, dimensiones de lote y altura. Donde finalmente se busca mostrar lo que puede aportar o restar la sustentabilidad al futuro proceso de construcción y explotación de la vivienda.

Para este objetivo se ha dividido la investigación en los siguientes capítulos:

1. Comprende la revisión del concepto de sustentabilidad desde la perspectiva del desarrollo y en la arquitectura, donde se han dado diferentes tipos de actuaciones tendientes a la sustentabilidad a través de diferentes tendencias y adjetivos.
2. Las herramientas utilizadas para la evaluación y certificación de la sustentabilidad en la arquitectura, las ventajas que representa un proyecto con estas características en el mundo y su aplicabilidad en Colombia.
3. El desarrollo en Córdoba y su influencia en la arquitectura; transformación, evolución y la adaptación al contexto en la vivienda, hace parte de un proceso que se da desde los primeros asentamientos en la región hasta la conformación de la ciudad, donde se le saca partido a la arquitectura, manifestado a través de la vivienda vernácula con la adecuada comprensión del entorno donde se desarrolla y que contribuyen al diseño bioclimático, características perdidas en la actualidad.
4. Análisis de los elementos del clima y su influencia en la ciudad de Montería; comprende la determinación de las estrategias que se llevan a cabo en un diseño bioclimático para alcanzar las condiciones de confort, y el proceso de simulación térmica con Ecotect, como una necesidad para la evaluación de las particularidades climáticas en un caso de estudio y obtener el potencial del análisis térmico, con una metodología que permita el contraste de los resultados.

⁷ La clase social media en Colombia es definida como: “aquella que ocupa un lugar intermedio entre las condiciones más extremas de privación y las de opulencia”. Amaya G, Carlos Andrés. *Tenencia, distribución y valor de las viviendas colombianas*, 2003, p. 100.

5. Evaluación de diferentes parámetros de sustentabilidad; consideraciones que se deben tener en cuenta en el diseño de la vivienda y las que forman parte de la economía térmica, las ganancias de calor por radiación solar en la vivienda y su influencia en el consumo de energía.

1. DESARROLLO Y ARQUITECTURA

1.1. Desarrollo.

Todo acto de desarrollo en la humanidad implica consecuencias para el medio ambiente, la concepción de un desarrollo “sostenible o sustentable”⁸ nace de la necesidad de que la sociedad debe modificar su estilo y hábitos de vida, si no se quiere que la crisis social y la degradación de la naturaleza se extiendan de manera irreversible. La dimensión sustentable promete una visión esperanzadora para ello, estableciendo indicadores como parámetros o valores que proporcionen información acerca de fenómenos tales como el estado de la relación entre la sociedad o empeoramiento de la calidad del entorno, señalando si la sociedad esta rumbo a la sustentabilidad.

El término fue formalizado por primera vez en el documento conocido como Informe Brundtland (1987), fruto de los trabajos de la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas, creada en la Asamblea de las Naciones Unidas en 1983, en el que estos principios representan un paradigma para la humanidad⁹. Actualmente no existe un consenso acerca de la utilización del término “sostenible o sustentable” que de acuerdo al origen del término en ingles “sustainable” se traduce comúnmente como sostenible en España, mientras que en América latina está mas extendido el término sustentable; sin embargo, ambas expresiones se refieren a un mismo concepto si lo vemos desde la perspectiva del *desarrollo*.

⁸ El término "desarrollo sostenible" (sustainable development) que la ex primer ministro noruega Gro Brundtland incorporó en el informe "Nuestro futuro común" (Our common future) presentado en la 42ª sesión de las Naciones Unidas en 1987. En dicho informe se hacía hincapié en que el empobrecimiento de la población mundial era una de las principales causas del deterioro ambiental a nivel global.

⁹ Los estados participantes lo asumieron así, en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD, llamada Cumbre de la Tierra), reunida en Río de Janeiro en 1992. Ahí aprobaron la Agenda 21 que es el plan de acción para lograr ese desarrollo, también nombrado sustentable. EuroPROFEM, *PARADIGMA DEL DESARROLLO HUMANO: la centralidad de lo humano*, http://www.europrofem.org/contri/2_05_es/cazes/09_cazes.htm. Consultado el 10 de mayo de 2009.

En este informe se define la sustentabilidad como “un desarrollo que solventa las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras para solventar sus propias necesidades”. El informe imagina un mundo en el que cada nivel de recursos que se consume queda compensado, de una manera o de otra, mediante la introducción de nuevos recursos de valor y utilidades similares, lo cual resulta utópico, dada la complejidad de la naturaleza con respecto a las magnitudes físicas asignadas. El ámbito del desarrollo sustentable puede dividirse conceptualmente en tres partes: ambiental, económica y social.

En la actualidad muchos de los recursos que se consideraban infinitos no existirán dentro de unas décadas o su extracción resultará demasiado cara y de que las actividades que desarrolla el hombre siguen y seguirán causando una degradación en el medio ambiente y en la ecología de manera irreparable. Ante estos hechos en diferentes institutos internacionales se han desarrollado estos principios de sustentabilidad con el fin de que operen en cualquier nivel, desde el familiar hasta la comunidad local, desde los pueblos y las ciudades hasta las naciones, desde los continentes hasta el mundo entero. Lo cual es posible que se de de manera fragmentada en un principio, la complejidad de los diversos grupos de la sociedad es diversa, recelosa y atrincherada en su manera particular de hacer las cosas. Esto sería una proposición práctica si fuese posible establecer una nueva sociedad desde cero, logrando el objetivo de que estos sean operables en cualquiera de los niveles que se proponen.

1.2. Arquitectura.

La arquitectura está necesariamente implicada en todo programa de desarrollo sustentable, una cuestión sin duda ineludible en este siglo. Los edificios tienen un impacto en su entorno en diferentes escalas, desde la región a la ciudad, al distrito y al barrio. Este impacto se deriva de los elementos y los sistemas que lo constituyen, de los materiales utilizados y se manifiesta de diversas formas a lo largo del ciclo completo de vida del edificio, la selección de materiales que implica todo proyecto trae consigo consecuencias inevitables: el impacto de su extracción, procesamiento y fabricación; la energía necesaria para llevar a cabo estos procesos; las emisiones asociadas con el uso de ciertos

productos, así como su mantenimiento, derribo, reciclaje y vertido posteriores. Así mismo en las estrategias proyectuales que afectan el empleo de combustibles, debe tenerse en cuenta el gran impacto ambiental de las posibles emisiones contaminantes a la atmosfera, del consumo de energía en su extracción, su procesamiento y su distribución. Además considerar el impacto a escala global, el impacto sobre la escala menor de los espacios habitados como los interiores de las viviendas y los lugares de trabajo, en relaciones con cuestiones como la calidad del aire, la ventilación, las buenas condiciones térmicas, la calidad espacial y la iluminación, la actividad desarrollada o el placer y la seguridad. La arquitectura sustentable intenta reducir al mínimo las consecuencias negativas que producen las edificaciones en el medio ambiente, las cuales son responsables a nivel mundial de; 65% del consumo de energía, 36% del uso total de energía, 30% de las emisiones de CO₂, 30% del uso de materias primas, 30% de los residuos que van al vertedero y 12% del uso de agua potable. Estas reducciones se consiguen; realizando eficacia y moderación en el uso de materiales de construcción, del consumo de energía, del espacio construido manteniendo el confort higrotérmico.¹⁰

El reto de la industria de la construcción consiste en cuantificar y evaluar estas cuestiones. Para hacerlo necesita clarificar los objetivos, identificar y enumerar los diferentes tipos de impactos que ocasionan las edificaciones en el medio ambiente, y asignarles medidas físicas para solventarlos. Tiene que entender los principios científicos que gobiernan la sustentabilidad y asignarles un peso relativo que tenga efecto sobre las generaciones actuales y futuras, considerado todos los impactos que intervienen en el ciclo de vida de la edificación.

Las medidas más inmediatas son las mismas de siempre, pero que en el siglo XX no se tuvieron muy en cuenta. Tener que ver con la optimización de la orientación, encontrar un equilibrio entre la sombra y la captación del sol, la instalación de ventanas que se puedan abrir de modo que se consiga mayor efecto de luz y de aire posible, pero que cuando se cierran queden perfectamente ajustadas, con un buen aislamiento, y con una buena construcción que no se agriete. Estas medidas permiten un ahorro en el consumo de energía considerable de acuerdo a la solución planteada.

⁸ El confort higrotérmico indica la ausencia de malestar térmico. Este esta presente cuando no tienen que intervenir los mecanismos termorreguladores del cuerpo para una actividad sedentaria y con un ligero arropamiento. Esta situación puede registrarse mediante índices que no deben ser sobrepasados para que no se pongan en funcionamiento los sistemas termorreguladores (sudoración, metabolismo, y otros). Wikipedia, http://es.wikipedia.org/wiki/Confort_higrot%C3%A9rmico, Consultado el 10 de Junio de 2011.

También es necesario el estudio de la capacidad térmica de los materiales, la planificación del interior para mitigar las fluctuaciones térmicas extremas y el empleo del paisajismo para crear condiciones externas complementarias. Las cantidades de medidas empleadas en la edificación dependen de las necesidades del edificio en función de su situación, uso y ocupación, en el que se pueda explotar la utilización de energías renovables con el empleo cuidadoso de medidas artificiales con el objeto de producir un mayor rendimiento de la energía.

En un principio los esfuerzos en un diseño sustentable se centran en la eficiencia de la reducción del consumo de energía con la implementación de normas de eficiencia energética y de la utilización de energías renovables etc., dada la cantidad de combustible necesaria para el funcionamiento de una edificación (alrededor del 65% de consumo se da en esta etapa)¹¹ durante su vida útil. Sin embargo los principios en un diseño sustentable implican aplicar cada vez un rango mas amplio de características que contribuyan no solo a la productividad económica, si no también en la salud de sus habitantes y en el medio ambiente natural.

Actualmente en un diseño sustentable podemos decir que predominan las siguientes actuaciones, cada una con posibles variantes:

*Actuaciones tendentes a recuperar un cierto grado de "primitivismo"*¹²: volviendo a soluciones vernáculas¹³, enfatizando los peligros que acechan al desarrollo y reivindicando lo natural frente a los desmanes del progreso tecnológico. Se trataría en alguna medida de un planteamiento muy vinculado al territorio y al asentamiento en baja densidad, una vuelta al medio rural. Es un planteamiento acompañado, muchas veces, de cierto fundamentalismo "ecológico" en el sentido de prohibir o limitar el empleo de muchos materiales de construcción, sobre todo de aquellos que

¹¹ Yeang, Ken., *Proyectar con la naturaleza*, Colección Arquitectura y Diseño + Ecología, Editorial Gustavo Gili, SA, Barcelona: 1999. p. 128.

¹² Se concentran básicamente en la cuestión de los orígenes. Abogan por volver a una vida no -"civilizada" a través de la desindustrialización, la abolición de la división del trabajo o la especialización, y ciertos grados de abandono de la tecnología. Energía medio ambiente y tecnología: *ARQUITECTURA, UN AHORRO ENERGÉTICO CON LOS ELEMENTOS MEDIO AMBIENTALES*. <http://emat0108.blogspot.com/>. Consultado el 2 de junio de 2010.

¹³ Este tipo de construcciones se caracteriza por ser edificada con materiales disponibles en el entorno inmediato. El objetivo es generar microclimas dentro de las edificaciones para obtener cierto grado de confort térmico y así minimizar las condiciones de climas extremos.

implican un mayor consumo energético o procesos industriales con una alta repercusión ambiental. A su vez, preconizan el empleo de materiales considerados naturales, como la tierra, la madera o la arcilla.

El modelo tecnológico: Denominado "high-tech"¹⁴ o, en su versión supuestamente más orientada a la integración medio ambiental, "eco-tech". Con gran repercusión mediática, se trata de un modelo exhibicionista que aplica los más espectaculares alardes técnicos en la resolución de edificios, con complejos sistemas activos de control climático (vidrios de alta eficiencia, sistemas móviles robotizados de protección, sistemas de captación solar activa) controlados por ordenador (domótica). Son edificios cuya eficiencia energética sólo se limita al mantenimiento, sin tener en cuenta otras premisas, como el costo energético de construcción (generalmente elevadísimo). Se trata de un modelo que se extiende como manifiesto de futuro, pero que debido a su elevado costo sólo es asumible por corporaciones privadas de alto nivel económico, que lo exhiben como símbolo de poder y como objeto publicitario dentro de la moda actual por lo "ecológico".

*El modelo posibilista:*¹⁵ Que trata de introducir, paulatinamente, mejoras en el diseño arquitectónico y en la resolución constructiva de los edificios, de tal modo que con un pequeño incremento de costos, se obtengan notables beneficios en ahorro energético y adecuación ambiental. Es un modelo de probada eficacia, que no implica complejas transformaciones de la industria productiva actual (utiliza materiales habituales en el proceso constructivo), no interfiere en los planeamientos estratégicos de desarrollo y puede ser perfectamente asumible en costos por el conjunto de agentes que intervienen en el proceso inmobiliario: administración, promotores, técnicos, constructoras y usuarios. Un modelo en consonancia con las próximas normativas internacionales a aplicar en concepto de eficiencia energética y protección ambiental y suficientemente flexible para adaptarse a diferentes necesidades y demandas económicas y sociales. Además, se trata de un modelo perfectamente adaptable a la idiosincrasia social y económica de cada lugar, y por tanto perfectamente compatible con las necesidades de desarrollo a los que se enfrentan los países del segundo y tercer mundo.

¹⁴ Es un estilo arquitectónico que se desarrolló durante los años setenta. La arquitectura High-Tech (Alta tecnología) toma dicho nombre del libro: Kron, Joan y Slesin, Suzanne., *The Industrial Style and Source Book for The Home*: 1978.

¹⁵ Celis D'Amico, Flavio. *Arquitectura bioclimática, conceptos básicos y panorama actual*. <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n14/afcel.html>. Consultado el 5 de febrero de 2008.

Se trata, este último, de un modelo perfectamente aplicable hoy por hoy, que sólo necesita de un apoyo más decidido de la administración en cuanto a dotar, en vivienda pública, de un mayor peso a las promociones de arquitectura con criterio sustentable y en cuanto a subvencionar, en vivienda privada, los pequeños incrementos de costos de mejora introducidos en las edificaciones. A medio plazo, y con la introducción de las normativas de calificación energética en el mundo, es más factible la producción de viviendas con este enfoque.

Para seguir estos principios es necesario determinar el contexto específico para cada caso y establecer cuales son los límites a los que deben responderse desde la arquitectura, en la que se encuentran muchos de estos principios implícitos ya que con una correcta interpretación del lugar (territorio, ciudad, edificación), es capaz de sintetizar una intervención en propuesta de desarrollo. Abarcando desde la concepción de un diseño sustentable un rango más amplio de problemas en el que se encuentra reducido en la actualidad como:

- Arquitectura bioclimática¹⁶.
- Arquitectura ecológica.
- Arquitectura autosuficiente.
- Heliodiseño.
- Arquitectura solar.
- Edificios verdes (Green Buildings), entre otras.

¹⁶ El término diseño bioclimático es sólo una forma de nombrar a la arquitectura, pues buscan lo mismo; optimizar las relaciones entre las personas que habitan un espacio con el clima exterior. González Couret, Dania. *Algo más sobre el diseño bioclimático*. Revista ENERGÍA y tú No. 36, Cuba: 2006.

2. ACCIONES QUE CONTRIBUYEN A LA SUSTENTABILIDAD EN LA ARQUITECTURA

2.1. Certificación de edificios.

Los criterios e indicadores de sustentabilidad constituyen una herramienta metodológica, que puede ayudar a la gestión de la sustentabilidad a través de la formulación de políticas, el proceso de toma de decisiones y la información objetiva que proporcionen valoraciones cuantitativas y cualitativas en la arquitectura, con base a información objetiva que permita reducir la dependencia de la simple intuición. La implementación de estas medidas ha contribuido a que existan en la actualidad 5,000 edificios y 700 millones de metros cuadrados “verdes” construidos en 16 países. Esto ha dado origen a la aparición de diferentes certificaciones internacionales, tal como se muestra en la Tabla 1.

Ambos indicadores se emplean en la arquitectura, el primero en la fase de proyecto y el segundo como herramienta de control y seguimiento una vez que el edificio es ocupado.

Tabla 1. Herramientas de certificación internacional:

Año	País de origen	Herramienta	Características
1998	Internacional	GBC-GBCTool	Métodos basados en el análisis de ciclo de vida para evaluar el rendimiento ambiental de las edificaciones.
-	Finlandia	PromisE	
1990	U.K.	BREEAM	
-	Francia	ESCALE	
-	Holanda	Eco/Quantum	
-	Suecia	EcoEfect	
-	España	VERDE	
1998	USA	LEED	Check – List
-	GBR	ENVEST	Basado en la valoración de los impactos empleados “ecopuntos” (a mayor número de ecopuntos mejor comportamiento)
2002	Japón	CASBEE	Basado en el concepto de ecoeficiencia.

Tabla adaptada de: Antonio Baño Nieva y Alberto Vigil-Escalera del Pozo. *Guía de construcción sostenible*. p. 126. Paralelo Edición. <http://www.ecohabitar.org/PDF/CCConsSost.pdf>. Consultado el 2 de junio de 2009.

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)¹⁷ es la herramienta de certificación más difundida porque la parte medular de su sistema consiste en incorporar socios que ayuden a promoverlo por todo el mundo. Según el Consejo Mundial de Edificación Verde (WGBC), existe un beneficio asociado a este tipo de proyectos, ya que los edificios certificados ahorran 40% de consumo de agua, 30% de energía y de 50 a 75% en desechos de construcción. Lo que representa un incentivo para los usuarios, constructores y promotores para seguir estos criterios.

Muchas herramientas de evaluación, como el Building Research Establishment Environmental Assessment Method (Método de análisis Medioambiental del Centro de Investigación de la construcción, BREEAM) en el Reino Unido y el Leadership in Energy and Environmental Design Programme (Programa de Liderazgo para la Energía y el Diseño Medioambiental, LEED), en E.E.U.U. Reconocen cada vez la complejidad de las decisiones afrontadas. El BREEAM, una herramienta de evaluación medioambiental para oficinas y otro tipo de edificios, ha pasado de recoger únicamente cuestiones relacionadas con la energía a tratar de abarcar la naturaleza polifacética de las alternativas ecológicas. Durante este proceso han surgido nuevos temas, como el ahorro del agua y la salud de los ocupantes. A medida que las cuestiones a tener en cuenta se diversifican, se tienden a usar indicadores en vez de medir todos los impactos posibles. Los indicadores son una herramienta muy útil, porque proporcionan una visión más amplia de los problemas. Proporcionan dos tipos de información:

- Nivel de consecución de un objetivo.
- Fluctuaciones en el sistema.

Un buen indicador de la eficiencia energética en la fase del proyecto es el cálculo de unidades de energía consumidas por metro cuadrado y determinar según la fuente de energía utilizada, el porcentaje de energía que se genera a partir de fuentes renovables. Este indicador proporcionaría información al diseñador, los gestores del edificio, a los que proporcionan datos para mejorar el rendimiento, y los poderes públicos, a los que les permitirá establecer objetivos para la reducción de las emisiones de CO₂ en el ámbito nacional. La salud también puede ser un buen indicador, tanto de

¹⁷ Calvo, Cristina., *Polémica en certificación de edificios*.<http://www.cnnexpansion.com/obras/pulso-de-la-construccion/polemica-en-certificacion-de-edificios>. Consultado el 1 de Abril de 2009.

los trabajadores de la construcción (los distintos materiales y técnicas de construcción presentan diferentes riesgos), como la de los ocupantes, cuya salud puede verse afectada por una mala concepción medioambiental. La biodiversidad local puede ser otro indicador, el impacto ecológico total de la extracción, producción, construcción, uso y eliminación final de un material es difícil de medir.

Tabla 2. Herramienta de autoevaluación de la sustentabilidad para estudiantes de arquitectura:

Tema	Aspecto	Puntuación	Factor	Subtotal
Energía	Orientación	-	X3	-
	Abrigo	-	X3	-
	Súper aislamiento	-	X3	-
	Área acristalada	-	X3	-
	Ganancia solar pasiva	-	X3	-
	Refrigeración solar pasiva	-	X3	-
	Energía renovable	-	X3	-
	Recuperación de calor	-	X3	-
	Otros (especifique)	-	X3	-
Materiales	Minimización de residuos	-	X2	-
	Proveniencia local	-	X2	-
	Reutilización	-	X2	-
	Reciclaje	-	X2	-
	Energía incorporada	-	X2	-
	Mantenimiento	-	X2	-
	Otros	-	X1	-
Recursos (suelo)	Área industrial obsoleta	-	X2	-
	Densidad	-	X2	-
	Biomasa	-	X1	-
	Otros	-	X1	-
Recurso (agua)	Electrodomésticos de bajo consumo	-	X1	-
	Reciclaje de aguas grises	-	X1	-
	Recogida de aguas pluviales	-	X1	-
	Otros	-	X1	-
Accesibilidad	Discapacitados	-	X2	-
	Transporte público	-	X2	-
	Bicicleta	-	X2	-
	A pie	-	X1	-
Salud	Materiales naturales	-	X2	-
	Ventilación natural	-	X2	-
	Luz natural	-	X2	-
	Estrés	-	X1	-
	Contacto con la naturaleza	-	X1	-
Total:				

Tabla adaptada de: Edwards, Brian. *Guía básica de la sostenibilidad*. Editorial Gustavo Gili SA, Barcelona: 2004.

Para evitar verse superados por la cantidad de variables a tener en cuenta, los arquitectos necesitan un conjunto sencillos de herramientas de evaluación, basado en principios y valores fácilmente comprensibles. Estas herramientas ya existen, pero pocas son lo suficientemente sencillas para construir una guía útil, especialmente durante las fases iniciales del proyecto, cuando se toman decisiones claves para el medio ambiente. El problema del método BREEAM y de otras herramientas es que su ámbito de aplicación precede a la determinación de la planta y situación. Se necesita de un método de análisis inicial sencillo, ver Tabla 2, así como de criterios de ponderación para dar prioridad a ciertos aspectos, dado que no todos los proyectos tienen que conceder igual importancia a las consideraciones energéticas, la incorporación de factores multiplicadores permiten hacer ajustes que reflejen las preferencias de los clientes o las prioridades que pueden surgir debido a la naturaleza del solar, la función del edificio o las necesidades de los ocupantes.

2.1.1. Evaluación de criterios.

Las herramientas para la evaluación del proyecto pueden ser manuales o informáticas. Algunas se asocian con decisiones estratégicas tempranas; otras prevén el rendimiento de propuestas detalladas. Su utilización depende del análisis requerido, en muchos casos, las herramientas simples o de nivel intermedio pueden proporcionar el análisis requerido para el proyecto.

Las herramientas sencillas suelen proporcionar solo un esquema de los datos, que funcionan como indicadores para el proyecto y que pueden ser muy valiosas desde el punto de vista estratégico. Las herramientas más sofisticadas permiten diseñar un formato de los datos a la medida y proporcionan una variedad de datos que se pueden seleccionar, ver Tabla 3.

Los aspectos medioambientales están interrelacionados, es decir, unos pueden afectar directa o indirectamente a otros y al rendimiento global. El objetivo es lograr un equilibrio óptimo. Ninguna herramienta puede hacerlo de forma automática, porque la mayoría responden a cuestiones concretas. La evaluación forma parte de un proceso iterativo, que requiere experiencia en el proyecto y la utilización de herramientas adecuadas.

Tabla 3. Utilización de herramientas para evaluar el rendimiento medioambiental:

Herramientas de diseño Aspecto:	Plano	Cálculo manual	Cálculo informático	Maqueta a escala	Simulación por ordenador
Aislamiento		T	I		D
Sombras	T			T	I/D
Rendimiento térmico		T	I		D
Iluminación natural		T	I	T	D
Ventilación		T	I		D
Infiltración		T	I		D
Confort			T		D
Fabrica edilicia		T	I		D
Instalaciones		T	I/D		D
Consumo energético		I		D	
Rendimiento total					D

T - Evaluación temprana

I - Evaluación intermedia

D - Evaluación detallada

Tabla adaptada de: GG. UN VITRUBIO ECOLÓGICO: PRINCIPIOS Y PRACTICAS DEL PROYECTO ARQUITECTÓNICO SOSTENIBLE, Barcelona: 2007 p. 139.

Los instrumentos utilizados para la evaluación de la sustentabilidad en la arquitectura, juegan un papel importante, ya que estos evalúan al proyecto desde la fase de diseño, considerando su importancia en una fase temprana, antes de desarrollarlo en detalle, siguiendo la línea de los compromisos adquiridos en las políticas del desarrollo.

Los criterios examinan el proyecto desde distintas perspectivas. La contaminación es el factor más importante, y esta se reduce construyendo de forma más eficiente y utilizando materiales duraderos y reciclables. Los recursos naturales se conservan construyendo mejor y menos, y utilizando materiales renovables y reciclables. La salud se mejora creando un microclima exterior favorable, así como condiciones interiores saludables, la diversidad natural se realza dejando una mayor parte del terreno sin construir y permitiendo acceso a la población animal a la zona.

2.1.2. Recepción de datos.¹⁸

Datos climatológicos: Son muchos los factores que afectan al rendimiento energético del edificio: altitud, latitud. Longitud, topografía del suelo y estructuras circundantes, microclima local etc. La temperatura es un requisito básico para la mayoría de las herramientas que analizan aspectos relacionados con el consumo de energía; los valores pueden requerirse en términos de horas días o meses. Otros datos necesarios pueden ser la velocidad y la dirección del viento, la radiación solar y

¹⁸ GG, 2007; 140.

la humedad. Se han realizado esfuerzos para desarrollar series de datos meteorológicos estándar para cada zona, pero su uso aun no esta generalizado en la práctica profesional.

Geometría del edificio: Las herramientas más sencillas solo aceptan parámetros verticales y ventanas, suelos horizontales y cubiertas planas, inclinadas o a dos aguas. Sin embargo, a medida que aumenta la sofisticación de las herramientas, acostumbra a aumentar también la complejidad del modelo geométrico que aceptan.

La orientación es importante sobre todo en lo que se refiere a radiación solar y al viento. En estudios mas detallados es importante el control de las zonas. Muchas de las herramientas más sencillas solo tienen en cuenta “zonas únicas” y el modelo representa todo el edificio como un único espacio. Esto suele ser suficiente para análisis sencillos e intermedios de edificios domésticos, pero es restrictivo para otros usos.

El elemento mas importante de los datos geométricos es probablemente la descripción del material de construcción. Las herramientas mas avanzadas suelen incluir bases de datos con las propiedades de los materiales comunes, como componentes individuales o como elementos constructivos típicos (muros, ventanas, etc.).

Cálculos estándar: Existen muchos métodos teóricos de cálculo para estudiar aspectos como el uso o consumo de energía, iluminación natural y artificial, la ventilación, infiltración, los costos de funcionamiento, etc. En la elección es importante considerar la aceptabilidad de la herramienta según los estándares internacionales, sobre todo si se cuenta con normativas de construcción que requieren de resultados comparativos de estándares concretos.

Instalaciones: Muchas herramientas intermedias o cualificadas ofrecen una amplia variedad de sistemas para describir las instalaciones de un edificio. Sin embargo, para realizar un estudio detallado de las instalaciones quizás sean más apropiadas las herramientas específicas.

Diseño asistido por ordenador (CAD): Algunas aplicaciones CAD incluyen herramientas para construir modelos tridimensionales, que permiten que el arquitecto estudie la distribución de luz

construyendo modelos tridimensionales de los edificios mediante programas de visualización realista y pueden combinarse con bases de datos y otros programas.

Precisión y validación: Los resultados de la aplicación de una herramienta para la evaluación de un proyecto no suelen ser exactos, ya que estas herramientas se basan en suposiciones y aproximaciones y solo hasta cierto punto, constituye una representación simplificada del edificio. Incluso los cálculos más detallados muestran distintos grados de error comparados con los obtenidos en un entorno de prueba físico. Además, es poco frecuente que los resultados reales correspondan exactamente con los cálculos si no existe una correcta interpretación de los resultados o a causa de defectos en la construcción. En la validación de resultados es importante confirmar su precisión.

2.1.3. Selección y uso¹⁹.

Maquetas: Las maquetas a escala del emplazamiento y su entorno, realizadas con cartón u otros materiales, pueden utilizarse para estudiar la insolación y las sombras. Pueden mostrar adecuadamente la distribución y niveles de luz natural.

Cartas solares estereográficas: Para evaluar la disponibilidad de luz solar en el emplazamiento es necesario determinar la sombra que producirán los edificios adyacentes y la vegetación. La carta proyecta una vista de la bóveda celeste sobre un plano horizontal. Cada latitud precisa una carta estereográfica específica para indicar las secciones de cielo que están libres de obstrucciones y por lo tanto, la importancia relativa de los periodos en los que la luz solar no incidirá.

Método LT: El método LT, disponible en papel y soporte informático, utiliza curvas de rendimiento energético derivadas de un modelo matemático donde la mayoría de los parámetros tienen valores dados. El usuario solo puede manipular algunas variables relacionadas con la forma del edificio y la fachada, como la producción de superficies acristaladas, la relación superficie y volumen, etc. El desglose energético que proporciona como resultado, en términos de calefacción, refrigeración e iluminación, dan una idea de la importancia relativa de los distintos componentes energéticos.

¹⁹ GG, 2007; 141.

El nuevo método 5000: Es una herramienta disponible en papel o en soporte informático, utilizada para determinar de forma rápida y aproximada el rendimiento de los edificios solares pasivos. Sirve para predecir la calefacción auxiliar necesaria para alcanzar, en un mes determinado, las condiciones de confort adecuadas en edificios calentados únicamente mediante ganancia solar pasiva, así como en edificios que utilizan también otras técnicas. Esto se consigue restando las ganancias y pérdidas de calor (ambas medidas en kWh) durante dicho mes.

Passport: El método Passport evalúa las necesidades de calor en un edificio residencial. Se basa en el equilibrio energético en régimen permanente de la zona del edificio, permitiendo variaciones externas de temperatura y un factor de utilización que tenga en cuenta el efecto dinámico de la ganancia interna y de la ganancia solar. Algunos de los aspectos más importantes que permite considerar son la utilización libre de la ganancia solar, la calefacción intermitente y la división del edificio en diferentes zonas.

Lightscape: El sistema de visualización Lightscape combina algoritmos de radiación patentados con una interfaz de iluminación basada en las propiedades físicas de la luz y los materiales.

ESP-r: Es un entorno de simulación térmica dinámico que puede utilizarse para explorar diversos aspectos (incluyendo fábrica del edificio, los flujos de masa, las instalaciones ideales y detalladas etc.) tanto por separado como combinados y en distintos intervalos de tiempo.

2.1.4. Programas informáticos.

Con el propósito de mejorar el rendimiento de la calefacción, ventilación y aire acondicionado, se han desarrollado una serie de herramientas que pretenden modelar y simular el desempeño térmico. Por lo cual se han estado desarrollando una vasta cantidad de ellas, buscando replicar la realidad y modelarla.

Desde 1996 se creó un directorio con 50 herramientas para la auditoría energética y diseño del edificio en el “Department of Energy of United States”²⁰. En 2009 existen 377 programas registrados, un 754% más en comparación con el año de inicio de registro.

Las plataformas en las que se utilizan estas herramientas, duplicadas en algunos casos es para PC: 334, Mac: 35, UNIX: 29, Internet: 53.

De acuerdo a su constructo son:

- Bases de datos.
- Hojas de cálculo de componentes y sistemas de análisis.
- Programas para la simulación del rendimiento de las edificaciones.

Las cuales cuantifican:

- Eficiencia energética.
- Energías renovables.
- Sustentabilidad en las edificaciones.

Un rango importante de este tipo de herramientas son las que se utilizan para la verificación del cumplimiento de las características sustentables en las edificaciones, las cuales corresponden al 2,91% del total y se centran particularmente en el análisis del ciclo de vida, ver Tabla 4.

Tabla 4. Herramientas de evaluación sustentable:

País	Herramienta	País	Herramienta
Canada	Athena Model	Francia	EQUER
Estados Unidos	BEES	Alemania	GaBI4
Australia	Building Greenhouse Rating	Finlandia	KCL-ECO
Estados Unidos	Building Advice	Australia	LISA
Suiza	ECO-BAT	Alemania	Umberto
Reino Unido	Envest		

²⁰ U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. *ENERGY EFFICIENCY Y RENEWABLE ENERGY*. http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/. Consultado el 4 de Noviembre de 2009.

2.2. Beneficios para el sector de la Construcción.

Panorama a nivel mundial:

- El valor de la industria de la construcción verde se estima en USD \$60 mil millones al 2010²¹.
- El mercado de productos para la construcción sustentable se estima en USD \$30 - \$40 mil millones en el 2010²².
- Hoy mas de 420 millones de metros cuadrados de edificios comerciales están registrados o certificados con LEED. USD \$464 millones al día se registran en el sistema LEED.

Tabla 5. Certificaciones LEED:

LEED	Nueva Construcción	Interiores	Edificios existentes	Core and Shell (comerciales)	Otros	Total
Proyectos registrados	9.057	1.657	2.022	2.056	817	15.609
Proyectos certificados	1.361	359	162	112	30	2.024

Una primera Encuesta en el Mercado Internacional que abarca más de 700 profesionales de la industria en 45 países, nos muestra²³:

- 67% de las empresas construyen sustentable en más del 16% de sus proyectos. – Sur América, 40% - Europa, 75%.
- En el 2013, el 94% de las empresas espera construir sustentable en más del 16% de sus proyectos.
- El 53% espera construir sustentablemente en más del 60% de sus proyectos.
- Sur América, 88% -- Europa, 95%.
- A nivel regional, Asia espera tener el mayor crecimiento en el mercado de construcción sustentable.

²¹ McGraw-Hill Construction, *Key Trends in the European and U.S. Construction Marketplace: Smart Market Report*: 2008.

²² Green Building Alliance: 2006.

²³ McGraw Hill Construction, *Global Green Building Trends Smart Market Report*: 2008.

Para Sur América:

- Sectores de alto crecimiento esperados: oficinas, industrial y residencial.
- Razón principal para construir sustentable: transformación del mercado (51%).
- Beneficio social de la construcción sustentable: mejoras en la productividad (37%).
- Barreras para la construcción sustentable: falta de apoyo del gobierno y mayores costos percibidos (63%).

Tabla 6. Ventajas y oportunidades en la arquitectura sustentable:

Lugar	Beneficios:
Oficinas:	2-16% incremento en productividad.
Colegios:	20% mejor desempeño en exámenes.
Hospitales:	2 ½ días de alta anticipada.
Comercio:	Incremento en ventas por m ² .
Fabricas:	Incremento en producción.
Y Oportunidades:	8-9% reducción en costos de operación.
	6.6% mejoramiento en retorno a la inversión.
	7.5% aumento en valor del edificio.
	3% aumento en precio de renta.
	3.5% aumento en tasa de ocupación.

Tabla adaptada de: "McGraw-Hill Green Building Smart Market Report: 2008".

2.3. Implementación de la certificación sustentable en Colombia.

En Latinoamérica los problemas ambientales se han agravado, puesto que el crecimiento económico que se ha producido, no ha tenido en cuenta de forma adecuada la protección al medio ambiente, por lo que las emisiones de gases de efecto invernadero han aumentado más en los países en vías de desarrollo que en los industrializados desde 2004, aunque la cantidad de gases emitida por los primeros es menor. Los niveles de emisiones en los países en vías de desarrollo se han triplicado desde 1970 (de 7.000 millones de toneladas en 1970 hasta unas 21.000 millones en 2005)²⁴.

²⁴ OEMICINN, *Las emisiones de gases de efecto invernadero aumentan cada vez más rápido* http://www.oemicinn.es/area5/area11/news_item.2009-05-29.2928565827. Consultado el 23 de abril de 2009.

Aunado a esto, existe un consenso generalizado de que la aplicación de criterios sustentables en las edificaciones es solo responsabilidad de los países desarrollados, dado que estos contribuyen en mayor medida a la contaminación ambiental, por lo tanto están obligados a mostrar una acción respetuosa hacia el medio ambiente. Sin embargo el desafío del cambio climático es global y cada vez más palpable en cualquier ciudad de occidente u oriente, porque las ciudades son responsables del 54% de las emisiones de gases que producen efecto invernadero. *“Si las ciudades no cambian y no ven oportunidades en este cambio, los problemas de sostenibilidad que se provocaran en 20 años más serán básicos, como el acceso al agua, al alimento y a la energía requerida para cocinar”*²⁵. Por lo tanto es imprescindible un giro, un cambio en la manera de hacer las ciudades. Lo urbano y el medio ambiente natural vistos como una matriz indivisible donde los humanos y los procesos naturales interactúan.

En Colombia el concepto de sustentabilidad ha empezado a permear el sector de la construcción, que junto con el transporte motorizado son los principales causantes de la contaminación del medio ambiente. Se han realizado esfuerzos supremamente importantes, sin embargo no se ha podido atravesar el límite en el que dichos esfuerzos pasen de ser individuales para convertirse en una fuerza global que pueda lograr reducir el impacto del sector de una manera significativa. Esto no se ha logrado porque existe una falta de coordinación entre los diferentes actores que están trabajando en el tema; hay una inconsistencia en cuanto a normativa y legislación; existe una enorme división de las diferentes partes interesadas dentro del sector, en muchos casos se presentan roles adversarios; no existe un marco de referencia en cuanto a la construcción sustentable, no existen medidas para cuantificar la sustentabilidad de los proyectos, dándose de manera aislada y por iniciativa particular; falta investigación y no hay mucha documentación de proyectos sustentables, de tecnologías o de técnicas desarrolladas en el país. Por otra parte no existe un valor asociado a los beneficios a largo plazo de un proyecto sustentable, aun se piensa únicamente en el valor inicial del proyecto, se construyen proyectos a bajos costos que se deben demoler o reconstruir al corto tiempo y que tienen un costo operacional muy elevado. No hay bases de datos en Colombia con referencia

²⁵ Gutiérrez, Alejandro, *Ciudad a prueba de futuro*, <http://www.rseprohumanablog.cl/?p=288>. Consultado el 2 de mayo de 2009.

de materiales amigables con el medio ambiente haciendo muy difícil para un diseñador especificarlos y para un constructor adquirirlos.

Adicionalmente hay una falta de liderazgo por parte del gobierno para enfrentar estos temas, no existen incentivos para proyectos sustentables, la legislación es inconsistente, no existen estándares mínimos de sustentabilidad o del impacto ambiental de los proyectos. Igualmente, la problemática del sector de la construcción en Colombia no está asociada exclusivamente a los grandes impactos negativos sobre el medio ambiente; también tiene un componente social muy importante debido a la compleja situación socio – económica que se vive, el desarrollo de este tipo de proyectos no debe ser ajeno a esta realidad, ya que no podemos darnos el lujo de despilfarrar tanta energía. Los altos costos de los servicios públicos domiciliarios dados por la privatización de este sector, han incidido para que en muchas familias estos servicios sean considerados un lujo dada la capacidad de pago de los estratos más bajos. Adicionado a esto, que los costos anuales del deterioro ambiental son alrededor del 3,7% del PIB²⁶ y afectan principalmente a las poblaciones urbanas (50% vive en ciudades de más de 100.000 habitantes), esto ha causado:

- Enfermedades de mala calidad del agua.
- Contaminación de aire.
- Desastres naturales.
- Degradación de los suelos.
- Poca planeación urbana con criterios ambientales.
- Expansión desordenada de las ciudades.
- Mal manejo de residuos y basuras (27.500 toneladas de basura son generadas diariamente).

En cuanto a la normatividad ambiental Colombiana; el Ministerio del Medio Ambiente es el encargado de definir las políticas y normas en lo relacionado con recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables y el medio ambiente, con el fin de asegurar un desarrollo que minimice los impactos de las actividades

²⁶ Banco Mundial, *Country Environmental Analysis* (CEA): 2005.

del hombre sobre el medio ambiente para asegurar su continuidad. El objetivo de la política ambiental del plan es el trabajo integrado de todos los agentes involucrados en el desarrollo del país, buscando el respeto al medio ambiente y encaminando a la nación hacia un desarrollo sustentable.

El objetivo general de la política ambiental se fundamenta en promover el desarrollo regional y sectorial sustentable para restaurar y conservar áreas prioritarias en las ecoregiones, lo cuál se realiza a través del proyecto colectivo ambiental, ver Imagen 1. Las orientaciones de política del proyecto colectivo ambiental están estructuradas con base en siete programas centrales; los tres programas prioritarios definidos para el cumplimiento del objetivo de conservar y restaurar áreas prioritarias en las ecoregiones estratégicas son: Agua, biodiversidad y bosques; los programas principales para el cumplimiento del objetivo de dinamizar el desarrollo urbano, rural y regional sustentable son: Calidad de vida urbana y sustentabilidad de los procesos productivos endógenos; los programas prioritarios para el cumplimiento del objetivo de contribuir a la sustentabilidad ambiental de los sectores son: Producción más limpia y mercados verdes.

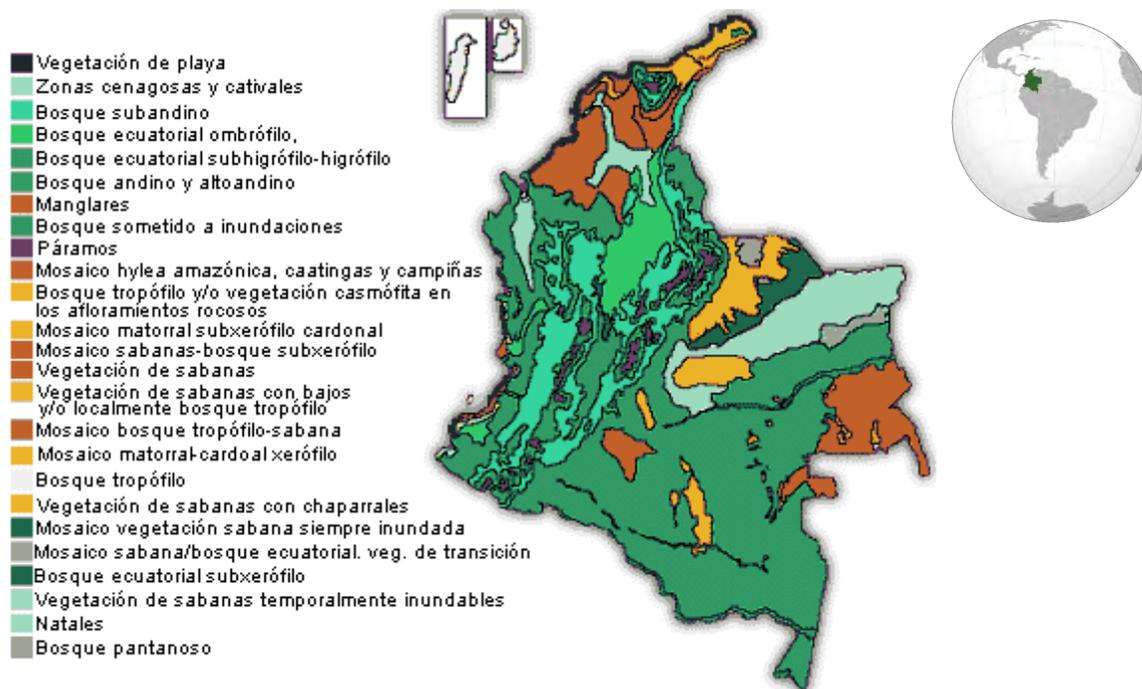


Imagen 1. Mapa del estado de conservación de las ecoregiones en Colombia.

Foto de © Ministerio del Medio Ambiente, http://www.greenvest.org/arp/colombia_ecoregiones.php "Reproducción realizada con fines didácticos".

La legislación ambiental colombiana aplicada desde 1991 ha logrado introducir el tema ambiental dentro de las prioridades del país y ha otorgado un marco institucional para promover y fiscalizar el cumplimiento de las normas. Sin embargo esta legislación no garantiza que la formulación y ejecución de políticas públicas sectoriales, regionales y macroeconómicas integren las variables ambientales, lo cuál se constituye en una prioridad para alcanzar el desarrollo sustentable.

La ausencia de iniciativas a nivel nacional provoca en muchos casos que esta se de particular como en la ciudad de Montería, que hizo parte de las 138 ciudades en el mundo y una de las tres en Colombia que firmaron el Pacto Climático Global de Ciudades (Pacto de la Ciudad de México), el 21 de Noviembre de 2010, cuyos compromisos para la ciudad son²⁷:

- Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero voluntariamente.
- Adoptar e implementar medidas locales de mitigación climática diseñadas para alcanzar las metas voluntarias de reducción de emisiones.
- Desarrollar estrategias locales de adaptación para hacer frente a las repercusiones locales del cambio climático.

2.3.1. Ventajas.

En Colombia, particularmente en Bogotá D.C., se pretende establecer un estándar único de construcción sustentable orientado al uso eficiente de energía eléctrica, los ahorros del sector residencial solo por eficiencia en el consumo, puede estar entre 18% y 37% con un promedio de 28%. Si se incluyen otros ahorros, como generación de energía propia y fuentes alternativas de energía, los rangos crecen a 28% y 48%. En el consumo de agua potable la reducción de consumo se estima entre 20% y 30%²⁸.

²⁷ Proactiva Medio Ambiente, *Plan Maestro de Cambio Climático – Montería Ciudad Verde 2019*. Revista: Mundo Proactiva N° 11 Septiembre 2011. Nilo Industria Grafica – Madrid, pp. 18 – 21.

²⁸ Ríos Londoño, Felipe. *PROYECTO DE ACUERDO No. 186 DE 2008*<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=29570>. Consultado el 10 de mayo de 2009.

Dado que Colombia no posee un estándar propio de construcción sustentable se da la necesidad de adoptar estándares creados en otros países y realizar las modificaciones necesarias, ya que se han establecido beneficios asociados a este tipo de proyectos. En la regulación ambiental existen puntos comunes con las prioridades del LEED, éstos puntos se deben incluir, incentivando a los constructores a adoptar estándares de construcción sustentable que midan objetivamente la reducción en el impacto ambiental de los proyectos.

Para esto, es necesario estudiar las tecnologías, procesos y métodos constructivos usados y probados en el país y buscar las aproximaciones de diseño para cada crédito y prerrequisito establecido, para lograr soluciones reales que se hayan usado con en pro de minimizar impactos.

Los beneficios que aporta al sector de la construcción la utilización de LEED, como herramienta de certificación de la construcción en el mundo es una realidad, ya que sus objetivos trascendieron la teoría y se convirtieron en una meta y una prioridad común tanto en edificaciones públicas como en privadas. Sin embargo actualmente la aplicación de criterios es igual tanto en Estados Unidos como en Colombia ya que se establecen los mismos niveles de puntuación. Teniendo en cuenta las diferencias que existente en cada uno de estos países y las prioridades de desarrollo, la certificación con este tipo de herramientas sería impracticable. Por lo tanto es necesario establecer las prioridades y desarrollar un sistema de evaluación donde se tomen en cuenta estas consideraciones para que se permita un desarrollo con este enfoque.

3. APORTES DEL DESARROLLO A LA ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA EN CÓRDOBA

3.1. La vivienda vernácula.

A pesar de los cambios que surgen a través del desarrollo de la ciudad, es en la arquitectura vernácula donde existe la búsqueda por integrarse al clima local y sacarle partido con la comprensión y reflexión sobre las condiciones locales, antes de construir y habitar con una profunda reflexión sobre el hábitat. La arquitectura vernácula es el resultado de aplicaciones y tradiciones ancestrales mejoradas en con el transcurrir del tiempo y las necesidades de la época, donde no solo el clima es motor de su construcción, si no también los factores culturales, sociales, y económicos.

Para analizar la relación entre el medio ambiente, el hombre y la arquitectura, es necesario estudiar las repuestas que algunas sociedades tuvieron para determinar las condiciones termofísicas de la envolvente que recubre el espacio donde habita, condiciones que dependen en principio de los factores climáticos de la zona donde esta construido el edificio.

Por lo tanto es necesaria la comprensión de la arquitectura vernácula de la región y las épocas en las que se da para entender su proceso de transformación. Las características particulares que contribuyeron a la evolución de la vivienda vernácula en el departamento de Córdoba están marcadas por lo siguiente:

3.1.1. Origen de los asentamientos.

Los pobladores de los departamentos de Córdoba y Sucre²⁹ fueron tribus indígenas de la gran familia de los zenúes³⁰, que tuvieron su época de desarrollo entre el siglo III antes de nuestra era y el siglo XVI, donde la construcción y manejo funcional de los canales de drenaje masivo sobre los ejes

²⁹ Ver localización en Imagen 3, p.35.

³⁰ Los Zenúes o Sinú son un pueblo amerindio cuyo territorio ancestral está constituido por los valles del río Sinú y el San Jorge y el litoral Caribe en los alrededores del Golfo de Morrosquillo, en los actuales departamentos colombianos de Córdoba y Sucre.

principales de los ríos San Jorge y Sinú, les permitió una economía orientada hacia la agricultura (maíz y yuca) y la conformación de una población que pasa de ser nómada a sedentaria.

Las condiciones de la zona permiten el establecimiento de sistemas agrícolas intensivos y permanentes muy productivos, mediante su previa adecuación a través de sistemas de drenaje y recuperación de tierras,³¹ ver Imagen 2. La canalización de las aguas del río permitía defender las viviendas de las inundaciones, como para beneficiar sus cultivos, permitiendo el surgimiento de sociedades cada vez más complejas, la transformación del medio circundante en los asentamientos y poblados.



Imagen 2. Sistemas de drenaje y de recuperación de tierras.

Foto de © Museo del Oro: *Canales del Zenú*, <http://www.flickr.com/photos/museodeloro/sets/72157624104558016/>., "Reproducción realizada con fines didácticos".

Se construyeron plataformas de vivienda y canales de drenaje que los protegían de los desbordamientos con una altura de 2 a 3 metros y un área habitable que oscila entre 2.000 y 40.000 m², siendo la mayoría de 5.000 m².

Los patrones de vivienda localizados a lo largo de caños y canales parece haber sido insuficiente para albergar la creciente población, surgiendo entonces los núcleos urbanos, entendiéndose como tales los cascos de concentración de población en viviendas cercanas que ordenadas, conforman una estructura urbana con vías comunes de circulación y que son a la vez núcleos de intercambio.

³¹ Estos sistemas agrícolas pueden mantener potencialmente densidades de población de 12 a 14 veces mayores que el sistema de tumba y quema en zonas tropicales no aluviales que carecen del rejuvenecimiento anual de los suelos.

Un primer tipo de asentamiento en la zona, lo constituyen un patrón lineal con plataformas intermitentes³² dispuestas a lo largo de los caños menores. Otro tipo de patrón de asentamiento está constituido por un patrón lineal con plataformas organizadas una detrás de la otra, el patrón lineal continuo donde las plataformas se localizan a lo largo de sus dos márgenes, separadas entre si por canales que en conjunto forman un sistema de abanico.

Regularmente, las plataformas de tipo alargado presentan en sus extremos túmulos funerarios. Además, aledaños a las plataformas, es común la existencia de huertas domésticas para cultivos de “pancoger”. Las densidades de población y las características de grupos claramente jerarquizados, con la aparición de familias que ejercen el control social, económico y religioso, así como la organización de la población en oficios especializados, alfareros, orfebres, militares, sacerdotes, tejedores etc., este desarrollo social está asociado a las demás expresiones culturales, una cerámica más rica, prácticas funerarias más complejas y evidentemente también, formas arquitectónicas más elaboradas, la cuales constan de paredes de caña y techo de paja.

3.1.2. El aporte de conquistadores y colonizadores.

Dada la influencia de conquistadores y de primeros colonizadores la vivienda sufre cierta transformación; pasa a ser de dos cuartos, más amplias y mejor construidas. En el patio de atrás de la casa generalmente se instalaba la cocina protegida por la saliente del techo de paja o palma, mientras que el lavadero se ubicaba debajo de un árbol. Las casas eran de un solo piso y para su construcción se utilizaban materiales ya conocidos por los indígenas (paredes de bahareque o de caña, los techos pajizos y el piso de tierra).

El criterio general adoptado para la delimitación de los términos de la ciudad, en los años fundacionales, se deriva del proceso de conquista y del repartimiento de encomiendas que traía aparejado. El territorio que se conquistaba y se repartía era una provincia indígena, en la cual se

³² Concepto de identificación de los asentamientos empleado por Plazas, *et al.*, con el fin de identificar la ocupación a lo largo de los canales hidráulico.

solares urbanos, pues no habrían de tener soldados ni caballos a su costa. Es una de las consecuencias de la modificación de la estructura urbana, dado por una nueva densidad de ocupación del suelo urbano. Y la distinción de los pueblos de doctrina y de misión, por el régimen de propiedad de tierras; viviendas con solar en los pueblos de doctrina y sin solar en los pueblos de misión, y otras diferencias tipológicas.

La comprensión de los asentamientos poblacionales que se dieron en los departamentos de Córdoba y Sucre, responden a la triple necesidad de los nuevos grupos humanos, “creación de un medio técnicamente eficaz, la de asegurar un marco al sistema social y la de poner orden a partir de allí, en el universo circundante”, igualmente nos brinda la posibilidad de interpretar la evolución tecnoeconómica de una época específica, su forma de ser como respuesta ante una determinada organización social y la humanización de la naturaleza para hacerla parte de sus condiciones y hacer de todo el hábitat y la ciudad un instrumento de acuerdo a la evolución que involucra.

3.1.3. Conformación de la ciudad.

La casa de palma es la base de elaboración de sistemas más complejos que encontramos hoy en día en la casa de zinc y de pizarra, hasta ser parte de la estructura de la organización social básica, familiar, cultural y religiosa de la sociedad agrícola que allí se ha desarrollado en un proceso largo adaptativo.

Alrededor de la vivienda habitación se encuentran la unidad cocina y la unidad social que configuran la geometría interaccionada con las relaciones virtuales del espacio de huerta que se convierte en el elemento que se transfiere a la ciudad como expresión duradera de su participación dentro del nuevo orden social urbano, dando pautas para la construcción del canon predial en el desarrollo futuro de la ciudad, considerando esta relación cultural tan estrecha entre el hombre y su mundo inmediato donde el tránsito hacia la cultura urbanística incorpora la herencia arquitectónica ancestral provocando una relación menos conflictiva con las nuevas realidades.

En la casa típica su “geometría” depende de ciertas configuraciones básicas de rectángulos y cuadrados. La imagen de la edificación incluye elementos como el perfil volumétrico, la colocación de los elementos ornamentales, y son los que finalmente hacen el espacio público, es posible en

sectores de la ciudad lo mismo que en los poblados agrupar en grandes (familias tipológicas) la totalidad de las edificaciones, ver Imagen 6.



Imagen 4. Organización volumétrica y espacial de la vivienda.

Fotos editadas de © Sotomayor, Pablo., *INVENTARIO Y VALORACIÓN DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO DE MONTERÍA*, "Reproducción realizada con fines didácticos".

El concepto de espacio circundante o "patio" varia como lugar que contiene la unidad básica, la cual se transfiere casi en idéntica forma de lo rural a lo urbano, contenido en lotes de dimensiones de 13 x 38 m generalmente, ocupando la masa construida una tercera parte del área del lote. El canon predial es lo suficientemente amplio para permitir una representación del mundo rural en la ciudad.

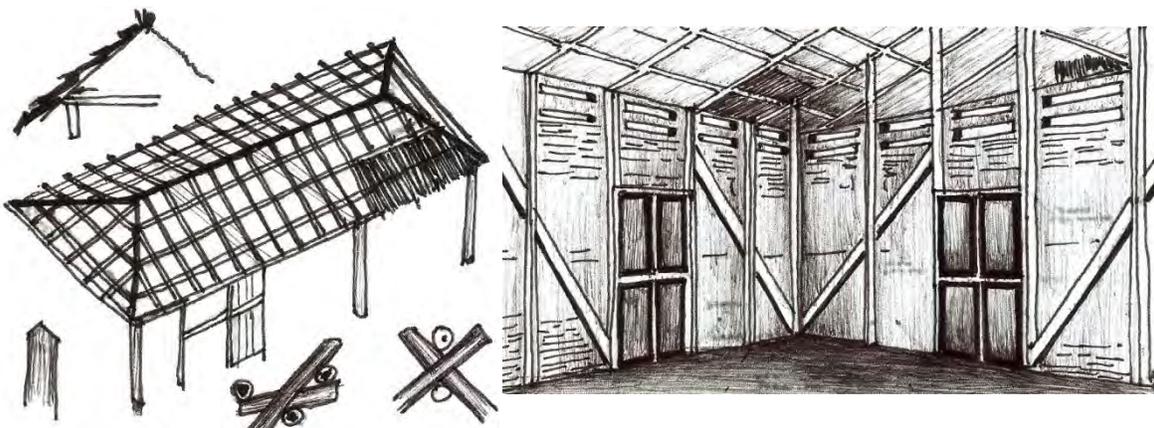


Imagen 5. La técnica empleada en la vivienda vernácula.

Fotos editadas de © Sotomayor, Pablo., *INVENTARIO Y VALORACIÓN DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO DE MONTERÍA*, "Reproducción realizada con fines didácticos".

La muestra de la vivienda realizada en esta región presenta una homogeneidad, en los aspectos técnicos, morfológicos y decorativos, que la sitúa como un conjunto definido de unidades. En la técnica de construcción, se utiliza frecuentemente materiales regionales tanto para la construcción

de vivienda rural como para la urbana; muros en bahareque o vara parada, estructura de la vivienda y la cubierta en madera rolliza, cubierta en hoja de palma, el revestimiento exterior o revoque se presenta como un acontecer en la evolución de la vivienda, cuya fase más lograda incluye la pintura exterior y la obtención de motivos decorativos por la disposición de los elementos; varas cruzadas, tramas, Tejidos, etc. Los pisos la mayoría en tierra pisada, o cemento afinado con mineral integrado a la mezcla. La mano de obra para la construcción hace parte de la estructura de la comunidad campesina.



Imagen 6. Se destaca un uso excelente del color en las viviendas más acabadas.
Fotos de © Autor.



Imagen 7. Vista interior vivienda que predomina en el centro de la ciudad y la vivienda en zonas rural.
Fotos de © Autor.

3.2. Aportes de la arquitectura vernácula a la bioclimática.

En el diseño de la vivienda vernácula, existe una transformación hasta su conformación actual; en los primeros asentamientos la vivienda se da en claros sin una disposición determinada, pero cuidando de no acercarse demasiado entre si para permitir la libre circulación del aire entre ellas. La técnica empleada en la construcción del techo no se basa en una resolución constructiva especial, si no en una gran cantidad de palmas cuya característica es un alto espesor y pendiente evitan el paso del agua y del calor, por ser el vegetal un mal conductor de éste y además, albergar aire en su interior siendo permeable a mismo. La ausencia de paredes en la vivienda se da para no obstaculizar las corrientes de aire y también a la carencia de mobiliario y el uso de hamacas para dormir, las cuales permiten el paso del aire, la separación del suelo que posibilita la ventilación total y protección contra la humedad, el movimiento en vaivén permite reforzar la ventilación de los cuerpos agobiados por el clima. En cuanto a su estructura, posee la simpleza de la necesidad de soportar una vivienda sumamente liviana a pesar de sus dimensiones y el mantenimiento de la misma, el cual se basa en renovar periódicamente algunos de sus elementos mas deteriorados.

Se destaca por el respeto a las tradiciones, las cuales son tomadas como base para su evolución (las modificaciones que sufre por la utilización de materiales, en la altura, la forma etc.). Permanece y sorprende por su adecuación entre las necesidades de vivienda y los parámetros locales.

La imagen de la arquitectura vernácula esta modelada principalmente por:

- El clima (orientación, tipo de ventanales, etc.).
- Los materiales disponibles.
- La tecnología disponible.
- La organización del trabajo.
- Las relaciones sociales.

Los avances que surgen empíricamente del desarrollo de la vivienda vernácula son importantes para la arquitectura bioclimática en el clima cálido – húmedo de Montería, ya que provee un máximo de sombra frente a la fuerte radiación solar, sus paredes y techos son livianos con muy baja inercia

térmica, disponen de una muy buena ventilación y controlan las fuertes lluvias. Cualidades que se han perdido en la actualidad, donde impera el mal dominio de los elementos naturales, siendo finalmente compensados por el empleo sistemático de aire acondicionado y la iluminación artificial.

4. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES BIOCLIMÁTICAS DE MONTERÍA CON ECOTECT Y CTE



Imagen 8. Localización de la ciudad de Montería.

Imagen © Instituto Geográfico Agustín Codazzi., http://geoportal.igac.gov.co/ssig12.0/visor/galeria.req?mapald=22&title=Cartografia_Relieve.Y_Google Maps, <http://maps.google.com.mx/> "Reproducción realizada con fines didácticos".

4.1. Análisis del sitio.

Montería es la capital del departamento de Córdoba, Colombia. Está ubicada al noroeste del país, a orillas del río Sinú, por lo que es conocida como la "Perla del Sinú". Cuenta con una población de 409.476 habitantes (según proyecciones del DANE para el 2010). Se encuentra localizada en las coordenadas geográficas: latitud 8° 45' 0" N, longitud 75° 53' 0" W, a una altura de 18 msnm. El clima de la ciudad de Montería es cálido tropical con una estación de sequía y una de lluvias a lo largo del año. La temperatura promedio anual de la ciudad es de 28 °C con picos de hasta 45 °C en temporada canicular.

Los requerimientos de climatización para enfriar suelen ser muy altos en esta zona. Por lo tanto es necesario analizar los factores del clima para determinar las características bioclimáticas y conocer los requerimientos de climatización, así como analizar las condiciones de confort del ser humano.

4.1.1. Análisis del clima.

La posición latitudinal de Colombia en la zona ecuatorial hace que el territorio colombiano y el cordobés en particular, no sea afectado significativamente por los cambios estacionales característicos de las latitudes medias. En la zona ecuatorial se dispone, al menos teóricamente, de 12 horas de luz diaria durante todo el año. En Córdoba, la insolación promedio anual que oscila entre 1400 y 1800 horas de luz/año, es en Montería donde se registra el mayor valor promedio de brillo solar, con 2108 horas de insolación anual.

En lo relacionado con la temperatura y la humedad del aire, la troposfera del Departamento de Córdoba se caracteriza por presentar una alta temperatura del aire, debido al escaso promedio de altitud que tiene su territorio (20 msnm). El promedio anual de temperatura es de 28 °C con un ligero aumento en los meses de marzo, abril y mayo. La variación diaria presenta una amplitud de 10 °C, en tanto que la variación espacial no es muy significativa, pues el 98,2% del territorio se encuentra en el piso térmico cálido. Por ello puede considerarse que el promedio anual de 28 °C es representativo para todo el departamento.

El promedio anual de la humedad relativa por su parte, es del 84%. Esta humedad se asocia con la insolación a partir de la cual se originan intensos procesos de evapotranspiración, los cuales varían de suroccidente a nororiente.

En un estudio realizado en la zona de influencia de la estación meteorológica de la Universidad de Córdoba en la ciudad de Montería, se encontraron las siguientes conclusiones:³⁶

³⁶ Barrios, John., *Caracterización e interpretación de las condiciones climáticas en la zona de influencia de la estación meteorológica de la Universidad de Córdoba para el período Agosto de 1979 a Julio de 1992*. Tesis licenciatura: Facultad de Ciencias Agrícolas: Universidad de Córdoba, Montería - Colombia. 1993. p 68 ss.

- a) El comportamiento de los elementos climáticos en el área permite definir en el área dos períodos; uno seco y uno húmedo, el primero se da de diciembre a marzo y el segundo se da de abril hasta noviembre.
- b) El período seco se caracteriza por presentar los valores más altos de temperatura del aire y del suelo (febrero a abril). se registran los menores valores de humedad relativa (enero a abril) con promedios alrededor del 79%, ocurren escasas precipitaciones con valores mensuales promedios inferiores a 30 mm (diciembre a marzo), presentan los meses con mayores horas de brillo solar (noviembre a marzo), evaporación (enero a abril), y recorrido del viento (febrero a abril).
- c) El período húmedo se caracteriza por presentar los menores valores de temperatura del aire y del suelo (septiembre a diciembre), registrar los valores más altos de humedad relativa (mayo a diciembre) con promedios de 83 y 84%, suceden frecuentes precipitaciones con valores mensuales promedios superiores a 100 mm (abril a noviembre), los meses con menores horas de brillo solar (abril, mayo, junio, septiembre y octubre) y de recorrido del viento (septiembre a diciembre).
- d) La zona de vida a la cual corresponde el área está denominada como bosque seco tropical (bs – T), según la clasificación de Holdrige. El clima de la zona corresponde al de tropical lluvioso de sabana e isotermal (Awi), según la clasificación de Köppen.

También se justifica tener en cuenta la clasificación climática de Emmanuel de Martonne,³⁷ para las zonas comprendidas entre los trópicos, ya que la variación de la temperatura media a través del año es casi nula (régimen isotérmico), no hay invierno ni verano, pero la variación de las precipitaciones es muy acentuada y se presenta una época lluviosa y una época seca, como mínimo. Por el contrario, en las áreas ubicadas fuera de las regiones intertropicales, la distinción entre la estación cálida (verano) y la estación fría (invierno) es fácilmente realizable, mientras que es excepcional la presencia clara de un período sin lluvias.

El índice de Martonne (IM) se estima mediante la siguiente fórmula:

³⁷ Mercado, Teobaldis., *et al.*, *Estudio Agroclimático del Departamento de Córdoba*. Universidad de Córdoba, Montería, 2006. p. 37.

$$IM = 0.5 \left(\frac{P}{T+10} + \frac{12 \times P_s}{T_s+10} \right)$$

Donde:

IM = Índice de aridez de Martonne.

P = Precipitación media anual en mm.

T = Temperatura media anual en °C.

P_s = Precipitación del mes más seco en mm.

T_s = Temperatura del mes más seco en mm.

Por lo tanto para obtener la clasificación Martonne se establecieron en la Tabla 7 diferentes rangos:

Tabla 7. Clases de clima según Martonne:

Índice de aridez	Clases de climas	Símbolo
0 a 5.0	Árido	F
5.1 a 10.0	Semiárido	E
10.1 a 20.0	Subhúmedo	D
20.1 a 35.0	Húmedo	C
35.1 a 100	Húmedo lluvioso	B
Mayor a 100	Húmedo lluvioso sin diferencias estacionales todo el año	A

Al aplicar el modelo de E. Martonne con la información climatológica de la ciudad de Montería, se distinguen dos tipos de clima: semihúmedo y húmedo, encontrándose clasificada como semihúmeda Montería, con un Índice Martonne (IM) por estación meteorológica de 17,2 como índice mínimo para la estación Galán y un índice máximo de 22,1 para la estación Maracayo, ver Tabla 8.

Tabla 8. Tipos de clima para el Municipio de Montería:

Estación Meteorológica	Índice Martonne (IM)	Clase de Clima	Símbolo
Galán	17,2	Semihúmedo	D
Los garzones	17,4	Semihúmedo	D
Maracayo	22,1	Húmedo	C
Unicor	20,7	Húmedo	C

4.1.2. Datos climáticos.

Para analizar las características del bioclima para la ciudad de Montería son necesarios:

Datos horarios de temperatura ambiente para todos los meses del año: La temperatura media anual es de 27,7 °C, con temperaturas medias mensuales para el periodo seco de 28,74 °C y para el periodo húmedo de 28,58 °C, ver Tabla 9. La temperatura promedio máxima se da en el periodo seco con 35,8 °C y la promedio mínima se da en el periodo húmedo con 19,9 °C. Las temperaturas mínimas se presentan a lo largo del año alrededor de las 6:00 horas en el mes de septiembre y las máximas a las 14:00 horas en el mes de marzo.

Tabla 9. Temperatura horaria (°C):

Hora	Sequia						Humedad						Sequia
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
01:00	27,3	27,5	27,6	27,4	27,4	28,1	27,1	26,8	26,5	26,7	26,6	26,5	
02:00	25,4	25,4	25,5	25,3	25,5	26,4	25,2	24,8	24,5	25,0	24,9	24,7	
03:00	23,7	23,6	23,5	23,4	23,7	24,7	23,4	23,0	22,6	23,3	23,4	23,0	
04:00	22,2	22,0	21,8	21,7	22,1	23,3	21,9	21,4	21,1	21,9	22,1	21,5	
05:00	21,4	21,1	20,9	20,8	21,3	22,6	21,1	20,6	20,2	21,2	21,3	20,8	
06:00	21,1	20,8	20,6	20,5	21,0	22,3	20,8	20,3	19,9	20,9	21,1	20,5	
07:00	21,9	21,7	21,5	21,4	21,8	23,1	21,6	21,2	20,8	21,7	21,8	21,3	
08:00	23,1	23,0	22,9	22,8	23,1	24,2	22,9	22,4	22,1	22,8	22,9	22,5	
09:00	24,6	24,6	24,6	24,4	24,6	25,6	24,4	24,0	23,6	24,2	24,2	23,9	
10:00	27,0	27,2	27,3	27,1	27,2	27,9	26,9	26,5	26,2	26,5	26,4	26,2	
11:00	31,8	32,3	32,6	32,4	32,1	32,3	31,7	31,5	31,3	30,9	30,6	30,8	
12:00	33,4	34,0	34,4	34,2	33,7	33,9	33,4	33,2	33,0	32,5	32,0	32,3	
13:00	34,2	34,9	35,3	35,1	34,6	34,6	34,2	34,1	33,9	33,2	32,7	33,1	
14:00	34,6	35,3	35,8	35,6	35,0	35,0	34,6	34,5	34,3	33,6	33,1	33,5	
15:00	34,3	35,0	35,5	35,3	34,7	34,7	34,3	34,2	34,0	33,3	32,9	33,2	
16:00	33,8	34,4	34,9	34,7	34,2	34,2	33,8	33,6	33,4	32,8	32,4	32,7	
17:00	33,4	34,0	34,4	34,2	33,7	33,9	33,4	33,2	33,0	32,5	32,0	32,3	
18:00	32,8	33,4	33,8	33,6	33,2	33,3	32,8	32,7	32,4	31,9	31,5	31,8	
19:00	32,3	32,8	33,2	33,0	32,6	32,8	32,3	32,1	31,9	31,4	31,1	31,3	
20:00	31,9	32,4	32,8	32,6	32,2	32,5	31,8	31,7	31,4	31,1	30,7	30,9	
21:00	31,2	31,7	32,0	31,8	31,5	31,8	31,2	31,0	30,7	30,4	30,1	30,3	
22:00	30,6	31,0	31,2	31,1	30,8	31,2	30,5	30,2	30,0	29,8	29,5	29,6	
23:00	29,7	30,1	30,3	30,2	30,0	30,4	29,6	29,4	29,1	29,0	28,8	28,8	
00:00	28,8	29,1	29,3	29,1	29,0	29,5	28,7	28,4	28,1	28,1	27,9	27,9	

Cálculo realizado con máximas medias y mínimas medias mensuales de temperatura con CEEMA2TEM.xls, Gonzalo, Guillermo., *Manual de arquitectura bioclimática*, NOBUKO, Tucumán: 2003.

Datos horarios de humedad relativa para todos los meses del año: El porcentaje de humedad relativa media anual es de 80,8%, con valores medios mensuales para el periodo seco de 79% y para el periodo húmedo de 81,7%. La humedad promedio máxima se da en tanto en el periodo seco como en el húmedo con valores del 100% y la promedio mínima se da en el periodo húmedo con

51%. Los porcentajes mínimos de humedad se presentan a lo largo del año alrededor de las 14:00 horas en el mes de abril y las máximas a las 6:00 horas en los meses de febrero, marzo, mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre.

Tabla 10. Humedad horaria (°C):

Hora	Mes											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
01:00	85,2	91,8	91,8	90,8	92,9	92,9	92,5	93,5	93,2	92,9	93,2	93,2
02:00	86,8	93,8	93,8	92,8	94,5	94,5	94,3	95,1	94,8	94,5	94,8	94,8
03:00	88,4	95,7	95,7	94,7	96,2	96,2	96,0	96,6	96,4	96,2	96,4	96,4
04:00	89,6	97,1	97,1	96,1	97,5	97,5	97,4	97,7	97,6	97,5	97,6	97,6
05:00	91,2	99,0	99,0	98,0	99,2	99,2	99,1	99,2	99,2	99,2	99,2	99,2
06:00	92,0	100,0	100,0	99,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
07:00	90,8	98,6	98,6	97,6	98,7	98,7	98,7	98,9	98,8	98,7	98,8	98,8
08:00	88,4	95,7	95,7	94,7	96,2	96,2	96,0	96,6	96,4	96,2	96,4	96,4
09:00	83,6	89,9	89,9	88,9	91,2	91,2	90,8	92,0	91,6	91,2	91,6	91,6
10:00	69,6	73,1	73,1	72,1	76,5	76,5	75,4	78,7	77,6	76,5	77,6	77,6
11:00	62,4	64,5	64,5	63,5	68,9	68,9	67,4	71,9	70,4	68,9	70,4	70,4
12:00	58,0	59,2	59,2	58,2	64,3	64,3	62,6	67,7	66,0	64,3	66,0	66,0
13:00	54,4	54,9	54,9	53,9	60,5	60,5	58,6	64,3	62,4	60,5	62,4	62,4
14:00	52,0	52,0	52,0	51,0	58,0	58,0	56,0	62,0	60,0	58,0	60,0	60,0
15:00	52,8	53,0	53,0	52,0	58,8	58,8	56,9	62,8	60,8	58,8	60,8	60,8
16:00	55,2	55,8	55,8	54,8	61,4	61,4	59,5	65,0	63,2	61,4	63,2	63,2
17:00	59,6	61,1	61,1	60,1	66,0	66,0	64,4	69,2	67,6	66,0	67,6	67,6
18:00	64,8	67,4	67,4	66,4	71,4	71,4	70,1	74,2	72,8	71,4	72,8	72,8
19:00	70,4	74,1	74,1	73,1	77,3	77,3	76,2	79,5	78,4	77,3	78,4	78,4
20:00	74,8	79,4	79,4	78,4	81,9	81,9	81,1	83,7	82,8	81,9	82,8	82,8
21:00	77,6	82,7	82,7	81,7	84,9	84,9	84,2	86,3	85,6	84,9	85,6	85,6
22:00	80,0	85,6	85,6	84,6	87,4	87,4	86,8	88,6	88,0	87,4	88,0	88,0
23:00	82,0	88,0	88,0	87,0	89,5	89,5	89,0	90,5	90,0	89,5	90,0	90,0
00:00	84,0	90,4	90,4	89,4	91,6	91,6	91,2	92,4	92,0	91,6	92,0	92,0

Cálculo realizado con máximas medias y mínimas medias mensuales de humedad con CEEMA2HUM.xls, (Gonzalo, Guillermo: 2003).

Datos horarios de radiación solar para todos los meses del año: Los valores de radiación fueron tomados del Atlas de Radiación Solar de Colombia³⁸, la cual varía de un total mensual mínimo de 4,92 kWh/m² día en noviembre, a un máximo de 5,64 kWh/m² día en el mes de julio, ver Tabla 11. La mayor radiación se recibe entre las 11 y 12 horas en los meses de julio y agosto, alcanzando un valor máximo de 811 W/m².

³⁸ Mapas de Radiación Solar Global "Atlas de Radiación Solar de Colombia, 2005".

Tabla 11. Radiación horaria (W/m²):

Mes	Hora												Wh/m ²
	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	
ENE	0	92	274	473	645	763	804	763	645	473	274	0	5206
FEB	0	107	298	503	681	801	843	801	681	503	298	107	5623
MAR	0	122	306	500	665	776	815	776	665	500	306	122	5553
ABR	3	131	303	479	627	726	761	726	627	479	303	131	5296
MAY	8	137	306	477	620	715	749	715	620	477	306	137	5267
JUN	11	141	314	487	633	730	765	730	633	487	314	141	5386
JUL	9	142	325	509	667	772	809	772	667	509	325	142	5648
AGO	4	132	314	501	660	766	804	766	660	501	314	132	5554
SEP	1	117	293	474	631	735	772	735	631	474	293	0	5156
OCT	1	100	274	457	615	720	758	720	615	457	274	0	4991
NOV	1	86	252	429	583	686	724	686	583	429	252	0	4711
DIC	0	82	252	435	595	705	743	705	595	435	252	0	4799

Cálculo de irradiación global horaria mensual realizada con "GEOSOL – V 2.0".

4.1.3. Exigencias bioclimáticas.

Temperatura de confort: Para hallar la temperatura de confort es necesario un modelo de confort simple, este se basa en la temperatura seca del aire para establecer las condiciones ambientales óptimas de un sitio determinado. El modelo de neutralidad térmica³⁹ (T_n), también conocido como termopreferéndum es uno de ellos, donde a partir de la temperatura ambiente, se calcula la temperatura de confort (T_n), mediante la expresión:

$$T_n = 17.6 + T_m * (0,31)^{40}$$

Donde:

T_n = Temperatura de confort (°C).

La T_n nos permite ubicar el centro de la zona de confort térmico para cada mes de la localidad en estudio.

Dado que existen diferencias importantes en la forma en que las personas se ven afectadas por las condiciones ambientales, la temperatura de confort calculada mediante modelo de neutralidad térmica se suele extender hacia arriba y hacia abajo para establecer una zona de confort. En lugar

³⁹ Formula de neutralidad térmica propuesta por Auliciems & de Dear. sol-arq., *Modelos de confort simples*, <http://sol-arq.com/index.php/modelos-confort/modelos-simples>, consultado el 22 de marzo de 2011.

⁴⁰ Temperatura a la que los sistemas de autorregulación del cuerpo humano no requieren hacer un mayor esfuerzo para sentir comodidad, dependen de la latitud del lugar, además de la aclimatación.

de una temperatura de confort única, la zona de confort define un rango de temperaturas en el cual la mayoría de las personas, de manera previsible, se sentirían cómodas. Para determinar ese rango, se aplicó el método propuesto por S. Szokolay que considera un umbral de $\pm 2.5 \text{ }^\circ\text{C}$ para hallar los límites inferior y superior de la zona de confort, ver Imagen 9.

Cálculo temperatura de confort mensual:

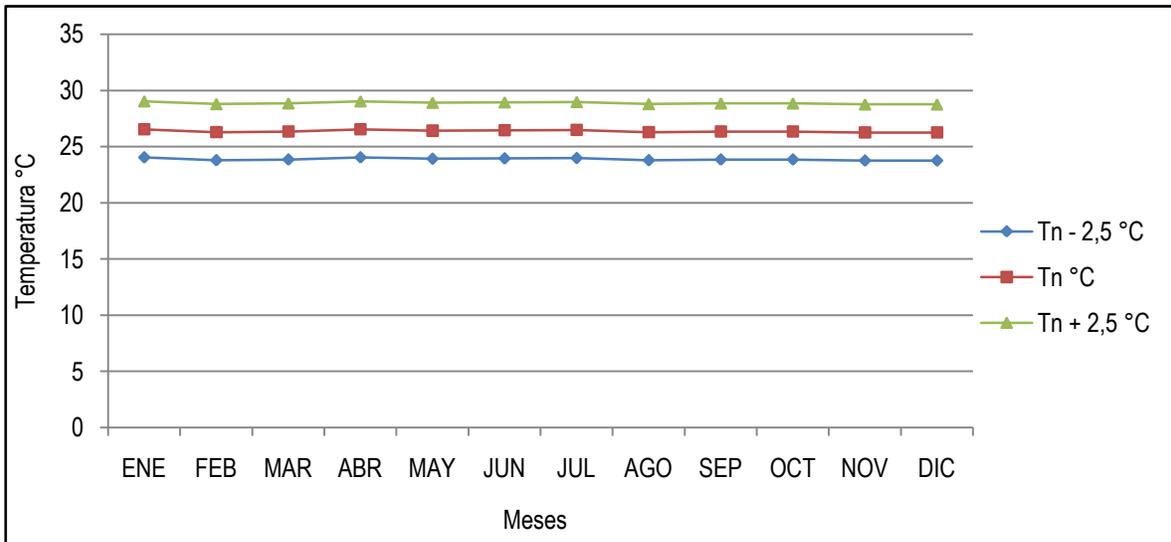


Imagen 9. Zona de confort mensual a lo largo del año para la ciudad de Montería.

La temperatura de confort presenta pocas variaciones a lo largo del año, por lo tanto puede establecerse como parámetro, la temperatura media anual de $27,7 \text{ }^\circ\text{C}$ para la ciudad de Montería, con la que se obtiene un $Tn = 26,19 \text{ }^\circ\text{C}$ para todo el año con un límite superior de $28,69 \text{ }^\circ\text{C}$ y uno inferior de $23,69 \text{ }^\circ\text{C}$.

Diagrama psicométrico: Para definir las sensaciones higrotérmicas, se utiliza la carta bioclimática de Olgay y el diagrama bioclimático de Givoni, adaptadas para cada mes con la temperatura de confort (Tn) y 50% de humedad relativa. Posteriormente se procesan los datos mínimos, medios y máximos de temperatura y humedad relativa de cada mes, donde se aprecian los requerimientos necesarios para llegar a la zona de confort.

En el diagrama psicométrico los valores de confort corresponden a los de una actividad sedentaria con un nivel metabólico de $58,2 \text{ W/m}^2$ y a una velocidad del viento de 1m/s . El diagrama permite

identificar las necesidades bioclimáticas específicas para la ciudad de Montería, las cuales se pueden resolver con diferentes técnicas de diseño pasivo y evaluar su efectividad. En la Imagen 10 podemos apreciar que los valores mensuales de humedad y temperatura nunca quedan dentro de la zona de confort, para ello es necesaria la utilización de ventilación natural.

Psychrometric Chart

Location: MONTERIA, COLOMBIA
 Display: Monthly Mean Minimum/Maximum
 Barometric Pressure: 97.10 kPa
 © Weather Tool

SELECTED DESIGN TECHNIQUES:

1. passive solar heating
2. thermal mass effects
3. exposed mass + night-purge ventilation
4. natural ventilation
5. direct evaporative cooling
6. indirect evaporative cooling

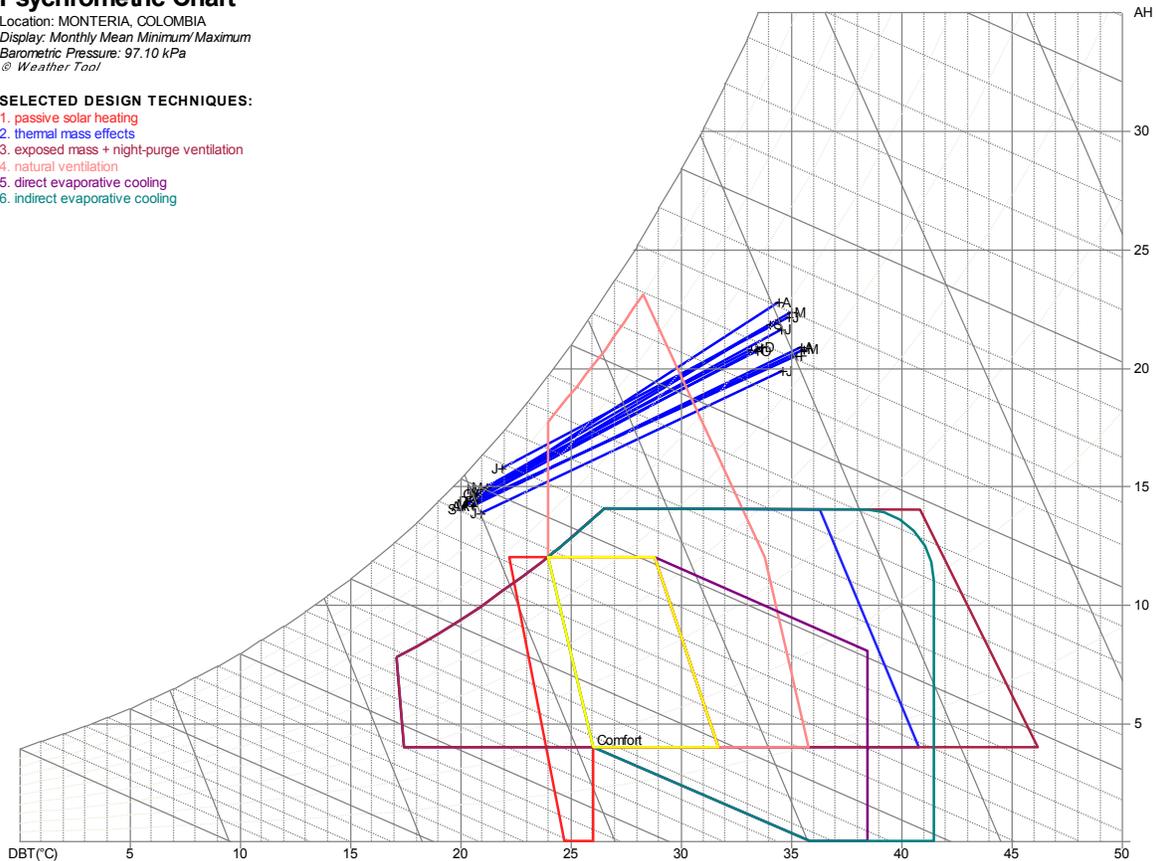


Imagen 10. Diagrama psicrométrico con ajuste de valores de presión atmosférica para la ciudad de Montería: NASA, barometric pressure, <http://eosweb.larc.nasa.gov>. Elaborado con "Weather Tool 2011" de Ecotect.

Cuantificación de estrategias: Para la elección de estrategias bioclimáticas de diseño pasivo o activo es necesario cuantificarlas en el diagrama psicrométrico para seleccionar las de mayor peso, siendo las estrategias de diseño bioclimático recomendadas de aplicar las que aproximan las condiciones interiores del edificio a las de confort. La determinación de las estrategias de mayor

incidencia corresponde a la medida de la porción del segmento del mes que cae en cada una de las estrategias⁴¹, ver Tabla 12.

Estrategias de diseño pasivo: Cuando la temperatura de confort se puede obtener mediante estrategias de diseño bioclimático.

- *Estrategia 1:* Calefacción solar pasiva de 2.500 W/m^2 con ganancias de radiación solar sobre el plano norte e inercia térmica en todos los meses para las primeras horas del día cuando se dan los valores de humedad más altos y disminuye la eficiencia de enfriamiento por evaporación de la transpiración.
- *Estrategia 2:* Ventilación natural, es la estrategia más efectiva para todo el año, pues tiene una incidencia de 41% del total anual de las estrategias cuantificadas. Esta incrementa las sensaciones de confort al incidir sobre las personas en el clima cálido húmedo de Montería, ya que facilita las pérdidas de calor por evaporación. Asimismo posibilita el enfriamiento estructural si se ventila el interior del edificio en las horas en las que la temperatura exterior ha descendido.

Estrategias de diseño activo: Se utilizan como apoyo, cuando la temperatura para el confort solo se puede obtener por medio de sistemas de acondicionamiento térmico convencionales de deshumidificación, enfriamiento y humidificación.

- *Estrategia 3:* Ventilación mecánica, cuando se requieren velocidades del viento superiores a 1 m/s y no es posible obtenerla a través de la ventilación natural o las incomodidades que pueda generar en el interior el movimiento del aire por la apertura de ventanas.
- *Estrategia 4:* Aire acondicionado, cuando se dan los valores de temperatura media máxima con la humedad media mínima mensual, se encuentra que todos los meses están dentro de la zona de enfriamiento convencional, por lo tanto es necesaria la utilización de equipos de aire acondicionado para mantener las condiciones de confort al interior de la edificación.

⁴¹ Gonzalo, Guillermo: 2003; 297.

Tabla 12. Estrategias de diseño bioclimático para la ciudad de Montería:

Mes	Estrategias				TOTAL mensual
	1	2	3	4	
Enero	0,67	2,30	0,94	0,68	4,59
Febrero	1,00	1,98	0,95	0,98	4,91
Marzo	1,07	2,00	0,94	1,18	5,19
Abril	0,90	2,21	0,95	1,06	5,12
Mayo	1,15	1,76	0,93	1,05	4,89
Junio	1,00	1,37	0,94	1,05	4,36
Julio	1,00	1,96	0,94	0,81	4,71
Agosto	1,33	1,86	0,93	0,96	5,08
Septiembre	1,24	2,10	0,93	0,80	5,07
Octubre	1,02	1,93	0,94	0,45	4,34
Noviembre	0,97	1,90	0,94	0,30	4,11
Diciembre	1,10	1,99	0,93	0,47	4,49
TOTAL anual	12,45	23,36	11,26	9,79	56,86
Porcentaje	21,90%	41,08%	19,80%	17,22%	100%

En la Imagen 11 que corresponde al diagrama de extensión de la zona de confort se aprecia la efectividad de la ventilación natural, la cual contribuye en un 10% anual a mejorar las condiciones de confort, siendo más eficaz su utilización para el mes de enero con un 18% y en septiembre es donde la ventilación natural es menos efectiva, ya que contribuye solo 5% a la ampliación del rango de confort.

Las principales estrategias de diseño pasivo para la ciudad de Montería en todo el año es la protección de la radiación solar y velocidades de viento para los valores mínimos mensuales de temperatura y máximos mensuales de humedad; superiores a 1 m/s para los meses de septiembre y octubre, de 2 m/s para los meses de febrero, agosto, noviembre y diciembre, para los demás meses se requieren velocidades de más de 3 m/s para satisfacer las necesidades de confort. Para los valores máximos mensuales de temperatura y mínimos mensuales de humedad se presenta calor bochornoso en todos los meses del año por lo que se requieren de velocidades de viento superiores a los 6 m/s para satisfacer las necesidades de confort⁴².

⁴² Cálculo realizado con máximas medias y mínimas medias mensuales de humedad y temperatura, considerando la altura sobre el nivel del mar en CEEMA2OLGYAY.xls (Gonzalo, Guillermo: 2003).

Comfort Percentages

NAME: MONTERIA
LOCATION: COLOMBIA
WEEKDAYS: 00:00 - 24:00 Hrs
WEEKENDS: 00:00 - 24:00 Hrs
POSITION: 8.0°, -75.0°
© Weather Tool

CLIMATE: Af
Tropical moist climate where precipitation occurs all year long.
Monthly temperature variation is less than 3 degrees Celsius.
Intense heating and humidity cause afternoon clouds almost every day.
Daily highs about 32°C while night time temperatures average 22°C.

SELECTED DESIGN TECHNIQUES:

1. passive solar heating
2. thermal mass effects
3. exposed mass + night-purge ventilation
4. natural ventilation
5. direct evaporative cooling
6. indirect evaporative cooling

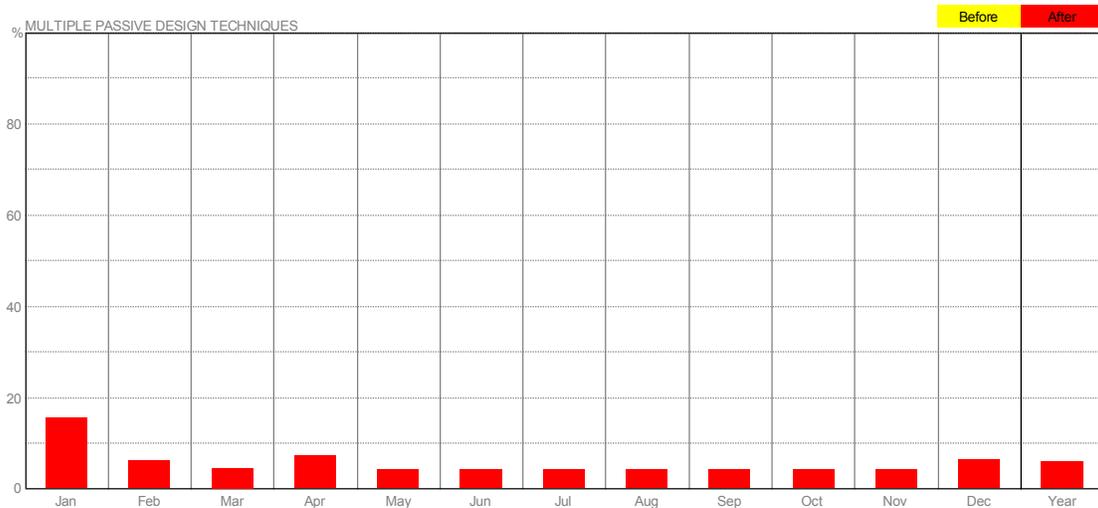


Imagen 11. Diagrama de porcentaje de extensión de zona de confort, se obtiene empleando como técnica de diseño pasivo la ventilación natural. También se muestra la clasificación climática a la que pertenece la ciudad de Montería según koeppen: Af, el cual pertenece a la zona ecuatorial. Elaborado con la herramienta "Weather Tool 2011" de Ecotect.

Requerimientos bioclimáticos: Para establecer las necesidades bioclimáticas se construye una tabla con las condiciones mensuales horarias de confort y los requerimientos de enfriamiento o calefacción para todos los meses del año de la ciudad de Montería. En esta se pueden observar que los requerimientos de enfriamiento son de 191 horas en el año, que corresponden al 66,3% y las que se encuentran dentro de la zona de confort son 97 horas, que corresponden a 33,7%, ver Tabla 13. Predomina una zona de confort de 8 horas (de 2 a 9 h), para 10 meses en el año, en los meses de septiembre y diciembre este rango aumenta 1 hora (de 2 a 10 h).

Los valores numéricos de la Tabla 13 corresponden a los Grados día los cuales se determinan con la temperatura base del diagrama psicrométrico considerando humedad relativa y 0,5 – 1,0 Clo. Para

requerimientos de refrigeración o calefacción⁴³. Los grados para satisfacer las necesidades de confort en la ciudad de Montería, son en su totalidad para enfriamiento de 971,7 °C, el requerimiento mas alto que se da es en junio con 93,6 °C y es en el mes noviembre con 65,16 °C, donde se requieren menos grados para enfriamiento. Con este indicador es posible establecer las necesidades de climatización que requiere la edificación utilizando como unidad los kWh/año o kW/m²/año y orientar la selección de las estrategias de diseño mas apropiadas para la ciudad de Montería.

Tabla 13. Zona de confort y de requerimientos bioclimáticos:

Hora	Mes											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
01:00	1,32	1,80	1,93	1,73	1,82	2,52	1,51	1,25	0,92	1,12	1,02	0,88
02:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
03:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
04:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
05:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
06:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
07:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
08:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
09:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10:00	0,30	0,61	0,72	0,52	0,75	1,48	0,41	0,25	0,00	0,08	0,03	0,00
11:00	4,68	5,27	5,62	5,39	5,29	5,56	4,86	4,89	4,57	4,16	3,88	4,07
12:00	6,08	6,75	7,19	6,95	6,74	6,86	6,28	6,39	6,09	5,46	5,11	5,42
13:00	6,72	7,41	7,89	7,65	7,40	7,44	6,92	7,08	6,78	6,04	5,65	6,02
14:00	7,01	7,71	8,21	7,96	7,70	7,70	7,20	7,39	7,10	6,30	5,90	6,30
15:00	6,78	7,47	7,95	7,71	7,46	7,49	6,97	7,14	6,85	6,09	5,69	6,07
16:00	6,35	7,02	7,48	7,24	7,02	7,10	6,54	6,69	6,39	5,70	5,33	5,67
17:00	6,16	6,84	7,28	7,04	6,82	6,94	6,36	6,46	6,17	5,54	5,18	5,49
18:00	5,87	6,57	6,98	6,74	6,53	6,70	6,09	6,13	5,84	5,30	4,95	5,22
19:00	5,60	6,31	6,69	6,46	6,25	6,47	5,83	5,82	5,54	5,07	4,74	4,97
20:00	5,41	6,13	6,49	6,26	6,06	6,32	5,65	5,60	5,32	4,92	4,60	4,80
21:00	4,87	5,57	5,89	5,67	5,50	5,82	5,11	5,02	4,73	4,42	4,13	4,28
22:00	4,31	4,98	5,27	5,05	4,92	5,31	4,55	4,42	4,13	3,91	3,65	3,75
23:00	3,60	4,23	4,48	4,26	4,18	4,65	3,83	3,66	3,36	3,25	3,02	3,06
00:00	2,75	3,33	3,53	3,32	3,30	3,86	2,97	2,75	2,45	2,46	2,28	2,25
G.D.	77,82	88,00	93,60	89,97	87,74	93,04	81,09	80,94	76,23	69,82	65,16	68,26

Cálculo realizado con máximas medias y mínimas medias mensuales de temperatura y humedad con CEEMA2CACOFR.xls., (Gonzalo, Guillermo: 2003). Temperatura base del diagrama psicométrico considerando la humedad relativa y 05 – 1 CLO.

⁴³ Grados días: es un indicador climático es utilizado por normas de varios países para clasificar el clima y en Eficiencia energética edilicia, para limitar las cargas térmicas en refrigeración de los edificios, facilitar la determinación de cargas térmicas anuales o mensuales en refrigeración, entre otros. Lo contemplan las normas de Argentina, España, Francia, Inglaterra, entre otras.

Sombra: En las horas que presentan condiciones de calor deberá buscarse la protección solar. Para contabilizar el número de horas totales que presentan calor, durante el intervalo en que el sol se encuentra en la bóveda celeste de 6:00 – 18:00 horas, para cada uno de los meses, se multiplica el número de horas de calor en el día por el número de días del mes, ver Tabla 14.

Tabla 14. Requerimientos de enfriamiento horario:

Mes	Días	Horas	TOTAL mensual
Enero	31	9	279
Febrero	28	9	252
Marzo	31	9	279
Abril	30	9	270
Mayo	31	9	279
Junio	30	9	270
Julio	31	9	279
Agosto	31	9	279
Septiembre	30	8	240
Octubre	31	9	279
Noviembre	30	9	270
Diciembre	31	8	248
TOTAL anual	365	106	3224

En los días en los que se requiera enfriamiento es necesaria la sombra para evitar la ganancia de calor durante el día, ver Tabla 15:

Tabla 15. Necesidades de sombra:

Hora	Mes											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
06:00												
07:00												
08:00												
09:00												
10:00												
11:00												
12:00												
13:00												
14:00												
15:00												
16:00												
17:00												
18:00												
Total	9	9	9	9	9	9	9	9	8	9	9	8

Las necesidades de sombra corresponden a las horas del día que están fuera de la zona de confort y que requieran enfriamiento.

Los requerimientos de sombra para la ciudad de Montería durante el día son de un 67,95% para todo el año, estos se trasladan al diagrama de trayectorias solares en proyección cilíndrica desarrollada para los dos semestres del año: ver Imagen 12 e Imagen 13.

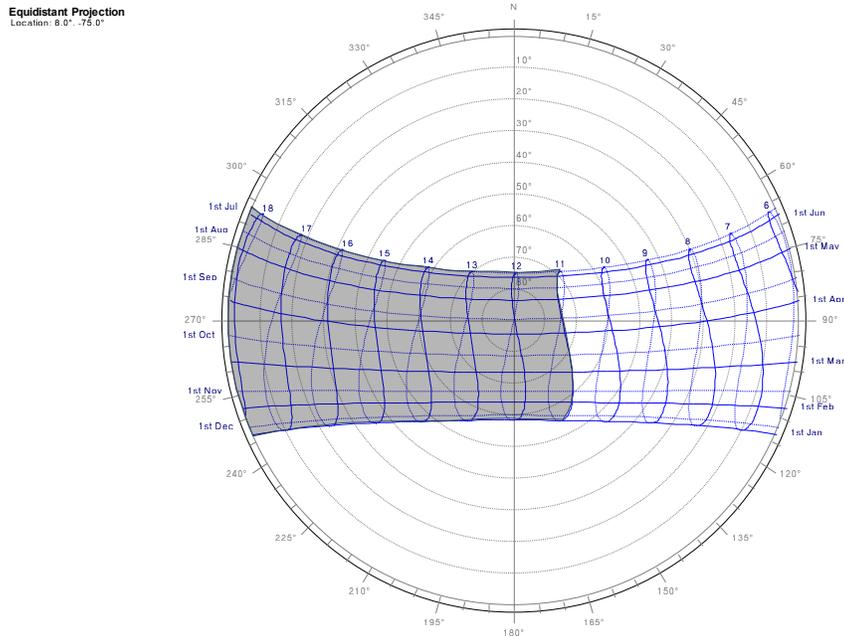


Imagen 12. Requerimientos de sombra para el semestre Enero – Junio. Elaborado con “Solar Tool 2011” de Ecotect.

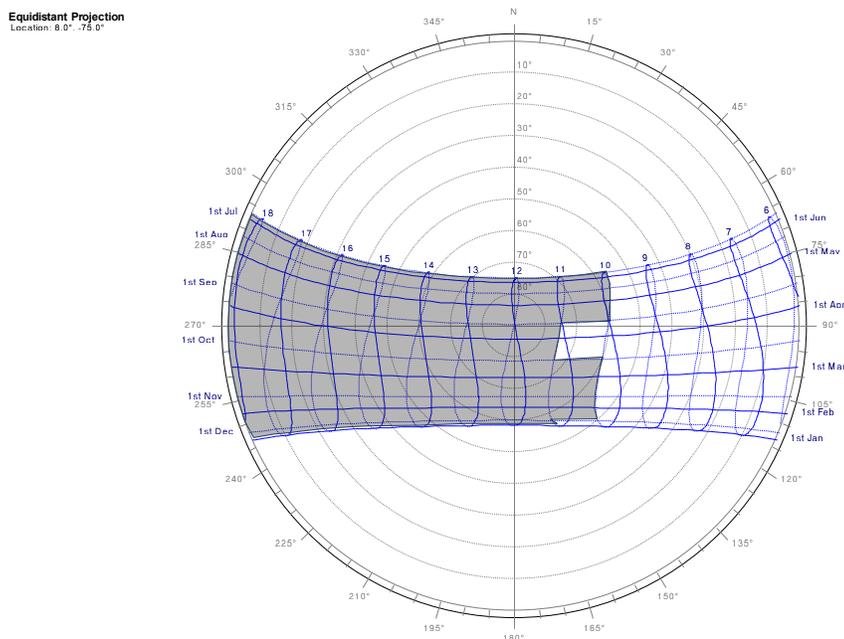


Imagen 13. Requerimientos de sombra para el semestre Julio – Diciembre. Elaborado con “Solar Tool 2011” de Ecotect.

En las graficas solares en proyección equidistante se indica un área sombreada (de color gris), correspondiente a las horas y meses para obtener las medidas de las protecciones solares.

4.2. Modelización con Ecotect.

La herramienta informática: “Ecotect” es un software desarrollado por el Dr. Andrew Marsh en la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Australia Occidental, el cual ofrece una interfaz de modelización de dos y tres dimensiones, integrada con una amplia gama de funciones para análisis solar, térmico y lumínico, entre otras. Utiliza un método simplificado basado en el Método de Admitancia del Chartered Institute of Building Services Engineers (CIBSE Admittance Method), para determinar temperaturas internas y cargas térmicas, aplicando un algoritmo térmico flexible, sin restricciones en cuanto a la geometría del edificio o el número de zonas térmicas que pueden ser analizadas simultáneamente. Aplica las características conocidas de los materiales como la admitancia de una superficie y los factores de retraso térmico y decrecimiento térmico para definir la respuesta dinámica, es decir, en régimen transitorio. En este método el cálculo de las temperaturas y de las cargas son dos procesos separados. Como primer paso se calculan las magnitudes de las potenciales pérdidas y ganancias que actúan sobre el edificio para cada hora del día, con lo cual se determinan los factores de carga promedios.

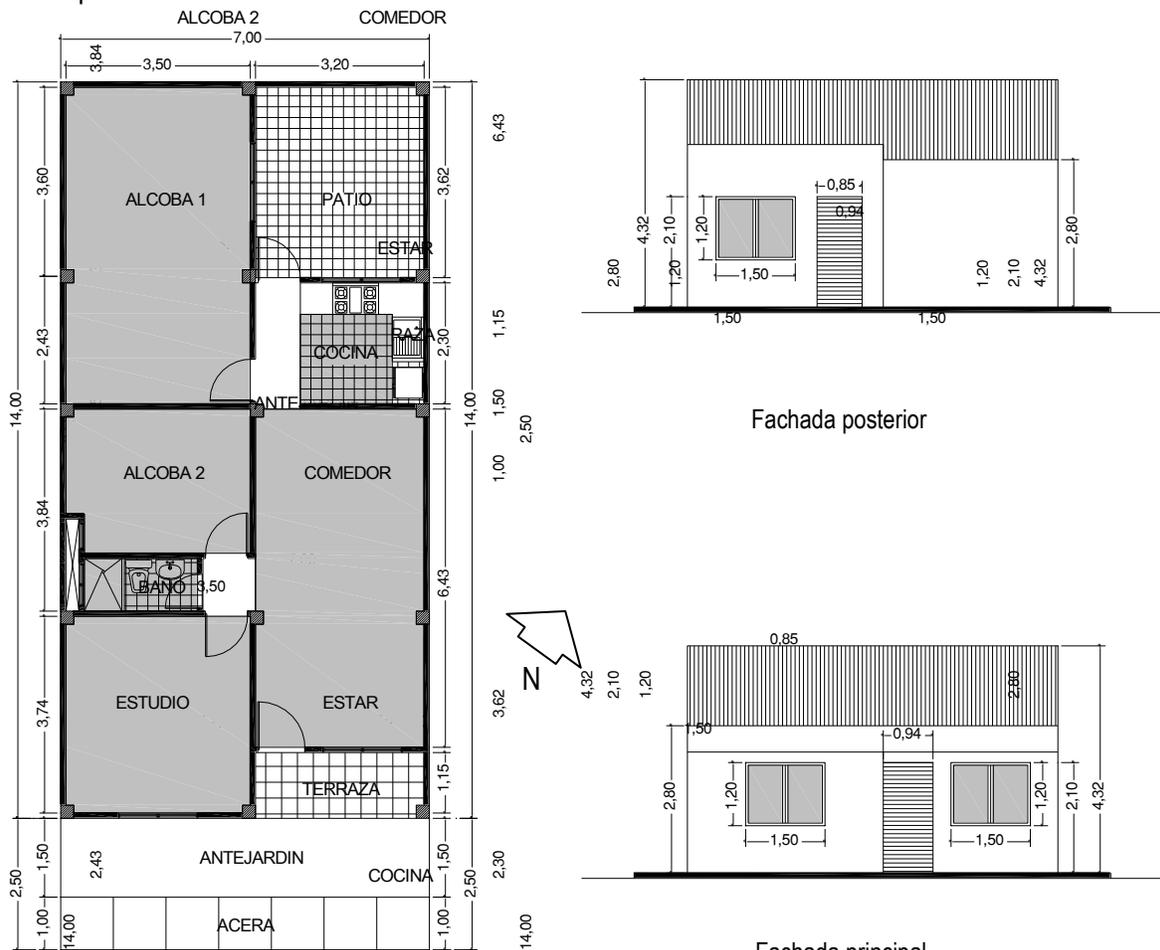
La diferencia entre éstos y los factores de carga instantáneas entregan el grado de esfuerzo térmico al que es sometido cada zona del edificio durante cada hora de actividad. Las variaciones en este esfuerzo resultan en fluctuaciones cíclicas de la temperatura interna, con lo cual puede ser deducida la temperatura para una hora determinada de cada zona.

Una vez que se conocen estas temperaturas, es desarrollado un segundo cálculo con el fin de encontrar las cargas absolutas de calefacción y refrigeración. Teniendo en cuenta las temperaturas interior y exterior de cada zona, los materiales, pueden determinarse con precisión las cargas de ventilación y de infiltración, junto con la energía solar y cargas internas.

En el análisis térmico de edificios, Ecotect trabaja con modelos sencillos obviando detalles de molduras, rehundidos, etc., que pudieran entorpecer la obtención de resultados, permitiendo a la vez visualizar el volumen real, con los espesores de la envolvente constructiva. A continuación se describe la metodología de modelización.

4.2.1. Descripción geométrica del modelo.

Se reprodujo gráficamente la distribución de espacios, tratados como zonas térmicas, y se determinaron además las zonas no térmicas (obstáculos, patio, pasillos etc.). Por último, se incluyeron los artefactos eléctricos y las luminarias, asignándoles las características energéticas correspondientes.



Planta arquitectónica
Imagen 14. Descripción geométrica del Modelo.

ALCOBA 1
ALCOBA 2
COMEDOR
ESTUDIO
ESTAR
COCINA
BAÑO
ANTEJARDIN
TERRAZA
ACERA

4.2.2. Asignación de materiales.

Se asignaron los materiales de cada una de las superficies componentes (paredes, techos, aberturas) y sus propiedades de acuerdo a sus capas constitutivas, coeficientes de conductividad térmica, densidad y calor específico. Dichos valores se verificaron y ajustaron, teniendo en cuenta la normativa vigente de acondicionamiento térmico de edificios del ASHRAE y los nuevos resultados se incorporaron a la base de datos del programa, ver Tabla 16. Así Ecotect calcula la transmitancia térmica de cada componente constructivo, inclusive se considera en el cálculo la opacidad, rugosidad y emisividad de las superficies. Para el cálculo de retraso térmico, no resuelto por Ecotect, se utilizó una aplicación Complementaria “ecoMat v.1.0”⁴⁴, que permite calcular los parámetros característicos del cerramiento conforme a la entrada de datos de Ecotect.

Tabla 16. Propiedades térmicas de los materiales:

Muros:	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/m².K)	Peso Volumétrico (Kg/m³)	Calor Específico (Kj/kg.K)
Mortero de cemento arena.	0,01	0,7200	1.860	0,8400
Block de Concreto 1 – 4.	0,1	0,7531	2.300	0,6569
Mortero de cemento arena.	0,01	0,7200	1.860	0,8400
Ventanas:				
Ventana vidrio sencillo con marco de Aluminio.	0,006	1,0460	2.300	0,8368
Techo:				
Lamina de Asbesto Cemento.	0,01	0,3600	1.500	1,0500
Techo 1:				
Impermeabilizante Asfáltico.	0,006	0,0879	900	1,9660
Concrete aligerado.	0,15	0,2092	950	0,6569
Mortero de Yeso.	0,01	0,4310	1.250	1,0880

4.2.3. Variables ambientales.

Como Ecotect no tiene disponible un archivo de clima para la ciudad de Montería, se editó un nuevo archivo a través de la subrutina “Weather Tool 2011” de Ecotect. Se incorporaron los datos horarios medidos de la estación meteorológica del aeropuerto los garzones: temperatura ambiente (°C), humedad relativa (%). Para la obtención de componentes de irradiación solar directa y difusa

⁴⁴ Esta aplicación permite calcular los parámetros característicos del cerramiento conforme a la entrada de datos de Ecotect. Estos se calculan conforme a la norma EN ISO 13786:2007. Thermal performance of building components– Dynamic thermal characteristics – Calculation methods (ISO 13786:2007), en la que se basa el método CIBSE de la admitancia y en éste, el método de cálculo térmico de Ecotect. ecoeficiente: *ecoMat*, <http://www.ecoeficiente.es/ecomatES>. Consultado el 25 de marzo de 2010.

requeridos, se utilizó el programa Geosol V - 2.0, que calcula valores a partir de la irradiación global diaria media mensual sobre superficie horizontal, irradiaciones horarias directa y difusa sobre cualquier superficie mediante el método de Liu Jordan para el modelo de cielo anisotrópico. Los valores de velocidad de viento (m/s) se obtienen de la estación meteorológica los Garzones de la ciudad de Montería.

Cabe destacar el avance logrado en la aplicación del programa, pues se pudo trabajar con datos climáticos locales, aspecto que no se había dado hasta el momento con este software de simulación, ver Imagen 15.

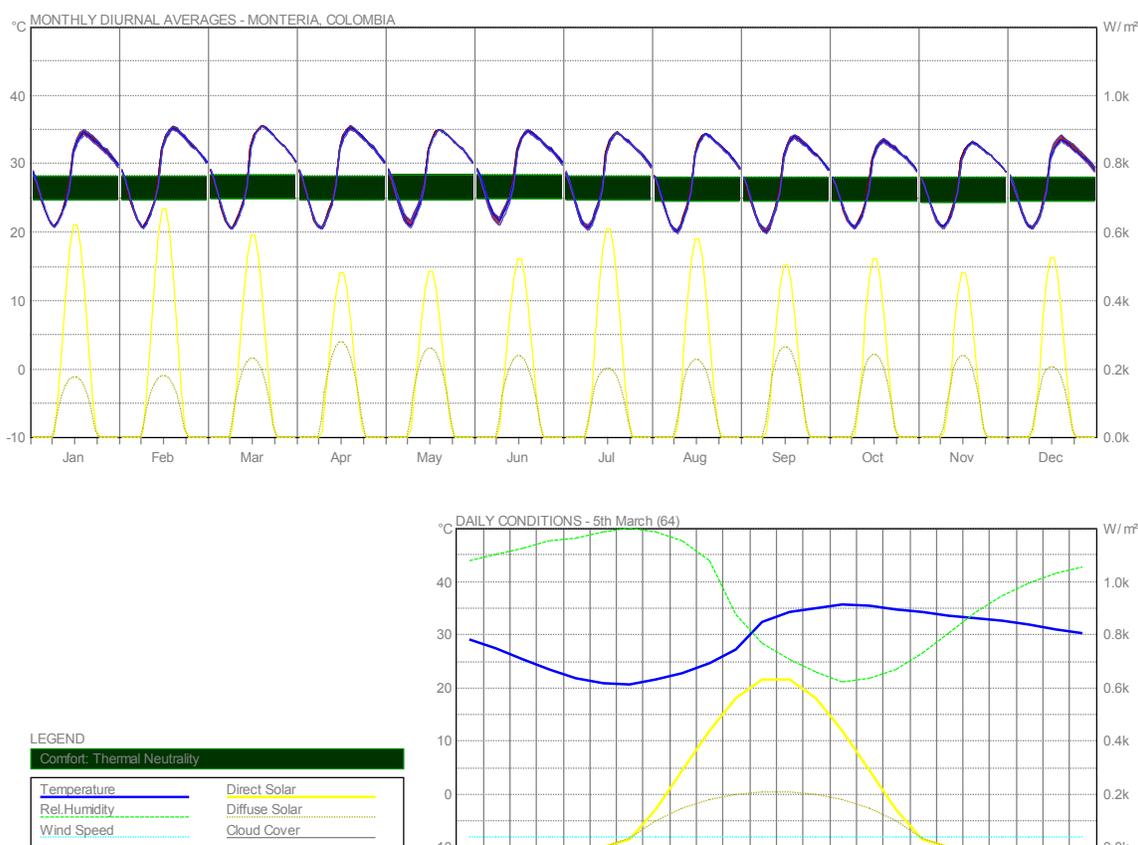


Imagen 15. Datos meteorológicos editados de la ciudad de Montería. Porcentaje mensual y condiciones del día más caluroso (5 de Marzo), Elaborado con "Weather Tool 2011" de Ecotect.

4.2.4. Estudio de Asoleamiento.

Ecotect permite analizar la trayectoria solar de manera rápida y sencilla y realizar la simulación de sombras, incluyendo una gama amplia de análisis, ver Imagen 16.

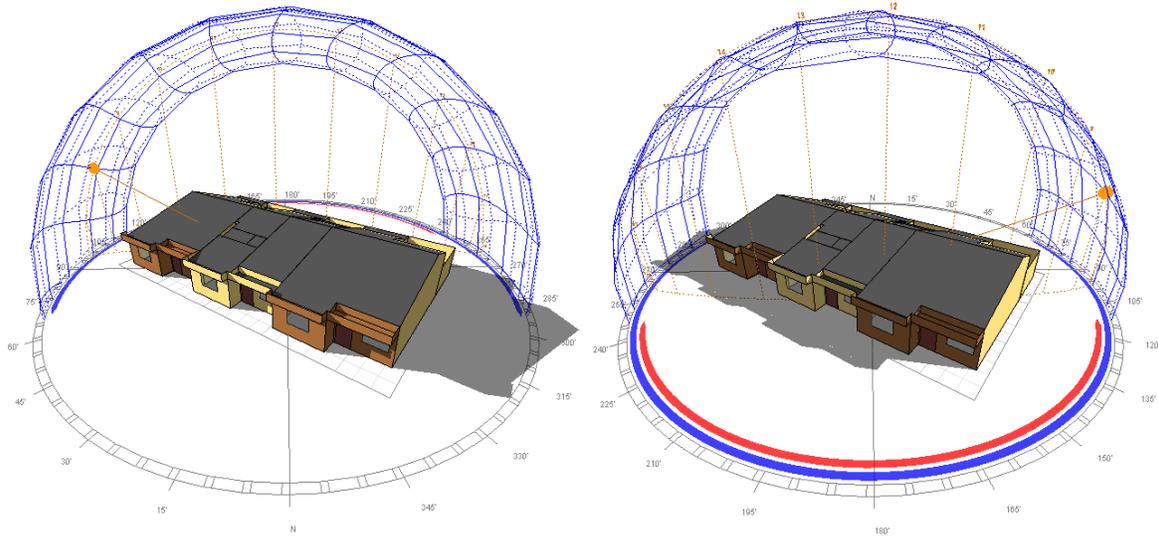


Imagen 16. Visualizaciones del modelo con la trayectoria solar diaria y anual a las 8 h del día 5 de Marzo para dos orientaciones diferentes de fachadas, 34° y 236° izquierda y derecha respectivamente. Elaborado con Ecotect 2011.

4.2.5. Análisis Térmico.

Antes de proceder a la simulación térmica, se definieron las condiciones operativas para cada espacio analizado del edificio, en cuanto a perfiles de ocupación, número de usuarios por zona, nivel de actividad, sistemas de ventilación, fracción de infiltración y factor de sensibilidad de cada zona a la velocidad externa del viento. También se definieron las cargas internas sensibles y latentes, generadas en cada zona por las luminarias, computadoras y demás artefactos.

Por el dinamismo propio de la vivienda, se definieron condiciones estándar de operación para aproximar a la vivienda a la situación real de uso, esto implicó la necesidad de realizar perfiles de ocupación diferenciados para cada zona térmica, como así también distintos perfiles operativos para la apertura y cierre de puertas y ventanas, encendido y apagado de luces y artefactos eléctricos.

Se estableció una banda de confort para la realidad climática de la ciudad de Montería, entre 23,7 °C (mínima confortable de invierno) y 28,7 °C (máxima confortable de verano) para espacios

interiores sin necesidad de climatización artificial, ver Imagen 17. Se destaca en el análisis de los datos climáticos de Ecotect como día más frío el 4 de septiembre y más cálido el 5 de Marzo. Se obtuvo la simulación de la evolución de temperaturas internas.

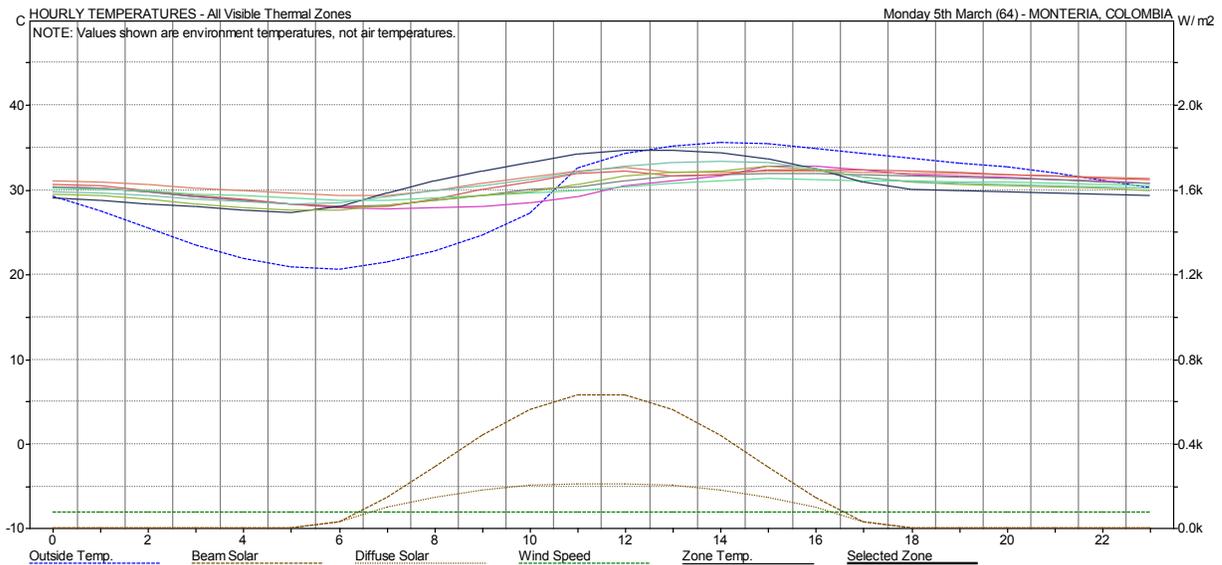


Imagen 17. Grafica que representa las temperaturas horarias para todas las zonas. Elaborado con Ecotect 2011.

4.3. Modelización con (CTE).

Para realizar la contrastación de resultados de la simulación realizada en Ecotect se comparo con la metodología de “Cálculo Térmico de Edificios” (CTE).⁴⁵

En la comparación de la simulación de temperaturas horarias internas en Ecotect y CTE se tomo en cuenta el día más caluroso de diseño (5 de Marzo). Se construyo un modelo simplificado en Ecotect compuesto por un único espacio habitable en planta de 5 x 5 m y 3 m de altura, con una ventana centrada de 7,5 m² orientada al sur, ver Imagen 18. Se definió un modelo totalmente cerrado, vacío, sin pérdidas o ganancias por ventilación e infiltración, sin aportes de calor internos debido a personas y equipos eléctricos para realizar las simulaciones térmicas con Ecotect y CTE. A pesar de

⁴⁵ Apuntes Tema Selecto del programa de Maestría en Arquitectura, Campo de Conocimiento de Tecnología: *Cálculo Térmico de Edificios*, Metodología presentada por el Dr. Diego Morales en la división de estudios de posgrado de Arquitectura UNAM, C.U. (2009-1).

que estas suposiciones no son validas en la generalidad de los casos, permite visualizar el potencial del método de análisis⁴⁶.

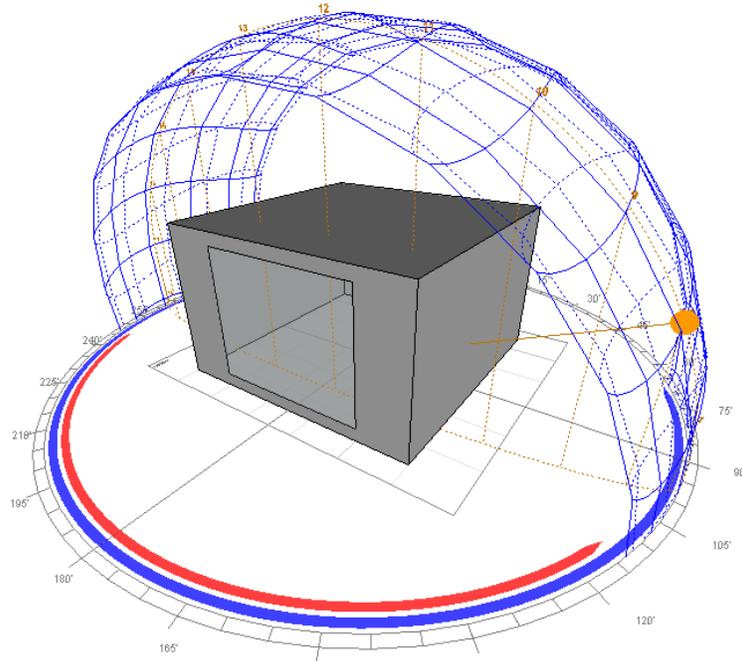


Imagen 18. Vista en perspectiva del modelo con la trayectoria solar diaria y anual, se aprecia la superficie acristalada en la fachada sur y la trayectoria solar a las 8 h del día 5 de Marzo. Elaborado con Ecotect 2011.

También se requirió establecer las propiedades térmicas de los diferentes materiales utilizados en el modelo simplificado, ver Tabla 17. Propiedades térmicas de los materiales:

Tabla 17. Propiedades térmicas de los materiales:

Muros exteriores:	Espesor (m)	Conductividad Térmica (W/m ² .K)	Peso Volumétrico (Kg/m ³)	Calor Específico (Kj/kg.K)
Block de concreto	0,1100	0,3350	1600	0,6569
Mortero cara interior y exterior	0,0100	0,4310	1250	1,088
Ventana:				
Vidrio claro	0,0060	1,0460	2300	0,8368
Cubierta:				
Loza	0,1500	0,2090	950	0,6569
Impermeabilizante	0,0060	0,0880	900	1,966
Mortero Interior	0,0100	0,4310	1250	1,088

Valores tomados de la biblioteca de materiales de Ecotect 2011.

⁴⁶ Sogari, N., et al., *Análisis del Comportamiento Térmico de un Prototipo de Vivienda Familiar de Madera*, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA) Vol. 10. Argentina, 2006.

4.4. Análisis de resultados.

Con el fin de comparar los valores calculados se construye una grafica de temperaturas horarias donde se muestra la temperatura ambiente exterior y la interior calculada con Ecotect y la metodología de CTE, ver Imagen 19. También se aprecia el rango de confort térmico calculado según la formula de Aluciems con la formula la temperatura de confort térmico para el día 5 de Marzo.

Se muestran la evolución de temperatura ambiente horaria interna y la temperatura exterior, donde se aprecia la diferenciación de radiación solar directa y difusa y la velocidad de viento, lo que permite estudiar a qué factores climáticos externos están respondiendo las temperaturas internas. Las temperaturas de la zona térmica permanecen sobre el límite inferior de la banda de confort preestablecida, encontrándose en mejores condiciones el caso del día más cálido.

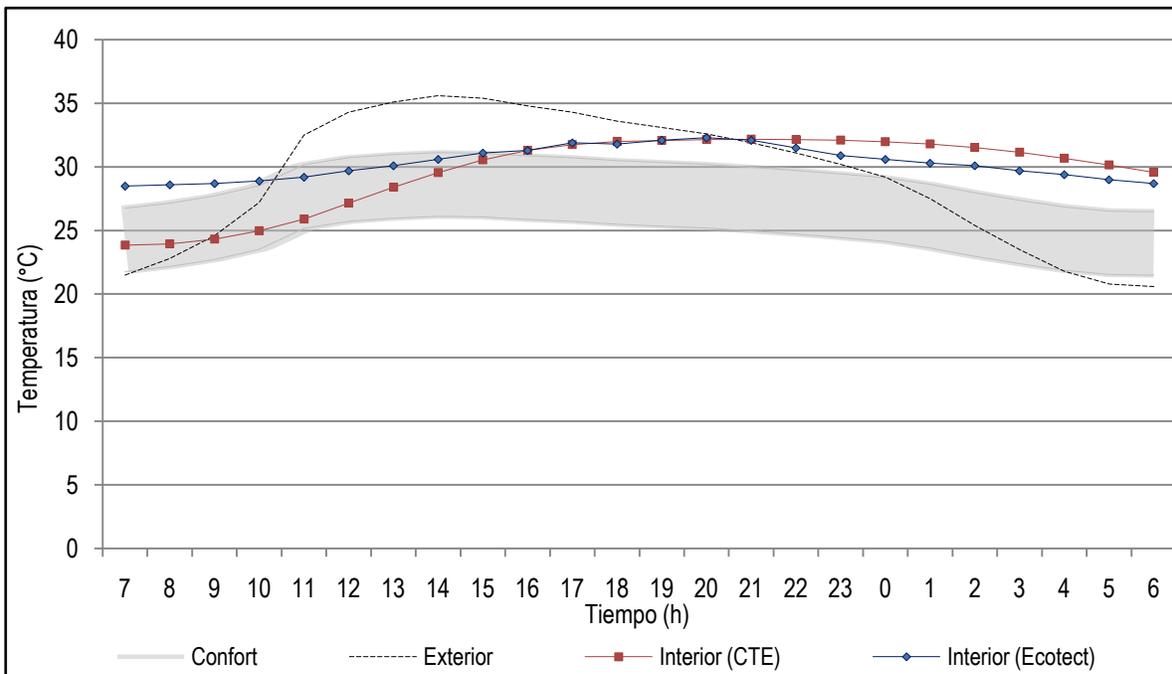


Imagen 19. Evolución de temperaturas interiores calculadas con Ecotect y CTE relacionadas con la temperatura exterior y el rango de horas fuera de confort.

La hora de inicio de cálculo aplicando la metodología de CTE es a las 6 h para hallar la temperatura interior de la hora siguiente, lo cual determina el inicio de la grafica y la mayor diferencia de temperatura para este día de 4,64 °C calculada con Ecotect y la menor diferencia de las 16 a 21 h

del valor calculado con respecto a la metodología CTE. Los valores calculados en Ecotect son 0,64 °C mayores a las de las horas calculadas del día con la metodología de CTE.

La cantidad de horas dentro de la zona de confort para Ecotect es de 7 h y de 10 h para la metodología de CTE, el total de grados día que sobrepasan la zona de confort es de 148 °C para Ecotect y 132 °C para la metodología CTE.

En el gráfico de regresión lineal, el coeficiente de correlación del modelo estudiado presenta un ajuste de las temperaturas simuladas en Ecotect, tomando como base el cálculo con la metodología de CTE de 0,79 lo cual indica un ajuste aceptable, ver Imagen 20.

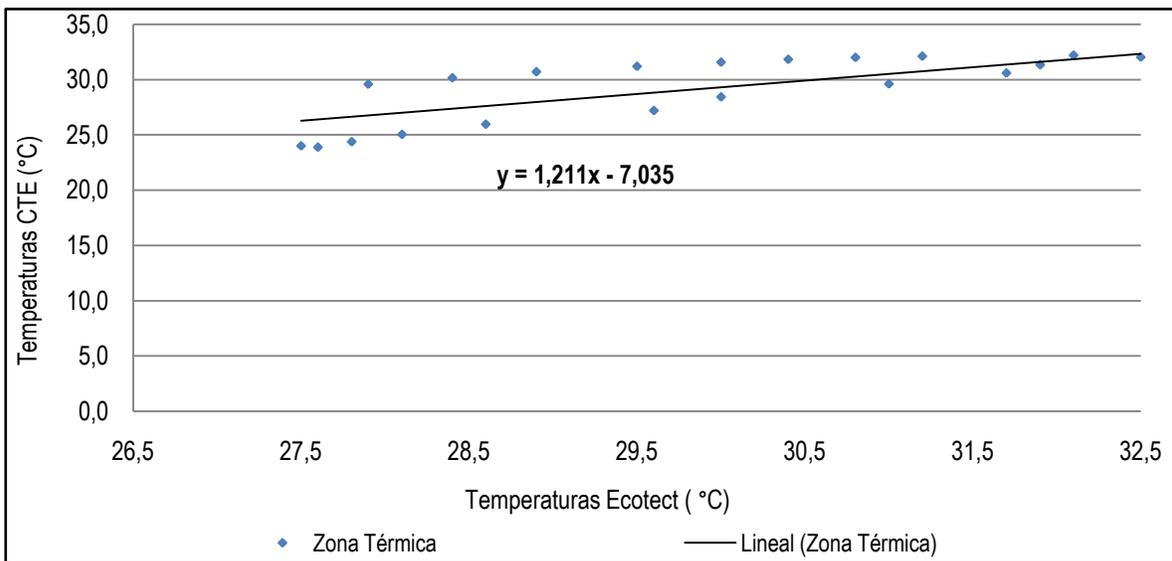


Imagen 20. Correlación de cálculo de temperatura interior con Ecotect y CTE.

4.5. Análisis comparativo Ecotect y CTE.

A pesar de las diferencias de cálculo que presenta Ecotect en comparación con CTE, posee las siguientes ventajas de utilización:

- Licencia de utilización de la última versión del software gratis para estudiantes⁴⁷.
- Además de las siguientes prestaciones:
 - Posee una interfaz gráfica amigable.
 - Modelado de geometrías complejas y la importación de archivos 3D.
 - Cálculo de sombreado (proyección y animación de sombras y reflexiones, cálculo de valores numéricos de horas de sol y sombra, cálculo del factor de sombra, diagramas solares iterativos).
 - Cálculos de radiación muy visuales (cálculo de radiación incidente en cualquier superficie del edificio).
 - Exportación a otras herramientas: Energyplus, Radiance, gbxml, etc.
 - Cálculos térmicos muy rápidos.
 - Posee las herramientas Weather Tool / Solar Tool.
 - Acústica, scripts, online wiki, etc.

Sin embargo la principal desventaja es poder calcular las ganancias de calor para cada superficie, la cual solo se da por transmitancia (para superficies transparentes) y por absorptancia (para superficies opacas y transparentes) por lo cual utilizaremos el programa para simulación solo tomando en cuenta el dato base de:

Radiación incidente: Es la radiación que incide sobre una superficie en W/m² o Wh y sirve de base para la simulación térmica, particularmente Ecotect calcula este valor de la siguiente manera:

$$E_{\text{incident}} = [(E_{\text{beam}} \times \cos(A) \times F_{\text{shad}}) + (E_{\text{diffuse}} \times F_{\text{sky}})] \times E_{\text{exposedArea}}^{48}$$

Donde:

E_{incident} = Radiación incidente en W/m² o W/h.

E_{beam} = Radiación directa.

⁴⁷ Consultar requerimientos en: Autodesk Education Community, <http://students.autodesk.com/>. Consultado el 8 de Junio de 2010.

⁴⁸ Autodesk Ecotect 2011, *Ecotect HELP: Incident Solar Radiation*.

$\cos(A)$ = Angulo de incidencia de la radiación, es calculado un único valor y este corresponde al ángulo de intersección de altura solar y azimut con la perpendicular de la superficie en la que incide. Un ángulo 0° impacta el 100% y uno de 90° impacta 0%.

F_{shad} = La fracción de superficie en sombra.

E_{diffuse} = Radiación difusa, esta directamente relacionado con la superficie visible desde el cielo, reconoce para un elemento horizontal 100% y vertical el 50%.

F_{sky} = Tipo de cielo.

$E_{\text{exposedArea}}$ = Área expuesta.

Los valores de radiación incidente se pueden contrastar si realizamos un cálculo manual, lo cual representa una ventaja, ya que esto no es posible para los cálculos en Ecotect de "Annual load distribution"⁴⁹ que representan las siguientes ganancias para la edificación:

1. Conduction loads through the fabric (sQc): Es la ganancia total de calor por conducción a través de la envolvente en superficies opacas y transparentes.
2. Indirect solar loads through opaque objects (sQss): Es la ganancia de calor por radiación solar indirecta en superficies opacas (muros, techos, puertas).
3. Direct solar gains through transparent objects (sQsg): Es la ganancia de calor por radiación solar directa en superficies transparentes (ventanas).
4. Ventilation and infiltration gains (sQv): Es la ganancia o pérdida de calor causada por el viento y las infiltraciones en la construcción.
5. Internal loads from lights, people and equipment (sQi): Son las ganancias internas de calor por la presencia de equipamientos en la vivienda y personas.
6. Inter – zonal loads from heat flow between adjacent zones (sQz): Son las ganancias o pérdidas de calor que se dan entre zonas adyacentes en la edificación.

Estos tipos de ganancia representan las limitantes para Ecotect ya que éstos no son comprobables dado que las ecuaciones para el cálculo no se encontraron en la versión 2011, solo en la versión v5.20. Con estas ecuaciones se simulo para contrastar los resultados obtenidos en Ecotect 2011 de

⁴⁹ Formulas de cálculo de Ecotect v5.20.naturalfrequency, *THERMAL: HEAT BALANCE*, http://wiki.naturalfrequency.com/wiki/Heat_Balance. Consultado el 30 de Septiembre de 2011.

los 6 tipos de ganancias anuales con las de la versión v5.20, cuyos resultados obtenidos presentan una relación casi nula, sin embargo al compararlos con la metodología de CTE los resultados son bastante parecidos, dado que las ecuaciones utilizadas en Ecotect v5.20 están fundamentadas en el método de *balance térmico*, similares a las ecuaciones de CTE.

Por lo tanto la simulación en Ecotect se realizara hasta el cálculo de radiación incidente, utilizando los datos de radiación de la ciudad de Montería obtenemos los siguientes valores horarios para distintas superficies para el día más caluroso, ver Imagen 21.

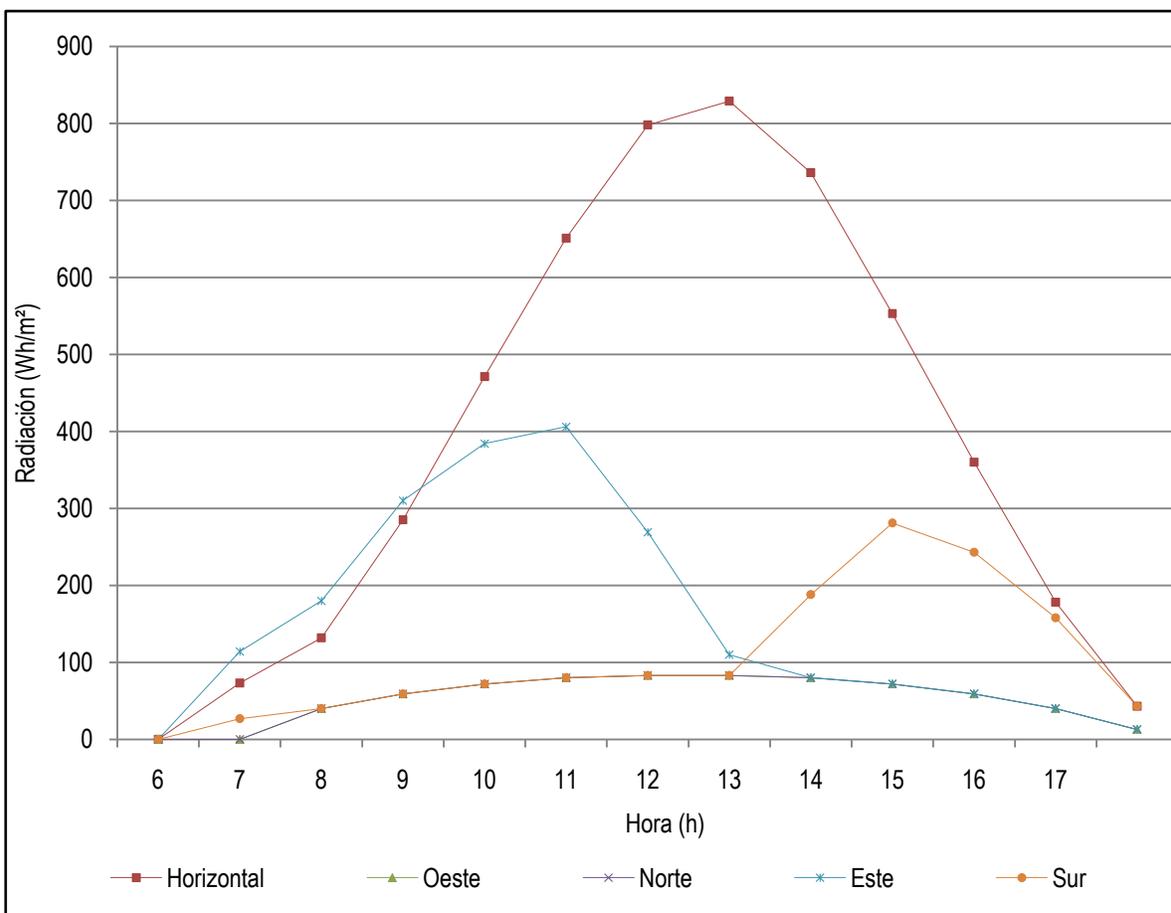


Imagen 21. Radiación solar sobre distintos planos de la envolvente para el día más caluroso, la mayor radiación que se da es a las 12 h en la superficie horizontal con 829 W/m².

Y los valores mensuales totales de radiación para distintas superficies, ver Imagen 22. La cual nos muestra la importancia de considerar la influencia de la radiación solar sobre distintos planos durante las diferentes estaciones del año y horas del día.

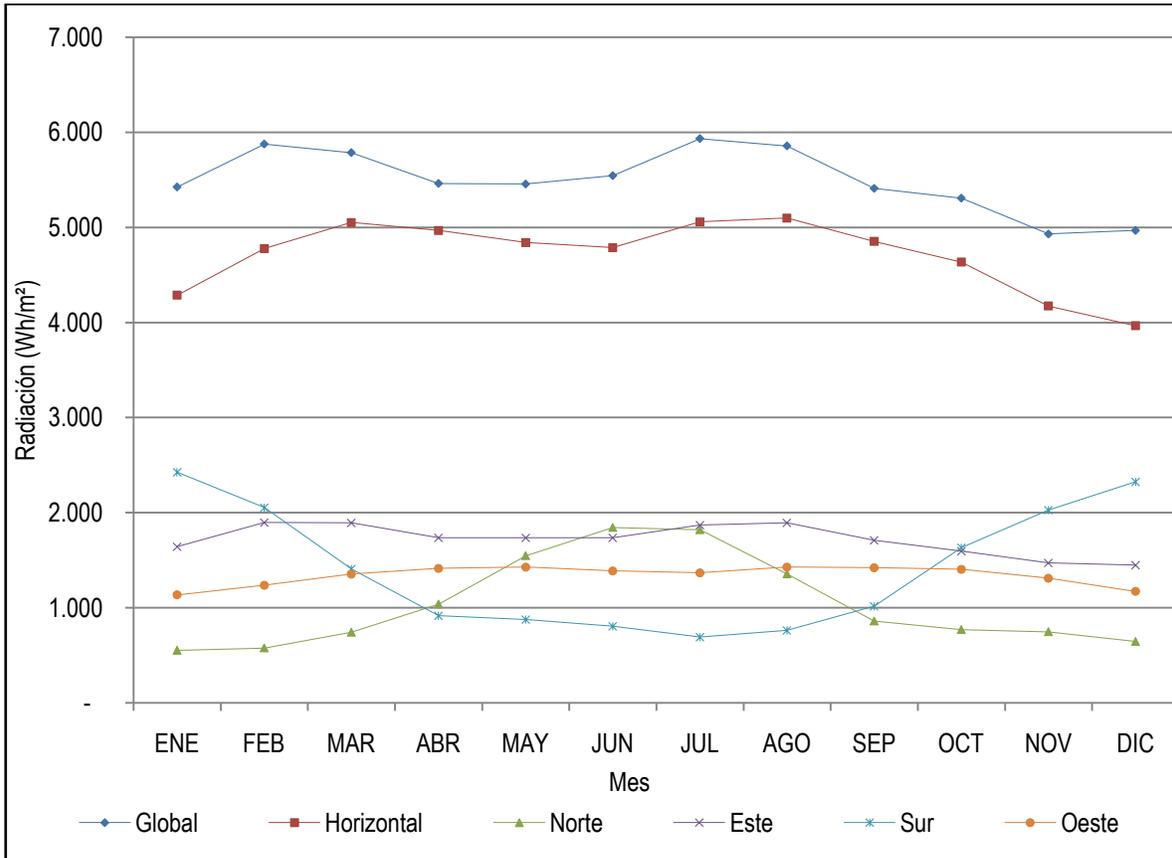


Imagen 22. Radiación solar sobre distintos planos de la envolvente.

5. EVALUACIÓN DE VARIABLES EN EL DISEÑO DE LA VIVIENDA.

5.1. Análisis del diseño urbano y arquitectónico.

La vivienda social cuando la hay, es con espacios habitables muy reducidos, en un suelo urbano caro y de escasa superficie y construida con materiales insatisfactorios; y como habitáculos constructores de consciencia, convivencia y sensibilidad ciudadanas, tienen un efecto muy grave; y se establece un círculo perverso entre la mala vivienda, las conductas antisociales y el deterioro progresivo de la ciudad como lugar de convivencia⁵⁰. Por lo tanto es necesario hacer patente que en la sustentabilidad de la vivienda no es suficiente considerar solo los puntos de vista del ahorro y la economía térmica, ya que ésta en la vivienda incluye un rango muy amplio de criterios, en el que el diseño arquitectónico ocupa un lugar muy importante y pocas veces se tienen en cuenta sus ventajas, las cuales es necesario cuantificar:

La vivienda unifamiliar expresa la tendencia dominante en las preferencias de los potenciales usuarios, por su independencia familiar individual y porque favorece la privacidad y permite decidir a cada usuario sobre su forma, tamaño y crecimientos o bipartición ulteriores, acordes a la evolución y al ahorro acumulativo potencial futuro.⁵¹

Limitantes:

1. Ocupa gran superficie de suelo urbano y demanda por cada vivienda de indivisos onerosos en calles, avenidas y andenes, con una superficie por unidad de vivienda en relación

⁵⁰ Apuntes: Tema Selecto del programa de Maestría en Arquitectura, Campo de Conocimiento de Análisis Teoría e Historia: *Urbanización y Vivienda Popular*, por el Dr. Carlos González Lobo en la división de estudios de posgrado de Arquitectura UNAM, C.U. (2010-1).

⁵¹ González Lobo, Carlos., *Vivienda y ciudad posibles*, Colección Tecnologías para la vivienda de interés social Escala, Colombia: 1999, p. 25 ss.

desfavorable a la extensión de suelo urbano ocupada y en el costo de las obras de urbanización necesarias.

2. Genera una relación desfavorable entre el suelo urbano y el suelo habitable que se ocupa efectivamente, sobre todo dadas las normas sanitarias y constructivas que reglamentan la edificación en solares y predios.
3. Además, exige una red de servicios previos, a pie de cada lote, de agua potable drenajes, energía eléctrica y alumbrado público que inciden de manera importante en el costo del m² de suelo habitable.

Ventajas:

1. Es una solución tradicional, la más aceptable y utilizada en todo el mundo, tanto para vivienda residencial, como por los asentamientos humanos precarios, y no requiere de una educación persuasiva para los futuros usuarios.
2. Permite una considerable intervención de los habitantes, pudiendo restringirse el costo inicial a cargo del gasto social público significativamente y terminándose progresivamente tanto la urbanización como la vivienda, en tiempos y con presupuestos de ejercicios posteriores, tanto para el usuario habitante, como para el municipio.
3. Hace compatible la intervención del sector público, la iniciativa privada, el sector de la construcción y los propios habitantes, en varias concertaciones económicas, políticas y sociales.

Por lo tanto, para evitar las desventajas de la vivienda unifamiliar es necesaria la intervención en:

Diseño Urbano: Para reducir el impacto en ocupación de suelo de este tipo de viviendas es necesario buscar una ocupación o lotificación densa, que permita densidades superiores a 65 viviendas por hectárea y que tenderá a lograr las 100 viviendas por hectárea, iguales a la solución de vivienda multifamiliar y la consecuente extensión de redes de servicio de agua, drenaje, energía eléctrica por un lado, y la superficie destinada y construida de pavimentos y andenes. Esta ocupación necesitara una urbanización mínima, que ocupe una correlación de suelo urbano indiviso directo, respecto del suelo habitable por vivienda, menor o igual al 20% del suelo urbano necesario, por el otro.

Si el costo del terreno representa un 30% del costo global de la vivienda y el costo de la vivienda terminada solo representa un 20%, el 50% corresponde al costo del dinero. Por ello buscar soluciones que incidan sobre el valor del terreno tendrá mas impacto real sobre la accesibilidad a la vivienda socialmente necesaria que los esfuerzos por minimizar, optimizar y sistematizar el producto construido “la casa”. Por lo tanto para abatir el costo del terreno es necesario reducir el frente de calle sin afectar la calidad habitable del lote, afectando positivamente el costo del suelo urbano, para el potencial usuario y para el presupuesto del municipio; así como se reduce significativamente el suelo urbano territorial y con el la extensión de la mancha urbana total.

Diseño arquitectónico: La configuración de la planta arquitectónica ejerce una fuerte influencia sobre las cualidades de habitabilidad y de economía. El encarecimiento de los costos de construcción, de los materiales y de la necesidad de ahorro ha incidido en la disminución de la superficie de la vivienda. Pero esta disminución en superficie de las viviendas no debe ir en detrimento de las características de las mismas, de la influencia que la vivienda ejerce sobre sus ocupantes y de gran significación que ésta tiene para el nivel de un pueblo, tanto desde el punto de vista cultural como del de la salud pública. En consecuencias, la resolución del problema no podrá conseguirse mediante una simple reducción geométrica de las plantas de las viviendas usuales hasta ahora, si no que exige una solución completamente nueva, adaptada a las circunstancias actuales. Por lo tanto lo fundamental será evitar las desventajas derivadas de la forzosa reducción de las superficies y obtener viviendas irreprochables desde el punto de vista funcional, pese a la reducción de espacio experimentada.

En la valoración de la plantas de una vivienda muchas veces se emplean una serie de conceptos como claridad, economía, forma de piezas, relación entre espacios, zonas de paso, utilización de la superficie, aspecto general, etc. De ellos depende el valor y bondad de una planta. Muchos de estos conceptos se valoran positivamente por unos y negativamente por otros. Desde hace algún tiempo Alexander Klein⁵² se ha ocupado de encontrar una base objetiva que oponer hasta la ahora subjetiva apreciación de estos conceptos preparando un método grafico con el que se han estudiado diferentes tipos de plantas de vivienda el cual permite hacer un análisis comparativo de plantas de

⁵² Klein, Alexander., *Vivienda mínima: 1906 – 1957*. Traducción Reinald Bernet, et al., Colección Arquitectura/Perspectivas, Gustavo Gili, Barcelona: 1980. pp. 125 ss.

viviendas con la misma superficie. Se estudian las propiedades más importantes (primarias) de cada planta. Alturas libres, colorido, tratamiento de las paredes, amueblamiento, así como iluminación artificial, no son estudiados por ser cosas que influyen negativamente en la impresión general, pero que en caso necesario pueden ser alteradas y por lo tanto poseen una importancia secundaria en la valoración objetiva de las viviendas.

Con estas tres representaciones puede medirse la capacidad de utilización práctica de una planta antes de su ejecución:

1. Ordenación de las zonas de paso y recorrido de las circulaciones: señalan las posibilidades de economía y la simplicidad de utilización de la vivienda en relación con el ahorro de energías puramente físicas.
2. Concentración de las superficies libres: corresponde a este tipo de superficies la superficie no ocupada una vez colocados los muebles imprescindibles que de su concentración depende en primer lugar la comodidad y espaciosidad de la vivienda, así como la posibilidad de aumentar el mobiliario.
3. Semejanza geométrica e interdependencia de los elementos de la planta: superficies que pueden entenderse por separadas dentro de la pieza en la que se encuentran inciden en la impresión general consciente o inconscientemente.

Los valores límites en la utilización de las tres mediciones propuestas por Alexander Klein, se obtienen con la comparación de numerosas plantas del mismo tipo y tamaño donde también resulta útil la comparación entre superficie útil y construida, superficie útil y superficie no utilizable que se obtiene por un método gráfico, desarrollado por el doctor Leo Adler que permite una inmediata comparación de estas relaciones entre distintas plantas. Con la aplicación de este método gráfico pueden establecerse de un modo objetivo y preciso las características de una planta, donde cabe la posibilidad de perfeccionar una planta, es decir, optimizar las cualidades de la vivienda reduciendo su superficie y por lo tanto el mínimo de vivienda.

La utilización de estos métodos demuestra que los conceptos estéticos utilizados habitualmente como claridad, semejanza geométrica, etc. están íntimamente relacionados con la construcción de

pequeñas viviendas e inciden en su economía e higiene. La tensión nerviosa en el uso de una vivienda crece con el número de impresiones que producen los elementos de la planta y sobre todo sus interrelaciones y su contorno, su sucesión, sus diferencias de nivel, las articulaciones de las zonas de paso, las variaciones de claridad y oscuridad con la iluminación natural.

5.1.1. Evaluación Urbanización El Laguito.

Por lo anteriormente mencionado se busca la aplicación de criterios de evaluación en la vivienda en la Urbanización “El Laguito” de la ciudad de Montería, la cual se encuentra localizada en la calle 22 entre carreras 32 y 33, ver Imagen 23. Es un desarrollo de vivienda unifamiliar de interés medio que se construyó el año de 1994 como solución al déficit de vivienda en la ciudad y fue la unidad residencial de su tipo más grande de la época (dirigida a estratos socioeconómicos 2 y 3). Cuya finalidad es cuantificar objetivamente algunos aspectos de la vivienda; el diseño urbano y arquitectónico.



Imagen 23. Plano de Montería y de localización de la Urbanización “El Laguito”, dirección: calle 22 entre carreras 32 y 33.

Análisis de diseño urbano: podemos destacar que la evaluación nos muestra que la densidad de vivienda es menor a 65 v/ha, una densidad de ocupación baja si la comparamos con las de la vivienda unifamiliar, ver Tabla 18.

También podemos destacar que presenta un manejo de zonas verdes como espacios residuales, los cuales están dispersos y no permiten la realización de múltiples actividades que propicien la integración de sus habitantes y la consolidación del espacio. El número de cajones de estacionamiento es de 80, menos de la mitad del total de viviendas. El aspecto actual del sitio es el de inacabado por las constantes modificaciones que sufre o por el costo operacional tan elevado de su infraestructura y el paisaje con el que se concibió no cumple con las expectativas iniciales de los propietarios como cuando fue adquirido nuevo y estéticamente agradable.

Tabla 18. Diseño urbano:

NOMBRE:	CANTIDAD (m ²)	OCUPACIÓN (%)
No. DE LOTES (U)	185	100,00%
ÁREA LOTE (7.00 X 14.00)	98,00	100,00%
ÁREAS LOTE REGULAR (185 U)	18.130,00	100,00%
ÁREAS LOTE IRREGULAR	-	-
LOTE URBANIZACIÓN	35.944,28	100,00%
VIVIENDAS	18.130,00	50,44%
VÍAS (990 ml)	6.728,52	18,72%
ESTACIONAMIENTO (80 U) 2,4 X 5,00 C/U	989,94	2,75%
ACERA 1,00 m	2.084,45	5,80%
ANTEJARDÍN	2.714,94	7,55%
ZONAS VERDES	5.149,43	14,33%
EQUIPAMIENTOS	146,58	0,41%
DENSIDAD	51,47	v/ha

Programa arquitectónico: la vivienda ofrece diferentes espacios que cumplen con lo mínimo necesario para su funcionamiento, con restricciones de crecimiento de acuerdo a las necesidades biológicas de la familia, las cuales no están solventadas puesto que existen solo 2 habitaciones, ver Tabla 19.

Los posibles crecimientos son importantes para las aspiraciones futuras de la familia ya que éstos contribuyen a la consolidación de la vivienda.

Tabla 19. Programa de vivienda:

ÍTEM	NOMBRE	ÁREA (m ²)	OCUPACIÓN (%)
1	ALCOBA 1	9,30	21,43
2	ALCOBA 2	21,00	2,18
3	BAÑO	2,14	20,41
4	SALA – COMEDOR	20	5,97
5	COCINA	5,85	10,20
6	ESTAR 2	10,00	3,06
7	CIRCULACIONES	3,00	21,43%

Planta arquitectónica: se cuantifica la superficie útil habitable de los espacios de la vivienda, su desglose (se cuantifica el área habitable, sin muros) y la ocupación, con las respectivas observaciones en el diseño, ver Tabla 20. Donde se busca que las áreas de circulación queden reducidas a su mínima expresión, al hacer un análisis comparativo de modelos.

Con los diferentes análisis; diseño urbano, programa de vivienda y diseño arquitectónico, podemos establecer los índices de economía que inciden en la urbanización y la vivienda de una manera objetiva, cuyo objetivo es superar las variables en el diseño que lo justifiquen en mejoramiento de la economía de la “habitabilidad”, propiciando esto a un desarrollo sustentable de la vivienda.

Esto se puede lograr comparando distintas soluciones de diseño, lo cual excede el propósito de esta investigación, puesto que existe una “*enormidad de posibilidades de desarrollo para la imaginación y la invención*⁵³” donde la arquitectura propicie “*que lo improbable suceda en el espacio*”⁵⁴ lo cual pocas veces se tiene en cuenta en la arquitectura porque se siguen estandarizando las soluciones y sigue sucediendo lo “probable”. Y que desde la arquitectura se cuenta con recursos proyectuales que permitirían superar parte de las carencias de la vivienda, tanto en la obtención de mayor espacio habitable por el mismo recurso invertido en la construcción, como en la reducción de los costos directos e indirectos para la ciudad y sus viviendas.

⁵³ Palabras de Juan O’gorman en: Rodríguez Prampolini, Ida., *Juan O’gorman: arquitecto y pintor*, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México: 1982, p. 130 ss.

⁵⁴ Palabras de Antonio Pastrana en: González Lobo, Carlos., *hacia una teoría, del proyecto arquitectónico*. Tesis Doctoral, Facultad de Arquitectura: Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México: 2007. p. 107 ss.

Tabla 20. Planta arquitectónica:

1. SUPERFICIE PREDIO Y CAJA CONSTRUIDA:	m ²	OBSERVACIONES	OCUPACIÓN
Superficie del lote:	98,00		100%
2. SUPERFICIE EDIFICADA:			
En planta baja:	82,50		84%
Superficie Edificada:	82,50		
3. SUPERFICIE CONSTRUIDA EN MUROS:			
Muro e= 0,10 en planta baja (ml):	68,65		11%
Superficie ocupada por muros e = 0,10 m	6,87		
Superficie ocupada por columnas (0,25 x 0,25) x 15U	0,94		
Total superficie ocupada por muros y columnas	7,80		
Relación m ² edificados/m ² construidos:	10,57		
4. SUPERFICIE ÚTIL DENTRO DE MUROS "HABITABLE"			
4.1. SUPERFICIE ÚTIL TOTAL:			
Superficie útil total:	74,70		76%
Relación m ² edificado/m ² útiles:	1,10		
4.2. SUPERFICIE ÚTIL UNITARIA "CUMPLIMIENTO DEL PROGRAMA":			
Comedor (3,20 x 3,34)	10,64		75%
Cocina (3,20 x 2,30)	7,36		
Baño (1,00 x 2,15)	2,15		
Dormitorio principal (3,50 x 6,02)	20,95		
Dormitorio 2 (3,50 x 2,74)	9,31		
Estar 1 (3,20 x 3,09)	9,81		
Estar 2 (3,5 x 3,74)	13,02		
Total superficie útil unitaria:	73,24		
SUPERFICIE ÚTIL UNITARIA SEGÚN PROGRAMA DE VIVIENDA:			
Relación m ² edificados/m ² útiles estrictos:	1,13		
Relación m ² útiles estrictos/m ² edificados:	0,89		
RELACIÓN ÁREAS OCUPADAS CON CIRCULACIÓN:			
Baño (1,00 x 1,00)	1,00		17%
Vacio ventilación (1,75 x 0,25)	0,44		
Patio (3,20 x 3,62)	11,54		
Terraza (3,20 x 1,25)	3,96		
	16,94		

5.2. Ganancia de radiación solar en la envolvente.

Con el fin de establecer un índice de las ganancias de temperatura a través de la envolvente se emplea el método de la ecuación de "balance térmico", en la cual el equilibrio térmico de un edificio

ocurre cuando la suma de las pérdidas y ganancias de calor es igual a cero, llegando a un punto neutral que se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$Q_i + Q_s \pm Q_c \pm Q_v - Q_e \pm Q_m = 0$$

Los seis valores en el lado izquierdo de la ecuación se refieren a las principales fuentes de ganancias y/o pérdidas de calor de un edificio: internas, solares, conducción, ventilación, evaporación y sistemas mecánicos de climatización.

A continuación se describen solo las ganancias por radiación solar, que para efectos de la investigación nos interesa por las altas temperaturas que se presentan durante el día en la ciudad de Montería, utilizando Ecotect para el cálculo de radiación incidente y la metodología de balance térmico para el cálculo de los diferentes tipos de ganancia en la envolvente por la radiación solar:

Ganancias solares (Qs): La radiación solar que incide sobre el edificio puede generar importantes ganancias de calor. Cuando éstas se dan a través de superficies opacas (muros y cubiertas, por ejemplo) se denominan indirectas, y cuando ocurren a través de superficies transparentes, como el vidrio, se llaman directas. En el método del balance térmico se recomienda calcular las ganancias indirectas por medio del parámetro temperatura sol – aire.

Ganancias solares directas: Las ganancias solares directas (a través de los elementos transparentes) se dan como sigue:

$$Q_s = G * A * f_{gs}$$

Donde:

Q_s = Ganancia directa total en Watts (W).

G = Radiación solar total incidente sobre la superficie transparente (W/m^2).

A = Área de la superficie transparente en m^2 .

f_{gs} = Factor de ganancia solar del vidrio.

Para el cálculo de ganancias por radiación solar directa para ventana (Vs) ver Tabla 21, se utilizaron los siguientes valores:

- Número de elementos: 6 unidades.
- Área: 7,55 m².
- Superficie expuesta: 7,55 m².
- Coeficiente de ganancia solar (0 – 1) = 0,94.
- Transmitancia (0 – 1) = 0,753.

Tabla 21. Ganancia por radiación directa Ventanas (Wh):

Hora	Mes											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
06:00	0	0	0	78	111	126	142	114	75	51	28	0
07:00	105	172	251	261	302	330	366	318	228	172	112	107
08:00	138	179	260	351	400	430	536	448	305	202	170	150
09:00	144	156	214	321	335	461	457	371	261	199	193	169
10:00	162	164	211	260	317	358	335	299	243	224	219	191
11:00	169	172	221	300	274	265	273	260	278	233	228	198
12:00	169	172	263	287	315	310	260	254	260	252	228	289
13:00	373	174	245	343	395	400	370	376	334	271	335	429
14:00	526	318	307	381	430	425	428	401	377	435	463	485
15:00	422	437	356	331	355	370	370	352	349	377	358	380
16:00	195	211	223	217	230	234	247	230	205	172	166	175
17:00	0	40	55	69	81	74	86	77	0	0	0	0

Pérdidas o ganancias por conducción (Qc): Cuando existen flujos de calor a través de la envolvente del edificio (muros, cubiertas y suelos, por ejemplo) tenemos, dependiendo del sentido de dichos flujos, pérdidas o ganancias por conducción. Si los cerramientos tienen cámaras de aire en su interior también se dan procesos de transferencia de calor por convección, aunque estos suelen ser menos intensos. La cantidad de calor ganado o perdido dependerá de las características térmicas de los materiales empleados, de la diferencia de temperatura interior – exterior y de la superficie total expuesta.

Mediante la siguiente ecuación podemos calcular las pérdidas o ganancias de calor en un momento dado:

$$QC = U * A * \Delta T$$

Donde:

QC = Flujo instantáneo de calor (W).

ΔT = Diferencia instantánea entre la temperatura del aire interior y el exterior ($^{\circ}\text{C}$).

A = Área de la superficie del componente (m^2).

U = Valor – U (transmitancia) del elemento.

Para un edificio cuyos cerramientos exteriores se ven sometidos a diferentes condiciones exteriores, o presentan distintas diferencias de temperatura interior – exterior, la ecuación anterior se aplica para cada cerramiento y se suman los resultados.

Si se considera la pérdida de calor de un edificio: $\Delta T = T_i - T_o$.

Si se considera la ganancia de calor en un edificio con aire acondicionado: $\Delta T = T_o - T_i$.

Si un elemento también está expuesto a la radiación solar y se desea incluir las ganancias solares indirectas: $\Delta T = T_s - T_i$.

Donde:

ΔT = Diferencia instantánea entre la temperatura del aire interior y el exterior ($^{\circ}\text{C}$).

T_i = Temperatura interior ($^{\circ}\text{C}$).

T_o = Temperatura exterior ($^{\circ}\text{C}$).

T_s = Temperatura sol – aire ($^{\circ}\text{C}$).

Temperatura sol – aire: Con el objeto de establecer las ganancias extras de calor en un edificio se suele combinar el efecto calorífico de la radiación incidente con el efecto de la temperatura del aire, lo cual se puede conseguir mediante un parámetro conocido como temperatura sol – aire. Para determinar la temperatura sol – aire se establece un valor de temperatura del aire que produciría el mismo efecto térmico que la radiación incidente, y dicho valor se añade a la temperatura real del aire. La temperatura sol – aire es la temperatura equivalente del aire exterior que daría la misma cantidad de calor transmitido que los efectos combinados de la radiación solar y la temperatura real del aire. La temperatura sol – aire se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$T_s = T_o + (G \times a \times R_{so})$$

Donde:

T_s = Temperatura sol – aire (°C).

T_o = Temperatura del aire exterior (°C).

G = Radiación solar incidente total (W/m²).

a = Absortancia de la superficie (0 – 1).

R_{so} = Resistencia de la película exterior del aire (m²°C/W).

Para el cálculo de ganancias por conducción se utilizaron para ventana (Vc) Tabla 22, los siguientes valores:

- Conductividad térmica (W/m².K) = 5,44.
- Coeficiente de ganancia solar (0 – 1) = 0,94.
- Transmitancia (0 – 1) = 0,753.

Tabla 22. Pérdidas o ganancias por conducción Ventanas (Wh):

Hora	Mes											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
06:00	-125	-133	-139	-139	-124	-87	-129	-144	-156	-129	-124	-142
07:00	-67	-69	-69	-83	-76	-48	-78	-90	-100	-79	-76	-82
08:00	-58	-62	-69	-72	-64	-38	-64	-77	-89	-73	-70	-78
09:00	-42	-44	-52	-56	-53	-28	-53	-64	-77	-64	-57	-59
10:00	-4	-3	-4	-8	-9	10	-17	-25	-32	-28	-22	-20
11:00	118	121	130	132	121	118	101	99	99	86	85	99
12:00	76	79	92	92	84	87	65	59	59	47	50	64
13:00	97	95	106	113	104	104	82	79	80	67	72	86
14:00	124	120	131	134	124	124	105	102	104	93	95	108
15:00	135	139	145	144	134	135	120	113	117	107	104	112
16:00	146	153	160	157	147	151	133	131	129	121	113	126
17:00	162	175	180	175	162	165	154	151	146	138	130	138

Para el cálculo de ganancias por conducción se utilizaron para muros (Mc) Tabla 23, los siguientes valores:

- Número de elementos: 13 unidades.
- Área: 94,604 m².

- Superficie expuesta: 56,690 m².
- Conductividad térmica (W/m².K) = 2,95.
- Absorción solar (0 – 1) = 0,2359.
- Rso (m²°C/W) = 0,055.

Tabla 23. Pérdidas o ganancias por conducción Muros (Wh):

Hora	Mes											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
06:00	-509	-543	-566	-559	-494	-341	-512	-575	-629	-519	-500	-578
07:00	-253	-256	-257	-311	-279	-163	-286	-334	-378	-296	-287	-314
08:00	-192	-194	-214	-230	-199	-88	-199	-249	-299	-243	-241	-275
09:00	-96	-90	-116	-136	-116	-12	-102	-151	-228	-182	-163	-171
10:00	72	78	74	62	71	153	45	11	-48	-34	-15	2
11:00	572	582	612	604	573	576	512	488	468	420	423	484
12:00	398	403	432	416	391	411	313	283	281	250	288	346
13:00	463	448	472	497	452	458	362	349	363	327	353	412
14:00	531	534	579	581	531	526	442	441	462	415	419	465
15:00	569	585	619	616	570	567	504	482	505	458	445	480
16:00	613	643	667	656	617	627	554	549	545	514	479	529
17:00	659	720	742	721	667	680	633	621	595	561	528	562

Para el cálculo de ganancias por conducción se utilizaron para techos (Tc)Tabla 24, los siguientes valores:

- Número de elementos: 8 unidades.
- Área: 75,444 m².
- Superficie expuesta: 75,444 m².
- Conductividad térmica (W/m².K) = 4,86.
- Absorción solar (0 – 1) = 0,9.
- Rso (m²°C/W) = 0,055.

Donde podemos ver que es en la cubierta donde más radiación total se recibe, no solo por tener la mayor área de los elementos de la envolvente, si no también por su alta conductividad térmica y a la incidencia de radiación de manera perpendicular casi todo el tiempo, dada la pendiente mínima utilizada para este tipo de cubiertas (15°).

Tabla 24. Pérdidas o ganancias por conducción Techos (Wh):

Hora	Mes											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
06:00	-1115	-1191	-1242	-393	-67	227	-243	-396	-605	-571	-660	-1267
07:00	1051	1166	1731	2017	2095	2266	1862	1789	1738	1674	1544	1173
08:00	3401	3582	4323	4598	4645	4870	4224	4220	4412	4292	3707	3174
09:00	6743	7206	7786	7786	7797	7557	7703	7673	7620	7538	6658	6226
10:00	9848	11109	11539	11134	10609	10864	11372	11275	10983	10515	9532	9122
11:00	13146	14398	14640	14175	13705	13546	14240	14524	14051	13607	12251	12049
12:00	13211	14423	14773	13987	13523	13530	14429	14491	13883	13162	11836	11680
13:00	11623	13256	13421	12756	12317	12250	13114	13012	12420	11868	10549	10342
14:00	8964	10355	10733	10228	9806	9904	10196	10479	9689	9101	8186	8364
15:00	5984	6829	7419	7246	6874	6846	7259	7130	6698	5992	5655	5323
16:00	3616	3931	4492	4550	4549	4559	4400	4314	4051	3590	3316	3257
17:00	1444	2154	2416	2621	2571	2596	2427	2333	1305	1231	1158	1232

Para el cálculo de ganancias por conducción se utilizaron para techo1 (T1c) Tabla 25, los siguientes valores:

- Número de elementos: 1 unidades.
- Área: 4,131 m².
- Superficie expuesta: 4,131 m².
- Conductividad térmica (W/m².K) = 1,01.
- Absorción solar (0 – 1) = 0,9.
- Rso (m²°C/W) = 0,055.

Tabla 25. Pérdidas o ganancias por conducción Techos1 (Wh):

Hora	Mes											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
06:00	-13	-14	-14	-6	-3	0	-5	-7	-9	-8	-8	-14
07:00	8	7	14	16	16	18	13	13	14	14	13	9
08:00	31	32	36	40	39	39	33	33	37	39	33	29
09:00	64	66	70	69	69	65	65	65	67	69	64	69
10:00	112	106	106	101	96	97	100	101	100	98	105	103
11:00	152	166	144	135	128	123	128	134	137	153	138	137
12:00	152	167	168	136	127	125	136	138	155	149	134	132
13:00	132	152	152	142	137	116	125	147	139	134	118	119
14:00	102	119	121	113	108	110	115	117	107	102	91	94
15:00	69	76	83	78	75	76	80	79	72	66	62	58
16:00	41	44	49	49	49	49	48	47	44	39	35	36
17:00	16	24	27	28	28	28	27	26	15	14	13	14

La ganancia de radiación solar para los diferentes elementos de la envolvente en las horas en las que se requiere sombra y no existe protección solar. En la Imagen 24, se aprecia que existe una relación entre la incidencia de radiación total y los aportes de calor al interior de la vivienda por conducción y radiación solar directa.

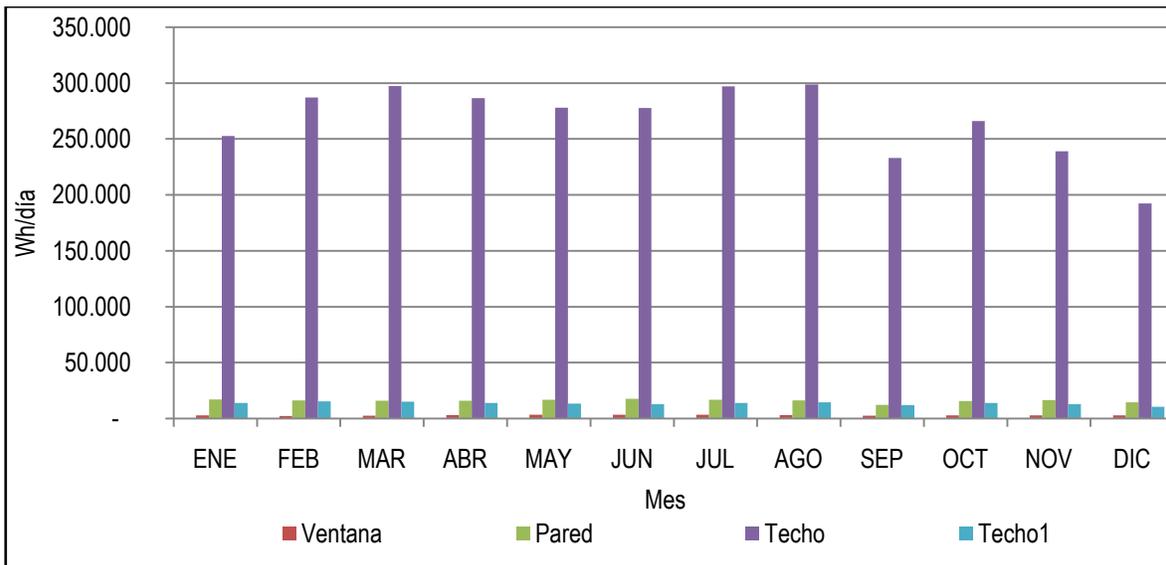


Imagen 24. Aportes de calor por radiación solar incidente en los elementos de la envolvente (Wh/día):

Y en la Imagen 25 se muestra la radiación incidente total para los diferentes elementos de la envolvente, en las horas en las que se requiere sombra y no existe protección solar.

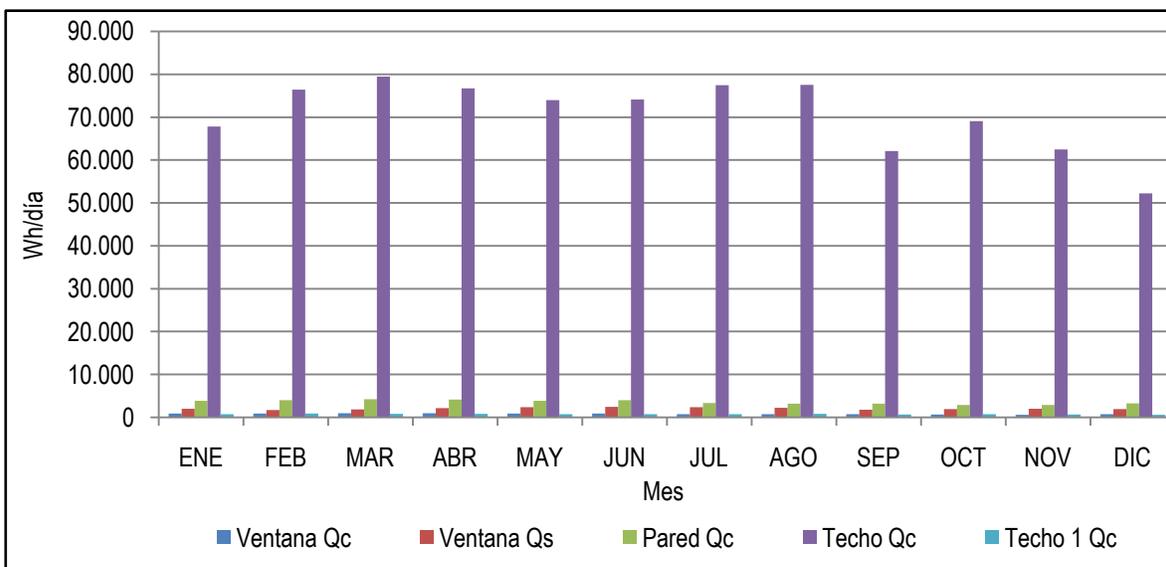


Imagen 25. Radiación incidente total (Wh/día).

5.2.1. Consumo de Energía.

Para equilibrar la ganancia de calor de 1 kWh se requieren 0,284333 Toneladas de Refrigeración. Considerando que un aire acondicionado de alta eficiencia de 1 Tonelada que trabaja 12 horas diarias consume 432 kWh al mes, se calcula para cada mes la cantidad de días y horas en las que se requiere aire acondicionado (horas en las que se requiere sombra y no existe protección solar).

Consumo mensual de energía eléctrica de 1 tonelada de aire acondicionado (KWh/mes):

Tabla 26. Radiación mensual:

Elemento	Mes											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
KWh/mes	335	302	335	324	335	324	335	335	288	335	324	298

Teniendo el consumo de energía por mes se calculan las toneladas de refrigeración requeridas por la ganancia de calor de cada elemento de la envolvente.

Tabla 27. Toneladas de Refrigeración (TR):

Elemento	Mes											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
V. Qc	0,24	0,25	0,27	0,27	0,25	0,25	0,21	0,20	0,21	0,18	0,18	0,21
V. Qs	0,57	0,48	0,53	0,62	0,68	0,69	0,67	0,64	0,51	0,56	0,57	0,56
P. Qc	1,10	1,14	1,19	1,18	1,10	1,14	0,96	0,92	0,92	0,83	0,83	0,93
T. Qc	19,29	21,74	22,59	21,81	21,03	21,07	22,02	22,05	17,66	19,64	17,77	14,86
T1.Qc	0,22	0,24	0,24	0,22	0,21	0,21	0,22	0,22	0,19	0,21	0,20	0,17

Por ultimo, teniendo la cantidad de toneladas de refrigeración requeridas para cada elemento de la envolvente se calcula el consumo eléctrico con el consumo de energía eléctrica requerida para 1 tonelada de aire acondicionado.

Tabla 28. Consumo de energía por refrigeración kWh/mes:

Elemento	Mes											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
V. Qc	81	84	89	89	83	85	71	68	70	60	59	70
V. Qs	192	161	179	208	228	232	225	214	172	187	190	186
P. Qc	369	380	400	395	369	381	320	307	306	277	278	312
T. Qc	6.458	7.278	7.562	7.301	7.040	7.053	7.372	7.383	5.911	6.575	5.948	4.974
T1.Qc	74	81	81	75	71	69	72	75	64	72	66	56

Estos resultados permiten apreciar las ventajas que representa calcular previamente las ganancias por radiación solar para cada elemento de la envolvente, las cuales nos servirán para hacer un análisis comparativo de las ventajas que tendrían las propiedades térmicas de diferentes elementos de la envolvente y su influencia en el consumo de energía. Al superar estas desventajas en la vivienda, no solo se obtienen ahorros de tipo económico (cuando es posible asumir el costo energético para refrigeración o ventilación, los sistemas pasivos y activos utilizados potencian su desempeño), si no también de tipo ambiental, por lo que se deja de consumir de energía, lo cual implica, desde luego, una disminución en la quema de combustibles fósiles (recursos naturales no renovables) utilizados para generar energía eléctrica, con la consecuente disminución de CO₂ emitido a la atmósfera, ya que por cada kWh ahorrado se evita la emisión de 0,681 kg de CO₂ y la dependencia de utilización de energía y cuando no es posible asumir los costos de ésta, se estarán mejorando las condiciones de habitabilidad en la vivienda.

En cuanto al costo del kWh en Colombia, es de \$ 347,29 pesos a enero de 2012. Los usuarios de los Estratos 1, 2 y 3 (usuarios de menores ingresos), reciben subsidios equivalentes al 60%, 50% y 15% sobre el Costo de Prestación del Servicio, aplicable al denominado "Consumo de Subsistencia", el cual actualmente es de 173 kWh – Mes. Como el consumo de subsistencia no alcanza para cubrir las demandas de refrigeración que requiere la vivienda, ya que representa un excedente del consumo normal de energía para la vivienda, se toma en cuenta el costo de la energía sin subsidio.

CONCLUSIONES

La necesidad de cuantificar, clasificar y clarificar el ámbito de lo sustentable, ha dado como resultado una serie de métodos de estudio y herramientas de distinto alcance. La aproximación analítica y metodológica a la que responden las distintas herramientas resulta en la mayoría de los casos difusa o desconocida, la puntuación respecto a la cual se ha determinado la distribución de pesos, responde a criterios de ponderación de las herramientas, a menudo diferentes, dependiendo del país o región en la que se apliquen. Este tipo de valoración suele responder a tendencias de tipo político, comercial, o incluso de la dificultad de estimación de algunos datos, por lo que pueden ser muy variables, predominando el análisis multicriterio. La utilización de criterios para determinar la sustentabilidad en la arquitectura no expresa la sustentabilidad en sí; la ambigüedad del término no puede resolverse de manera simple, el contenido de este concepto es fruto del sistema de razonamiento que apliquemos. Ya que todavía hace falta mucho por investigar acerca de los aspectos medioambientales, por lo que el desarrollo de indicadores datan de la época concreta en la que se den. Estos deberán ser evaluados en términos de su relación y evolución en el tiempo, modificándolos si es necesario.

La evaluación del desempeño ambiental del edificio se ha convertido en uno de los puntos principales de los constructores para fomentar el desarrollo de la construcción sustentable, sin embargo es necesario establecer una regulación que guíe a los constructores para respetar las prioridades de protección del medio ambiente, ya que los métodos y procesos constructivos han demostrado su ineficiencia desde la perspectiva del desarrollo sustentable, porque se presentan problemas locales para casi todos los conflictos globales de contaminación que se presentan en el mundo, uno de los mas evidentes es el del alto costo operacional de la vivienda dado el alto consumo de energía eléctrica para solventar las necesidades de confort. Por lo tanto, materializar los principios de la sustentabilidad; representa un esfuerzo inicial, este tipo de iniciativa para este sector, el determinar estándares mínimos de cumplimiento o de certificación bajo estas características, para

mostrar los beneficios asociados a este tipo de proyectos y reconocer cuanto contribuyen a la implementación de estas medidas en la vivienda, mostrando lo que puede aportar o restar al futuro proceso de construcción y explotación, permitiendo conocer a que nivel cumple la vivienda con estos principios es indispensable para aportar bases sólidas al proceso de toma de decisiones mediante información objetiva que permita reducir la dependencia de la simple intuición.

Por lo tanto se busco la aplicación de diferentes métodos utilizados para cuantificar el desempeño de la vivienda, primero haciendo énfasis en la evaluación de áreas y segundo la simulación con el software Ecotect 2011, del que se determino su utilización, alcance y potencialidad del método de análisis. A pesar de que el diseño sustentable abarca una complejidad más amplia dependiendo de las fases en las que se intervenga en el desarrollo de la vivienda; diseño urbano, arquitectónico y bioclimático, variables que solo se tomaron en cuenta para la evaluación de un caso de estudio, influyen en gran medida en la tenencia y distribución y habitabilidad de la vivienda, pues consideran el futuro proceso de operación y explotación. Nos permite mostrar la situación de la vivienda y la nula relación con el entorno donde se desarrolla “porque no se ha pensado en diseño y materiales diferentes a los actuales, utilizados en gran parte de la solución de vivienda de interés social en Colombia”, implementando soluciones *genéricas* a problemas locales y asumiendo las externalidades que esto representa por los usuarios al plantear como medidas de mitigación diferentes soluciones.

El carácter conservador del sector de la construcción, el escaso apoyo público y la escasez de concientización social han contribuido a que el desarrollo de estas iniciativas haya sido muy limitado a pesar del gran crecimiento edificatorio experimentado en los últimos años. La implementación de estas medidas permitiría minimizar los impactos que genera la construcción en el medio ambiente y que ésta, contribuya de manera significativa a potenciar los recursos naturales que posee un país como Colombia que actualmente comercializa bonos de carbono a los países que producen mayor contaminación. Por lo tanto representaría un esfuerzo inicial la iniciativa, de determinar estándares mínimos de cumplimiento bajo estas características para mostrar los beneficios asociados a este tipo de proyectos, los cuales puedan incidir en el sector de la construcción para lograr un programa de viviendas con este enfoque.

BIBLIOGRAFÍA

Barrios, John., *Caracterización e interpretación de las condiciones climáticas en la zona de influencia de la estación meteorológica de la Universidad de Córdoba para el período Agosto de 1979 a Julio de 1992*. Tesis de licenciatura: Facultad de Ciencias Agrícolas: Universidad de Córdoba, Montería: 1993.

C. Chacón, O. Simbaqueva & H. Zapata., *Atlas de Radiación Solar de Colombia*, UPME – IDEAM: 2005”.

Correa Jaramillo, Alberto., *EDIFICACIONES CON SISTEMA CONSTRUCTIVO DE ADOBE. DETERMINACIÓN DEL CÁLCULO TÉRMICO PARA VIVIENDAS EN LA CIUDAD DE LOJA – ECUADOR*. Tesis de Maestría: Facultad de Arquitectura, división de estudios de posgrado: Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México: 2008.

Edwards, Brian. *Guía básica de la sostenibilidad*. Editorial Gustavo Gili SA, Barcelona: 2004.

GG. *UN VITRUBIO ECOLÓGICO PRINCIPIOS Y PRACTICAS DEL PROYECTO ARQUITECTÓNICO SOSTENIBLE*. Gustavo Gili, colección Arquitectura y Diseño + Ecología, Barcelona: 2007.

González Lobo, Carlos., *hacia una teoría, del proyecto arquitectónico*. Tesis Doctoral: Facultad de Arquitectura, división de estudios de posgrado: Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México: 2007.

González Lobo, Carlos., *Vivienda y ciudad posibles*, Colección Tecnologías para la vivienda de interés social Escala, Colombia: 1999.

Gonzalo, Guillermo., *Manual de arquitectura bioclimática*, NOBUKO, Tucumán: 2003.

J. Owen Lewis, *Arquitectura y sostenibilidad*. QUADERNS d’Arquitectura i Urbanisme: Las escalas de la sostenibilidad. Ed. 84, Edit. Formentera, S:A. Barcelona: 2000.

Ken Yeang, *Arquitectura ecológica: teoría y práctica*. QUADERNS d’Arquitectura i Urbanisme: Las escalas de la sostenibilidad. Ed. 84, Edit. Formentera, S:A. Barcelona: 2000.

Klein, Alexander., *Vivienda mínima: 1906 – 1957*. Traducción Reinald Bernet, et al., Colección Arquitectura/Perspectivas, Gustavo Gili, Barcelona: 1980.

McGraw Hill Construction. *Global Green Building Trends Smart Market Report*: 2008.

McGraw-Hill Construction., *Key Trends in the European and U.S. Construction Marketplace: Smart Market Report*: 2008.

Mercado, Teobaldis., *et al.*, *Estudio Agroclimático del Departamento de Córdoba*. Universidad de Córdoba, Montería: 2006.

Rodríguez Prampolini, Ida., *Juan O'gorman: arquitecto y pintor.*, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México: 1982.

Rodríguez Vargas, Sergio. *Propuesta metodológica para la evaluación social de proyectos de vivienda*. Tesis Maestría: Facultad de Ingeniería, división de estudios de posgrado, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México: 2007.

Rueda, Salvador, *Modelos de ciudad: indicadores básicos*, QUADERNS d'Arquitectura i Urbanisme: Las escalas de la sostenibilidad. Ed. 84, Barcelona. Edit. Formentera, S:A. 2000.

Salas Espíndola, Hermilo., *Arquitectura cambio global y desarrollo sustentable*. Tesis Doctorado: Facultad de Arquitectura, división de estudios de posgrado, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México: 2005.

Salcedo, Jaime. *URBANISMO HISPANOAMERICANO SIGLOS XVI, XVII Y XVIII - El modelo urbano aplicado a la América española su génesis y su desarrollo teórico y práctico*. Ed. CEJA, Universidad Javeriana, Bogotá, 1994.

Salcedo, Jaime., *URBANISMO HISPANOAMERICANO SIGLOS XVI, XVII Y XVIII - El modelo urbano aplicado a la América española su génesis y su desarrollo teórico y práctico*. Ed. CEJA, Universidad Javeriana, Bogotá, 1994.

Ugalde Monzalvo, Marisol., *Construcción de un Modelo para Evaluar la Aptitud de Renovación Sustentable en Áreas Urbanas Consolidadas: Climatización Natural para la Ciudad de Pachuca.*, Tesis Doctorado: Facultad de Arquitectura, división de estudios de posgrado: Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México: 2009.

Yeang, Ken., *Proyectar con la naturaleza*, Colección Arquitectura y Diseño + Ecología, Editorial Gustavo Gili, SA, Barcelona, 1999.

Artículos contenidos en publicaciones periódicas:

Américo Saldívar, V. *Comentario crítico a los artículos “medición de los indicadores de sustentabilidad: una perspectiva desde los países en desarrollo” y “medir la sostenibilidad: revisión sobre el arte de hacer que funcionen los indicadores”*. *Revista Investigación Económica*, Facultad de Economía UNAM; México. vol. LVII: 220, abril – junio de 1997.

Ding, K.C., *Sustainable construction, The role of environmental assessment tools*, *Journal of Environmental Management* 86 (2008); p 451–464.

González Couret, Dania. *Algo más sobre el diseño bioclimático*. Revista ENERGÍA y tú No. 36, Cuba: 2006.

Jaime, A. & Tinoco, R. *Métodos de valuación de externalidades ambientales provocadas por obras de ingeniería*. Revista INGENIERÍA Investigación y Tecnología, Facultad de Ingeniería, UNAM; México. Vol. VII, No. 2, abril-junio 2006.

Olgay, Victor., Herdt, Julee., *The application of ecosystems services criteria for green building assessment*, Science Direct, Solar Energy 77 (2004) 389–398.

Proactiva Medio Ambiente, *Plan Maestro de Cambio Climático – Montería Ciudad Verde 2019*. Revista: Mundo Proactiva N° 11 Septiembre 2011. Nilo Industria Grafica – Madrid.

Sogari, N., et al., *Análisis del Comportamiento Térmico de un Prototipo de Vivienda Familiar de Madera*, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA) Vol. 10. Argentina, 2006.

Artículos contenidos en Internet:

Amaya, Carlos Andrés, *Tenencia, distribución y valor de las viviendas colombianas a 2003*, www.banrep.gov.co/documentos/publicaciones/.

Autodesk Education Community, <http://students.autodesk.com/>.

Baño Nieva, Antonio y Alberto Vigil – Escalera del Pozo. *Guía de construcción sostenible*. Paralelo Edición. <http://www.ecohabitar.org/PDF/CCCConsSost.pdf>.

Calvo, Cristina., *Polémica en certificación de edificios*. <http://www.cnnexpansion.com/obras/pulso-de-la-construccion/polemica-en-certificacion-de-edificios>.

intervencionesenelpaisaje: *Canales* Zenúes,
http://intervencionesenelpaisaje.blogspot.mx/2012_03_01_archive.html.

Comisión nacional de vivienda, *Guiaconavi: Criterios e indicadores para los desarrollos habitacionales sustentables*, Primera Edición, Febrero 2008.
http://www.conavi.gob.mx/publicaciones/cuad_criterios_web.pdf, México D.F., México.

Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS), *Propuesta plan estratégico*, [http://www.cecodes.org.co/imgs/index/noticias/Borrador%20Propuesta%20Plan%20Estrat%E9gico-Docmento%20Interno%20\(2\).pdf](http://www.cecodes.org.co/imgs/index/noticias/Borrador%20Propuesta%20Plan%20Estrat%E9gico-Docmento%20Interno%20(2).pdf).

DANE, *Proyecciones Municipales y departamentales de población 2006-2020*. http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/proyepobla06_20/ProyeccionMunicipios2005_2020.xls.

De Garrido, Luis, *Los indicadores sostenibles de Luis de Garrido*, www.construible.es/images/archivos/indicadores_sostenibles_de_luis_de_garrido.pdf -.

ecoeficiente: *ecoMat*, <http://www.ecoeficiente.es/ecomatES>.

Energía medio ambiente y tecnología: *ARQUITECTURA, UN AHORRO ENERGÉTICO CON LOS ELEMENTOS MEDIO AMBIENTALES*. <http://emat0108.blogspot.com/>.

EuroPROFEM, *PARADIGMA DEL DESARROLLO HUMANO*: la centralidad de lo humano, http://www.europrofem.org/contri/2_05_es/cazes/09_cazes.htm.

Formula de neutralidad térmica propuesta por Auliciems & de Dear., sol-arq., *Modelos de confort simples*, <http://sol-arq.com/index.php/modelos-confort/modelos-simples>.

González Couret, Dania: *Algo más sobre el diseño bioclimático*, 2002, www.cubasolar.cu/biblioteca/energía/Energía36/HTML/articulo02.htm - 13k -.

Gutiérrez, Alejandro., *Ciudad a prueba de futuro*. <http://www.rseprohumanablog.cl/?p=288>.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi., http://geoportal.igac.gov.co/ssigl2.0/visor/galeria.req?mapald=22&title=Cartografia_Relieve.

NASA, *barometric pressure*, <http://eosweb.larc.nasa.gov>.

naturalfrequency, *THERMAL: HEAT BALANCE*, http://wiki.naturalfrequency.com/wiki/Heat_Balance.

OEMICINN, *Las emisiones de gases de efecto invernadero aumentan cada vez más rápido* http://www.oemicinn.es/area5/area11/news_item.2009-05-29.2928565827.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. *ENERGY EFFICIENCY Y RENEWABLE ENERGY*. http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/.

Wikipedia, *Montería*, <http://es.wikipedia.org/wiki/Monter%C3%ADa>.

D.R. © José David Hernández Sandoval, México, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), 2012.

Email: themellos_21@hotmail.com