La construcción bioclimática de vivienda urbana como medida de adaptación al cambio climático en las ciudades de Bogotá D.C. y Cali

Mauricio Alejandro Arroyo Narváez

Universidad Militar Nueva Granada

Facultad de Estudios a Distancia - FAEDIS -

Programa de Ingeniería Civil

Bogotá D.C., noviembre de 2016

La construcción bioclimática de vivienda urbana como medida de adaptación al cambio climático en las ciudades de Bogotá D.C. y Cali

Mauricio Alejandro Arroyo Narváez
Código: 7300307

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Civil

Director:

Ing. Jesús Ramos Castiblanco

Universidad Militar Nueva Granada

Facultad de Estudios a Distancia - FAEDIS -

Programa de Ingeniería Civil

Bogotá D.C., noviembre de 2016

Nota de aceptación

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Director

_____

Jurado

A la memoria de Isabel Narváez Padilla (1922-2012), forjadora de mi forma de ver el mundo; a mi madre Rosario Narváez, apoyo y aliento incondicionales; y a Willy, leal compañero en el camino de la vida.

Contenido

Pág.

Contenido **3**

Lista de figuras **5**

Lista de tablas **7**

Lista de símbolos y abreviaturas **8**

Resumen **9**

Introducción **10**

1. Aspectos preliminares **13**
1.1 El problema 13
1.2 Objetivos 13
1.2.1 Objetivo general 13
1.2.2 Objetivos específicos 13
1.3 Justificación 14
1.4 Metodología 14

2. El sistema climático y el efecto invernadero **17**
2.1 Factores y elementos del clima 17
2.1.1 Factores climáticos 18
2.1.2 Elementos del clima 19
2.2 Antecedentes del cambio climático 20
2.2.1 Los negacionistas y sus argumentos 24
2.3 Conceptualización y perspectivas del cambio climático 25
2.3.1 Conceptos fundamentales 25
2.3.2 La adaptación: una urgente necesidad 26

3. La construcción de vivienda urbana en un contexto de cambio climático **29**
3.1 La construcción bioclimática 29
3.1.1 Componentes ambientales 30
3.1.2 Factores y soluciones de construcción bioclimática 32
3.2 El proceso constructivo con enfoque bioclimático 44
3.3 Curitiba (Brasil), ciudad pionera en construcción bioclimática 46

4. La construcción bioclimática de vivienda urbana en Bogotá D.C. y Cali **49**
4.1 El caso de Bogotá D.C. 49

4.1.1 Situación de Bogotá D.C. frente al cambio climático 49
4.1.2 Prácticas de construcción bioclimática de vivienda recomendadas para Bogotá D.C. (año 2100) 53
4.2 El caso de Cali 64
4.2.1 Situación de Cali frente al cambio climático 64
4.2.2 Practicas sostenibles de construcción bioclimática de vivienda recomendadas para Cali (año 2100) 66

Conclusiones y recomendaciones 75
Conclusiones 75
Recomendaciones 76

Bibliografía 77

Lista de figuras

Pág.
Figura 2-1: Curva Keelling. (Buckley, Hopkins & Whitaker, 2004)..... 22
Figura 2-3: Conceptos claves sobre riesgo climático. (Elaboración propia) 26
Figura 3-1: Muro de inercia térmica. (EREN, 2015, p. 22)..... 34
Figura 3-2: Aleros y soportales. (EREN, 2015, p. 63)..... 37
Figura 3-3: Cubierta captadora simple. (EREN, 2015, p. 30) 38
Figura 3-4: Invernadero adosado. (EREN, 2015, p. 38) 38
Figura 3-5: Galería acristalada. (EREN, 2015, p. 47)..... 39
Figura 3-6: Muro trombe. (EREN, 2015, p. 55)..... 40
Figura 3-7: Capas de una cubierta verde. (Construdata, 2013)..... 41
Figura 3-8: Capas de un jardín vertical (Construdata, 2013)..... 42
Figura 3-9: Cueva adaptada como vivienda. (EREN, 2015, p. 15)..... 43
Figura 3-10: Espejo o lámina de agua exterior (EREN, 2015, p. 84)..... 44
Figura 3-11: Panorámica del centro de Curitiba (Up the Green, 2014) 46
Figura 3-12: Edificio con cubierta vegetal escalonada en el centro de Curitiba. (Qualinhabitat, 2011) 47
Figura 4-1: Detalle constructivo de un invernadero adosado sin protección. (EREN, 2015, p. 41) 54
Figura 4-2: Detalle constructivo de una galería acristalada sin protección. (EREN, 2015, p. 48)..... 55
Figura 4-3: Detalle constructivo del muro trombe simple. (EREN, 2015, p. 56)... 56
Figura 4-4: Mapa de riesgo de inundación de Bogotá (Ecourbanismo, 2014)..... 57
Figura 4-5: Detalle constructivo cubierta vegetal tipo aljibe (EREN, 2015, p. 73) 58
Figura 4-6: Áreas susceptibles de presentar islas de calor en Bogotá. (SDA, 2015) 59
Figura 4-7: Detalle constructivo de un muro de inercia térmica con sate. (EREN, 2015, p. 25)..... 60
Figura 4-8: Detalle constructivo pared vegetal extensiva de doble piel (EREN, 2015, p. 78)..... 61
Figura 4-9: Detalle constructivo de una cubierta ventilada. (EREN, 2015, p. 33) 62
Figura 4-10: Lámina de agua – cubierta inundable. (EREN, 2015, p. 86) 63
Figura 4-11: Mapa del área de inundación simulada para la ciudad de Cali. (Corporiesgos & Alcaldía de Cali, 2010)..... 67

Figura 4-12: Detalle constructivo cubierta vegetal intensiva. (EREN, 2015, p. 70) 68
Figura 4-13: Detalle constructivo construcción semienterrada. (EREN, 2015, p. 18) 70
Figura 4-14: Detalle constructivo cubierta vegetal extensiva en continuación con el terreno natural. (EREN, 2015, p. 70) 71
Figura 4-15: Detalle constructivo alero separado de la pared. (EREN, 2015, p. 64) 72
Figura 4-16: Detalle constructivo celosía cerámica humedecida en hueco. (EREN, 2015, p. 87) 73

Lista de tablas

Pág.

Tabla 3.1: Algunos valores de inercia térmica (Pérez & Muñoz, 2006) 34

Tabla 4.1: Cambios de temperatura y precipitaciones Cundinamarca 2011-2100 (IDEAM, 2015) 53

Tabla 4.2: Cambios de temperatura y precipitaciones Valle del Cauca 2011-2100 (IDEAM, 2015) 66

Tabla 4.3: Cuadro síntesis soluciones constructivas bioclimáticas (Elaboración propia) 74

Lista de símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Equivalencia SI
ha	Hectárea	10.000 m^2
°C	Grado centígrado	Grado Celsius
J	Joule	$Kg*m^2/s^2$
W	Watts	$Kg*m^2/s^3$
Pa	Pascal	$Kg/m*s^2$
Cal	Caloría	4,187 J

Abreviaturas

Abreviatura	Término
CVC	Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
EAAB	Empresa de Acueducto Alcantarillado y Aseo de Bogotá
EEP	Estructura Ecológica Principal
ENOS	Oscilación del Sur (Fenómeno del Niño)
EREN	Ente Regional de Energía de Castilla y León
GEI	Gases de Efecto Invernadero
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia
IDIGER	Instituto Distrital para la Gestión del Riesgo y Cambio Climático
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
MADS	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
SATE	Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior
SDA	Secretaría Distrital de Ambiente
SDP	Secretaría Distrital de Planeación
ZCIT	Zona de Convergencia Intertropical

.

Resumen

El cambio climático afectará a la mayor parte de las poblaciones del país y se manifestará con el incremento de las precipitaciones y temperaturas; y, en consecuencia, en el aumento de los riesgos de inundación y de olas de calor. Como medida de adaptación al fenómeno climático los diseñadores y constructores de vivienda urbana deben implementar técnicas de construcción bioclimáticas, es decir, prácticas que permitan mejorar el confort y la calidad de vida de las personas considerando y aprovechando el clima y el ambiente; y sin hacer excesivo uso de energía convencional. Mediante esta investigación se busca identificar algunas de las técnicas bioclimáticas funcionales para las ciudades Bogotá D.C. y Cali, considerando las condiciones climáticas previstas para el año 2100.

Palabras clave: Cambio climático, adaptación, bioclimática, construcción sostenible, vivienda urbana, ambiente.

Abstract

Climate change will affect most of the country's populations and will manifest itself with increased rainfall and temperatures; and, consequently, in increasing the risks of flooding and heat waves. As a measure of adaptation to the climatic phenomenon, urban housing designers and builders must implement bioclimatic construction techniques, that is, practices that improve the comfort and quality of life of people considering and taking advantage of the climate and the environment; and without making excessive use of conventional energy. This research seeks to determine some of the functional bioclimatic techniques for cities Bogotá D.C. and Cali, considering the climatic conditions foreseen for the year 2100.

Keywords: Climatic change, adaptation, bioclimatic, sustainable construction, urban housing, environment.

Introducción

Después de la firma del *Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático* (CMNUCC), realizada en la Conferencia de Río de 1992, han sido muchos los intentos por consolidar materialmente el objetivo de reducir los niveles de contaminación que una parte de la humanidad arroja a la atmosfera ocasionando el aumento de la temperatura media global. Sin embargo, el calentamiento global y la alteración de los patrones climáticos mundiales continúa su marcha inexorable. El año 2015 fue, según la Organización Meteorológica Mundial (OMM), el más caluroso del que se tiene registro; de la misma forma que lo ha sido el último quinquenio (2011-2015).

Éste fenómeno conocido como cambio climático, caracterizado por la variación irreversible de la temperatura global en la escala temporal geológica; en las últimas décadas ha registrado un aceleramiento inusitado. Sus impactos en los asentamientos humanos se acentúan cada vez más; situación que generará una problemática social, ambiental y sanitaria que afectará a toda población humana, especialmente a las grandes urbes y a los sectores sociales más vulnerables. En consecuencia, las ciudades se convierten en los centros de mayor impacto de los efectos derivados del fenómeno climático. La capacidad de los sistemas humanos y naturales para adaptarse a los impactos relacionados con el cambio de clima es un asunto que no solo compete a los científicos, también es un asunto de la rama del diseño y construcción de vivienda, y lo es en gran medida.

La construcción de vivienda urbana, es un proceso interdisciplinario en el que intervienen arquitectos, ingenieros, administradores de empresas, topógrafos, etc. Según Merrit, Kent & Ricketts, en su *Manual del Ingeniero Civil* (1999), cuando en este proceso los ingenieros civiles se desempeñan como administradores de la construcción, función que hace parte del campo de la ingeniería de la edificación (Merrit et al, 1999, sección 15.1), es fundamental estar bien informados sobre temas diversos como son la planificación urbana, el diseño arquitectónico y los diferentes sistemas de la edificación (eléctrico, estructural, hidrosanitario, etc.).

En Colombia la mayor parte de la construcción de vivienda urbana se ha desarrollado primordialmente en función de maximizar la utilidad económica en corto plazo y de satisfacer la necesidad de vivienda a través de prácticas informales de construcción; sin considerar la aplicación sistemática de criterios y soluciones bioclimáticos orientados a la adaptación a los cambios climáticos futuros. En este orden de ideas, la construcción bioclimática de vivienda urbana se constituye en

una práctica de vital importancia que, además de ofrecer a los residentes confort, bienestar y ahorro de componentes ambientales (suelo, agua, energía, materiales, etc.), también contribuye a la adaptación al cambio climático.

Bajo este contexto, el objetivo de este trabajo es identificar los principales criterios y prácticas bioclimáticas de construcción de vivienda aplicables a las ciudades de Bogotá D.C. y Cali, bajo unas condiciones climáticas proyectadas para el año 2100. Para esto, se hace una caracterización climática actual de cada ciudad y se plantean algunos escenarios de riesgo asociados al cambio climático; luego se definen los factores o criterios de construcción bioclimática y las practicas constructivas o soluciones más comunes aplicables a cada caso.

Así, conocer las generalidades del cambio climático como los principales criterios y prácticas de construcción bioclimática de vivienda urbana en el contexto de unas condiciones climáticas proyectadas para el año 2100 para las ciudades de Bogotá D.C. y Cali (la ciudad colombiana de clima cálido con mayor población); brinda a la comunidad una nueva perspectiva sobre la importancia del tema y proporciona a los futuros administradores de la construcción las bases conceptuales necesarias para la implementación de soluciones constructivas en proyectos de vivienda que contribuyan a la adaptación al cambio climático en los entornos urbanos.

Por otra parte, la investigación se plantea a través de un diseño metodológico mixto (cuantitativo y cualitativo) de tipo concurrente (simultáneo) que comprende las siguientes etapas: recolección y selección de la información; caracterización bioclimática de Bogotá D.C. y Cali, definición de criterios de construcción bioclimática, identificación de algunas prácticas comunes de construcción bioclimática y síntesis. Teniendo en cuenta que el fenómeno o problema del cambio climático y su relación con la construcción de la vivienda urbana son poco conocidos, el alcance de este trabajo es descriptivo y exploratorio; y hace parte del área de la ingeniería de la edificación y de la administración de la construcción.

Existen diversos estudios e investigaciones que han servido como soporte para uno o varios aspectos centrales de este trabajo. Entre estos están: La *Tercera Publicación Nacional sobre el Cambio Climático*, documento publicado por el IDEAM en el 2015 que sintetiza los avances del país en materia de cambio climático y contiene los resultados de los nuevos escenarios de cambio climático entre los años 2011 y 2100 para las cinco regiones naturales del país y para cada departamento de Colombia. El estudio de Fedesarrollo llamado *Ciudades y Cambio Climático en Colombia* (2013), que consiste en un análisis de la gestión en cambio climático de once ciudades de Colombia, entre ellas Bogotá D.C. y Cali. El manual llamado *Criterios Ambientales para el Diseño y la Construcción de Vivienda Urbana,* publicado en el año 2012 por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible que presenta un conjunto de propuestas de gestión ambiental en materia de diseño, construcción y uso de vivienda urbana, elabora una tipología de las ciudades según el clima, y hace recomendaciones de diseño y construcción bioclimática. Y, el documento llamado *Desarrollo Económico y Cambio Climático,*

publicado después de los eventos climáticos catastróficos de finales de 2010 e inicios de 2011 por la Fundación Friedrich Ebert en Colombia (FESCOL) y el Foro Nacional Ambiental, que compila algunos análisis y debates acerca de las políticas necesarias a corto y largo plazo para que el país se prepare y responda a los efectos del cambio climático.

Este trabajo está organizado en tres capítulos relacionados entre sí, que, además, presentan una coherencia propia que les permiten leerse de forma independiente. El primer capítulo comprende a una aproximación física e histórica al clima y al cambio climático, y una conceptualización sobre el riesgo y la adaptación al mismo. El segundo capítulo contiene los principales aspectos teóricos sobre la construcción de vivienda urbana desde la perspectiva bioclimática: componentes ambientales afectados, factores o criterios, el proceso constructivo en Colombia y una descripción general de Curitiba (Brasil), una ciudad latinoamericana pionera en la construcción bioclimática. Finalmente, el tercer capítulo presenta la situación de las ciudades de Bogotá D.C. y Cali frente a las condiciones climáticas actuales y proyectadas para el año 2100, sus escenarios más probables de riesgo derivados del cambio climático y, finalmente, las soluciones, practicas o técnicas de construcción bioclimática sugeridas para cada caso de estudio.

1. Aspectos preliminares

1.1 El problema

En Colombia la mayor parte de la construcción de vivienda urbana se ha desarrollado primordialmente en función de maximizar la utilidad económica en corto plazo y de satisfacer la necesidad de vivienda a través de prácticas informales de construcción; sin considerar la aplicación sistemática de criterios bioclimáticos orientados a la adaptación a los cambios climáticos futuros. Aunado a lo anterior, el desconocimiento y la falta de interés generalizado de la ciudadanía con respecto al fenómeno del cambio climático, el negacionismo de sus impactos y causas antrópicas, el acelerado crecimiento demográfico y su consecuente demanda habitacional; generan, entre otros, los siguientes efectos: deterioro de la estructura ecológica principal, incremento de la producción de residuos derivados de la construcción, crecimiento desordenado en las zonas de riesgo, deficiente cobertura de los servicios básicos; y en general un incremento de la vulnerabilidad ante los impactos del cambio climático.

Bajo este contexto, se plantea el siguiente problema: “Desconocimiento u omisión de criterios y prácticas de construcción bioclimática en la edificación de vivienda urbana”.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Identificar los criterios y las técnicas, prácticas o soluciones de construcción bioclimática más adecuados para las ciudades de Bogotá D.C. y Cali en el contexto de cambio climático del año 2100.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar desde el punto de vista bioclimático las ciudades de Bogotá y Cali con el clima actual y bajo las principales condiciones de cambio climático proyectadas para el año 2100.
- Determinar los factores o criterios bioclimáticos más idóneos a tenerse en cuenta en la construcción de vivienda urbana en los casos de estudio.

- Determinar algunas prácticas o soluciones técnicas más adecuadas para proporcionar inercia térmica en la vivienda en ambas ciudades.

1.3 Justificación

El cambio climático es un fenómeno irreversible caracterizado por la variación de la temperatura global en la escala temporal geológica; pero que en las últimas décadas ha registrado un aceleramiento inusitado. Sus impactos en los asentamientos humanos se acentúan cada vez más; situación que generará una problemática social, ambiental y sanitaria que afectará a toda población humana especialmente a las grandes urbes y a los sectores sociales más vulnerables. En consecuencia, las ciudades se convertirán en los centros de mayor impacto de los efectos derivados del fenómeno climático. La capacidad de los sistemas humanos y naturales para adaptarse a los impactos relacionados con el cambio de clima es un asunto que no solo compete a los científicos, también es un asunto de la rama del diseño y la construcción, y lo es en gran medida.

Como futuros administradores de la construcción, conocer los criterios de construcción bioclimática de vivienda urbana más apropiados en un contexto cambio climático proyectado al año 2100 para las ciudades de Bogotá D.C. y Cali; nos proporcionará conceptos y soluciones de construcción bioclimática para el desarrollo de proyectos de vivienda urbana que contribuirán a la adaptación al cambio climático de los entornos urbanos.

En este orden de ideas, la construcción bioclimática de vivienda urbana en Colombia se constituye en una práctica de vital importancia que, además de ofrecer a los residentes confort, bienestar y ahorro de componentes ambientales (agua, energía, materiales), contribuye a la adaptación al cambio climático.

1.4 Metodología

La investigación se plantea a través de un diseño metodológico mixto (cuantitativo y cualitativo) de tipo concurrente (simultáneo) y comprende las siguientes etapas:

1. *Recolección y selección de la información:* se recolectará la información cualitativa y cuantitativa de diversas fuentes y en forma simultánea de ambas ciudades, de tal forma que se posibilite obtener un panorama amplio de la situación bioclimática actual y su relación con la vulnerabilidad al cambio climático en cada caso.
2. *Caracterización bioclimática de la ciudad de Bogotá D.C. y Cali*. Teniendo en cuenta los enfoques planteados en el marco teórico se definen las principales características bioclimáticas de las ciudades en cuestión.
3. *Definición de criterios de construcción bioclimática*. Considerando la anterior caracterización y los pronósticos de cambio climático futuro (de acuerdo a

los pronósticos de las entidades especializadas) se definirán los criterios de construcción bioclimática de vivienda aplicables en cada ciudad.

4. *Identificación de algunas prácticas de construcción bioclimática*. De acuerdo con los criterios o factores de construcción bioclimática y los escenarios de riesgo climático con mayor probabilidad de ocurrencia; se identificarán y describirán algunas prácticas, soluciones o técnicas comunes de construcción recomendables para ejecutar en cada caso de estudio.
5. *Síntesis*. Se analizarán los resultados y se presentarán sintéticamente en un cuadro.

Una vez concluidas las etapas metodológicas de la investigación se busca obtener la relación de ciertos practicas o soluciones de construcción bioclimática de vivienda urbana que se ajusten a las condiciones de cambio climático futuro y a las características propias de cada ciudad objeto del estudio; soluciones que se plasmarán en un cuadro de síntesis.

2. El sistema climático y el efecto invernadero

Debido a sus causas y consecuencias globales, el cambio climático constituye uno de los grandes problemas ambientales del siglo XXI. La humanidad se enfrenta a una problemática sistémica de múltiples dimensiones que se ha hecho cada vez más evidente con el aumento de las temperaturas y la mayor frecuencia e intensidad de fenómenos climáticos extremos, como inundaciones, tormentas y sequias, entre otros (IPCC, 2013). Ante este panorama, es imperativo para la especie humana, especialmente la que se encuentra en condición de vulnerabilidad frente al clima cambiante, adaptarse preventivamente a sus nuevas condiciones.

En Colombia, el cambio climático es un tema relativamente reciente en el sector de la construcción y en el debate académico, caracterizado por la emergencia de unos discursos y de unas posturas dominantes que simplificaban y reducen el problema a un número limitado de dimensiones, especialmente a los procesos de mitigación. Para hacer una aproximación a este tema, en este capítulo se presentan una descripción general de algunos factores y elementos que determinan el clima y el tiempo meteorológico, ciertos antecedentes del cambio climático; y algunos conceptos y perspectivas haciendo especial énfasis en la adaptación.

2.1 Factores y elementos del clima

El clima o sistema climático es un componente del ambiente y consiste en un conjunto de condiciones de la atmósfera que promediadas durante periodos relativamente largos (más de 20 años) caracterizan una zona geográfica (Buckley, Hopkins & Whitaker, 2004). A la vez es uno de los determinantes más importantes en el diseño y construcción de los distintos tipos de edificaciones. El clima es un sistema complejo, compuesto por múltiples factores y elementos (variables) en constante interacción (Rodríguez, 2005, p. 14).

Antes de continuar es necesario hacer una diferenciación entre tiempo meteorológico o atmosférico (o simplemente tiempo) y clima: el *tiempo meteorológico* son aquellas condiciones de la atmosfera (meteoros) en un momento y lugar determinados, su distribución espacial y evolución temporal son

temporales (días, horas) (Garduño, 1998, p. 17); en cambio el *clima* se define como como el estado medio del tiempo, es decir, como el promedio de periodos de tiempos meteorológicos superiores a dos decenios (Garduño, 1998, p. 17). Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM) la apreciación del clima se hace en periodos superiores a treinta años. En un sentido más amplio el clima es una descripción del estado del sistema climático (IPCC, 2013).

2.1.1 Factores climáticos

Los *factores climáticos* son las condiciones físicas que identifican una región o un lugar en particular, y determinan su clima (Rodríguez, 2005). Los principales factores son:

Latitud: Es la distancia angular de un punto sobre la superficie terrestre medida desde el ecuador; se mide, por lo general, en grados, minutos y segundos. La importancia de la latitud es que determina la incidencia de los rayos solares sobre la tierra en un punto determinado (Rodríguez, 2005, p. 15.

Altitud: Es la distancia vertical de un plano horizontal hasta el nivel del mar; se mide en metros sobre el nivel del mar (msnm). Este factor también determina el clima de una zona o lugar, porque al aumentar la altitud desciende la temperatura de la atmósfera. En términos generales la temperatura disminuye 0,56 °C por cada 100,6 m de altitud (Rodríguez, 2005, p. 15). En la zona intertropical la altitud define lo que se conoce como pisos térmicos.

Relieve: Es la configuración superficial de la tierra. Determina las corrientes de aire, la insolación o asoleamiento de un lugar, su vegetación, el contenido de humedad del aire, etc. Por ejemplo, una superficie plana tendrá una máxima exposición a la radiación solar y a los vientos, mientras que un área con relieve de montaña generará dos zonas de asoleamiento dependiendo de la orientación y de la topografía, lo cual ocasionará dos zonas con diferencias de temperatura, exposición a los vientos y presión del aire (Rodríguez, 2005, p. 15).

Relación de tierra y agua: Es la distribución entre los cuerpos de agua y de tierra firme de un lugar. El agua, debido a su elevada capacidad de almacenamiento de energía térmica, es un elemento importante en la regulación del clima de un lugar. Las grandes masas de agua como los océanos, los lagos y las lagunas, entre otros, producen una serie de fenómenos climatológicos característicos como la brisa y la disminución de la oscilación térmica (Rodríguez, 2005, p. 15).

Corrientes oceánicas: Son el movimiento de traslación continuado y permanente de las aguas del océano en una dirección determinada. Se originan por el movimiento de rotación terrestre y la incidencia de los rayos solares. Según su origen, que puede ser de los polos o del ecuador, pueden ser frías o cálidas respectivamente. Estas tienden a afectar las condiciones meteorológicas de una región: temperatura, humedad, precipitación, etc. El fenómeno conocido como El

Niño tiene su origen en ellas y es el causante de fuertes sequias e inundaciones, así como de grandes variaciones en los patrones normales del clima en grandes regiones del planeta (Rodríguez, 2005, p. 16).

Modificaciones al entorno: Es el proceso dinámico de transformación del ambiente o ecosistema (Rodríguez, 2005, p. 16). Existen dos tipos de modificaciones: las de origen antrópico y las de origen natural. Las que genera el hombre se consideran las trasformaciones más impactantes en el corto plazo. Ejemplo de estas son: la construcción de una ciudad, una presa, una planta nuclear, una mina a cielo abierto, un aeropuerto, una autopista, etc. Intervenciones que pueden ocasionar variaciones significativas sobre el clima y en consecuencia en el ambiente de un lugar (Rodríguez, 2005, p. 16).

2.1.2 Elementos del clima

Por otra parte, los *elementos del clima* son las propiedades físicas de la atmósfera. Estas propiedades se caracterizan por estar en continuo cambio en razón a que se inscriben en ciclos dinámicos, donde la modificación de una variable afecta las demás (Rodríguez, 2005, p. 17). Los elementos más importantes, desde el punto de vista del diseño y la construcción de obras, son:

Temperatura: Parámetro que determina la transmisión del calor de un cuerpo a otro en forma comparativa mediante una escala (Rodríguez, 2005, p. 17). Para que un valor de temperatura tenga valides desde el punto de vista climatológico debe ser normalizado, es decir, debe ser un promedio de datos registrados en un mínimo de 20 años (Rodríguez, 2005, p. 17).

Humedad: Es el contenido porcentual de agua en el aire. La temperatura de saturación, o punto de rocío, es la temperatura en la que el aire debe ser enfriado para que comience la condensación. Este dato es importante, sobre todo cuando la temperatura de saturación se presenta al interior de un muro o cubierta, lo que ocasiona la humedad que afecta numerosos materiales (Rodríguez, 2005, p. 17).

Precipitación: Es el agua procedente de la atmósfera que, en forma sólida o líquida, se deposita sobre la superficie de la tierra. Esta puede tener forma de lluvia, nieve, granizo, llovizna, rocío, bruma o niebla. Se mide en milímetros de precipitación pluvial en un periodo de tiempo determinado, donde un milímetro es un litro por metro cuadrado. La precipitación incide en la forma, extensión, inclinación y materiales de las cubiertas. Además, puede suministrar agua no potable para ser reutilizada en diferentes usos (Rodríguez, 2005, p. 17).

Viento: Se forma por las corrientes de aire producidas en la atmósfera por causas naturales. Se mide sobre el eje horizontal y sus principales atributos son dirección, frecuencia y velocidad. En algunos climas, como los cálidos y húmedos, el viento es la principal forma de climatización. Su adecuado uso puede generar espacios confortables en lugares que de otro modo serian inhabitables. Su estudio se hace

por medio por medio de maquetas en túneles o cajas de viento (Rodríguez, 2005, p. 17).

Presión atmosférica: Se define como el peso del aire por unidad de superficie, expresada unidades de presión como pascales o bares. El aire como toda materia tiene un peso propio de 1.293 gramos por litro sobre el nivel del mar. Las diferencias de presión atmosférica dependen en forma inversamente proporcional de la altitud y la temperatura del aire de un determinado lugar. Bajas temperaturas conducen a altas presiones atmosféricas; y mayores altitudes conllevan menores presiones atmosféricas. El resultado de las diferencias de presión es una de las causas de los vientos (Rodríguez, 2005, p. 17).

Radiación solar: Es la cantidad total de energía solar que alcanza una fracción de la superficie terrestre en un plano horizontal. La radiación global está conformada por dos componentes: la radiación directa y la radiación difusa (aquella que se recibe de la atmosfera como consecuencia de la dispersión de la radiación solar en esta). Además, es la forma más abundante de energía disponible y puede usarse en el calentamiento de agua o de aire de manera sencilla y eficiente. En climas cálidos se debe evitar que la radiación incida en los espacios interiores y retardar su efecto sobre muros y cubiertas mediante una adecuada selección de materiales y espesores (Rodríguez, 2005, p. 18).

Nubosidad: Es el conjunto de partículas minúsculas de agua líquida o hielo suspendidas en la atmósfera en forma de masa. Se origina por la condensación del vapor de agua contenido en el aire hasta alcanzar su saturación y/o por la presencia de núcleos de condensación como el polvo, los humos, el polen, los cristales de sal, etc. Es un factor importante en el diseño, toda vez que afecta la radiación que incide en las superficies de una edificación y en los sistemas que emplean la radiación solar como los paneles solares y las fotoceldas (Rodríguez, 2005, p. 18).

Visibilidad: es la distancia de percepción visual que alcanza el ojo humano en razón de la pureza y turbiedad del aire. La visibilidad está en función de la cantidad de partículas, sólidas y líquidas, que se encuentran en suspensión en el aire, incluyendo los contaminantes naturales (polen, cenizas, etc.) y artificiales (polución, esmog, etc.) (Rodríguez, 2005, p. 18).

2.2 Antecedentes del cambio climático

Antiguamente el pensamiento predominante concebía al mundo a través de un modelo estático en el cual la posibilidad de cambio era remota, este paradigma aún hoy es muy común entre ciertos sectores de la población. Sin embargo, ya en el siglo V A.C., el griego Heráclito manifestaba una visión dinámica del mundo al afirmar que "todo se mueve". En la modernidad, con la teoría de la *selección natural* de Darwin (siglo XIX), las causas del cambio recibieron una mayor atención, de tal forma que actualmente se ha llegado al reconocimiento, por parte de la mayoría de científicos de distintas áreas, de la enorme incertidumbre que se presenta en la

determinación del comportamiento mutante y de las propiedades emergentes de los sistemas sometidos a la acción de múltiples variables y causas, conocidos como *sistemas complejos* (Carrizosa, p.4).

El clima es uno de los sistemas más complejos. Está compuesto por otros subsistemas también complejos (atmósfera, hidrosfera, criósfera[1], litosfera y biosfera, etc.); y se caracteriza por su variabilidad en la escala temporal geológica, es decir, por su comportamiento cambiante en el transcurso de largos periodos de tiempo del que sólo queda registro en las rocas y en el hielo. En las últimas décadas esta variación ha registrado un aceleramiento inusitado; y a este fenómeno se le ha llamado "*cambio climático*" o "*cambios climáticos*" (Garduño, 1998, p. 130). En la actualidad estos están sucediendo en intervalos de tiempo inferiores a la longevidad media humana, razón por la cual se han hecho más evidentes (Jancovici, 2010, p. 26). Esto se debe al fenómeno geodinámico conocido con el nombre de efecto invernadero.

El *efecto invernadero* consiste un fenómeno atmosférico en el cual ciertos gases, llamados de efecto invernadero o GEI[2], retienen parte de la energía emitida por la superficie de la Tierra tras haber sido calentada por la radiación solar, produciendo un efecto de aumento de la temperatura similar al que ocurre en un invernadero para el cultivo de plantas. Su formulación como teoría científica se atribuye al sueco Svante Arrhenius, quien, en 1896, relacionó por primera vez la cantidad de dióxido de carbono (CO_2) y la cantidad de vapor de agua presente en la atmosfera con la disminución o el aumento de la temperatura global. Sus cálculos arrojaron que si se duplicaba el CO_2 en la atmósfera la temperatura del planeta subiría entre 5 y 6 °C (Weart, 2006). Sin embargo, en los albores del siglo XX la mayoría de los científicos pensaba que los cálculos de Arrhenius eran equivocados. En ese entonces se consideraba que los volcanes eran los mayores emisores de CO_2 a la atmósfera y que la actividad humana era insignificante para alterar la composición atmosférica y en consecuencia la temperatura regional o global (Weart, 2006, p. 32). Postura que todavía muchos sectores comparten.

Fue hasta 1943 cuando el físico especialista en vapor Guy Stewart Callendar desempolvó la teoría de Arrhenius y la adaptó a los conocimientos de aquel entonces. Éste realizó algunas correcciones en lo referente a la absorción oceánica de CO_2, y estimó que la temperatura del planeta aumentaría 0.03 ºC por año. Callendar se aproximó mucho a la realidad ya que hoy se sabe que durante la segunda mitad del siglo XX subió 0.05ºC (Weart, 2006).

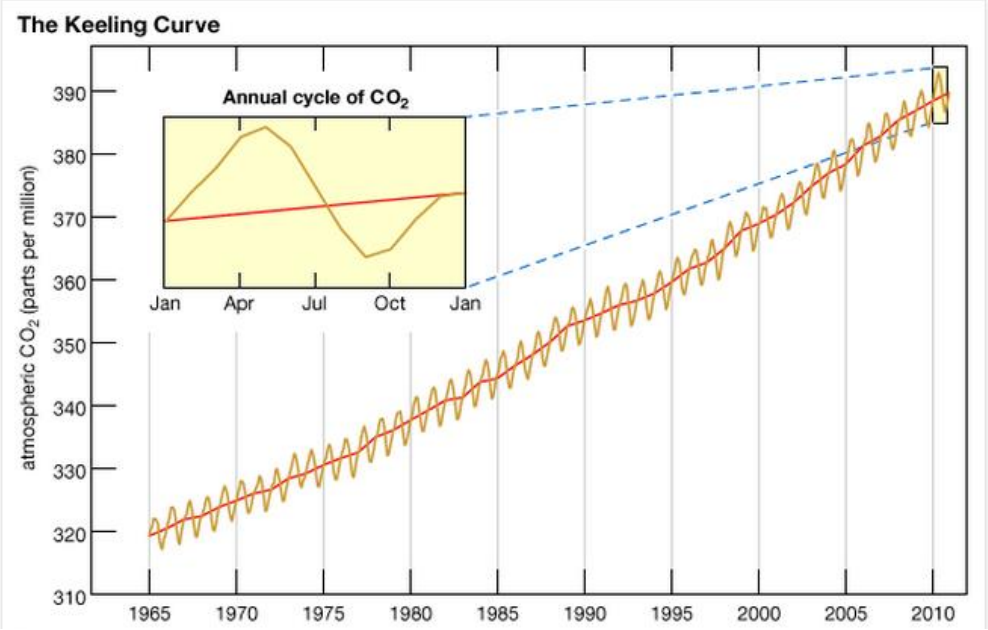
---

[1] Se denomina criósfera a la cubierta conjunta de hielo y nieve que ocupa parcialmente continentes y océanos; se refiere primordialmente a los casquetes polares, pero comprende también los glaciares andinos y alpinos, entre otros. (Garduño, 1998)

[2] Los principales GEI son: el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el óxido nitroso (NO_2), los hidrofluorocarbonados (HFC), los perfluorocarbonados (PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF_6).

En 1948, con la aparición de la técnica de espectrofotometría de infrarrojos[3] los científicos se percataron de la capacidad del CO_2 de absorber radiación infrarroja, contribuyendo así al efecto invernadero. En 1958 el científico independiente Charles Keeling se puso a la tarea de estudiar experimentalmente los planteamientos de Arrhenius y medir los niveles históricos de CO_2 de la atmósfera en dos lugares distantes del planeta: Mauna Loa (Hawái) y la Antártida (Weart, 2006). Como resultado de estos experimentos se obtiene la legendaria curva conocida como la *curva Keeling.* Gráfica que relaciona el tiempo en años contra la concentración atmosférica de CO_2 en ppm (partes por millón) y que muestra el incremento exponencial de la concentración de este GEI en la atmosfera ocurrido en las últimas décadas (Figura 2-1).

Figura 2-1: Curva Keeling. (IPCC, 2013)



Para determinar un historial aproximado del clima del pasado remoto (paleoclima), los climatólogos han diseñado varios métodos indirectos, entre los cuales tenemos: evidencias de documentos históricos, anillos de los árboles, cambios en los volúmenes de las masas de hielo y en el nivel de los océanos, análisis de polen fósil y movimientos de los glaciales. Uno de los métodos más efectivos consiste en el estudio de las concentraciones de ciertos elementos químicos en núcleos helados y sedimentos del suelo marino (Masters & Ela, 2008, p. 523). Desde mediados del siglo XIX los registros de temperatura están basados en medidas reales tomadas en estaciones meteorológicas. Recientemente se ha

[3] La espectrofotometría de rayos infrarrojos se trata de una técnica de análisis empleada para obtener información de los procesos de absorción y emisión que actúan sobre las moléculas. Se fundamenta en la interacción de la materia con la radiación (LSAP, n.d.).

implementado el uso de satélites para hacer estas mediciones (Masters & Ela, 2008, p. 527).

En 1998 el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) crearon el *Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), organismo científico bajo auspicio de la ONU, cuyo propósito es proveer a la humanidad de los conocimientos sobre el cambio climático y sus posibles impactos ambientales y socio-económicos. Actualmente 195 países son miembros del IPCC, incluido Colombia. Desde 1990 este organismo proporciona a los responsables de políticas públicas las evaluaciones científicas y técnicas, informes especiales, documentos técnicos, informes metodológicos y otros productos que se han convertido en fuentes de referencia autorizadas en las investigaciones climáticas. El IPCC está organizado en tres grupos de trabajo: el Grupo de Trabajo I encargado de las bases científicas, el Grupo de Trabajo II que se ocupa de los temas referentes a adaptación y vulnerabilidad; y el Grupo de Trabajo III que desarrolla el tema de mitigación. Sobre el trabajo adelantado por el grupo II se hará referencia más adelante.

Según el quinto informe de evaluación del IPCC (2013, p. 19) las proyecciones de los cambios climáticos, elaboradas a partir de modelos que simulan variaciones climáticas basadas en escenarios de forzamientos antropógenos[4], indican que:

- Las emisiones continuas de gases de efecto invernadero causarán un mayor calentamiento y nuevos cambios en todos los componentes del sistema climático.
- Es probable que, para fines del siglo XXI (2100), la temperatura global en superficie sea superior en un rango de 1,5 ºC a 2 ºC a la del período entre 1850 y 1900. Este calentamiento no será uniforme entre las distintas regiones del planeta.
- Los cambios que se producirán en el ciclo global del agua no serán uniformes. Se esperan desajustes en los ciclos de las precipitaciones y las sequías.
- Durante el siglo XXI los océanos del planeta seguirán calentándose desde la superficie hasta las capas más profundas. Este calentamiento afectará el sistema de corrientes oceánicas.
- A lo largo del siglo XXI el volumen global de los glaciares continuará reduciéndose.
- El nivel medio global del mar seguirá aumentando.
- El cambio climático agudizará el aumento de CO_2 en la atmósfera. Los océanos aumentarán su nivel de acidez.

[4] Escenarios de forzamientos antropógeno: “Representación plausible y a menudo simplificada del clima futuro, […], que se construye para ser utilizada de forma explícita en la investigación de las consecuencias potenciales del cambio climático antropogénico.” (IPCC, 2013)

- Aunque en este momento pararan las emisiones de CO_2 (algo que no sucederá), las emisiones acumuladas perdurarán en la atmósfera durante muchos siglos. Esto indica la inminente realidad del cambio climático debido a las emisiones de GEI pasadas, presentes y futuras.

2.2.1 Los negacionistas y sus argumentos

Aunque el cambio climático en las últimas décadas ha sido ampliamente documentado y existen muchas evidencias que describen sus tendencias generales de comportamiento; su estudio, como sucede con todo fenómeno complejo, conlleva un cierto nivel de incertidumbre en lo que respecta a la precisión (temporal y espacial) de los pronósticos e impactos (IPCC, 2013, p.17). En este sentido, a pesar de que el fenómeno ha sido aceptado por la mayor parte de los científicos de diversas áreas asociadas a las Ciencias de la Tierra; se presentan todavía posturas negacionistas[5] del cambio climático que cuestionan sus causas, evidencias y proyecciones. Entre sus principales autores están Der Spiegel, David Legates, Sherwood B. Idso, Nigel Lawson y Christopher Horner. La mayoría de estas posturas defienden, abierta o subrepticiamente, el modelo de producción industrial predominante. De acuerdo a Giddens (2010) entre sus principales argumentos están:

- "El calentamiento moderno es moderado y no está causado por el hombre." El aumento de temperaturas observado en la actualidad no es nada nuevo. El clima del mundo siempre ha estado en cambio permanente. Una de sus causas son las transformaciones de las manchas solares y las erupciones volcánicas. (Der Spiegel)
- "Las conclusiones y proyecciones del IPCC son erróneas". Hay demasiados individuos y grupos interesados en pronosticar cataclismos y desastres. Solo la tercera parte de quienes producen la información del IPCC son verdaderos científicos, la mayoría son burócratas gubernamentales. Todo lo que no encaja en la tesis del cambio climático por acción humana es suprimido o ignorado. (Dennis T. Avery)
- "El cambio climático es real, pero no amerita tanta relevancia." (Bjorn Lomborg) Algunos autores, aunque reconocen que el cambio climático es un fenómeno real y ha sido acelerado por las actividades humanas, cuestionan la idea de que los riesgos asociados al cambio climático deban tener prioridad sobre los demás, como la pobreza, el VIH y la proliferación de armamento nuclear. (Giddens, 2010)
- "El cambio climático es una estrategia para generar miedo y vender soluciones" (Timothy Ball). Otros autores sugieren que se está promoviendo

[5] Diferencia entre negacionismo y escepticismo: El negacionismo es el rechazo a priori de las ideas sin consideración objetiva. El escepticismo, en cambio, promueve la investigación científica y crítica, y el uso de la razón en el examen de afirmaciones controvertidas y extraordinarias (Comité para la Investigación Escéptica, 2014).

el miedo a través del cambio climático. Un miedo infundado que busca ser introducido en los imaginarios colectivos con fines económicos.

- "No es el CO_2". El clima cambia con una periodicidad de 1.500 años y es imparable. Los próximos 20 o 30 años serán de enfriamiento. (Der Spiegel). Con respecto a la producción industrial los negacionistas de cambio climático afirman que el CO_2 y los demás GEI no tienen repercusiones de valor en el clima y que es necesario aprovechar los recursos naturales que ofrece el subsuelo en forma de combustibles fósiles para aumentar los niveles de producción y mantener un crecimiento económico estable, garantizando así el progreso de la humanidad.

2.3 Conceptualización y perspectivas del cambio climático

En Colombia, el cambio climático es un tema relativamente nuevo en el campo académico, empresarial y político; en el que confluyen múltiples ciencias, disciplinas e intereses, generando diversas posturas, enfoques, debates y conceptualizaciones con respecto los aspectos que lo definen. Teniendo en cuenta el alcance de este trabajo de grado se hará un mayor énfasis en los conceptos y enfoques en torno a la adaptación.

2.3.1 Conceptos fundamentales

Cuando hablamos de cambio climático uno de los debates más controvertidos se sitúa en torno al uso de los términos: riesgo, vulnerabilidad, mitigación, adaptación y resiliencia; debido a la existencia de diversas definiciones y enfoques. Términos que por estar interrelacionados son empleados frecuentemente de manera intercambiable, lo cual causa confusión. Para efectos de unificar criterios a continuación se presenta una breve definición de estos términos desde la perspectiva planteada por el IPCC en sus documentos.

Se define como *vulnerabilidad* a aquella situación de "propensión o predisposición a ser afectado negativamente. [...], comprende una variedad de conceptos y elementos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación." (IPCC, 2014, p. 9) En este sentido, la vulnerabilidad al cambio climático es un estado o situación negativa de un sistema que puede ser incrementada notoriamente por la falta de adaptación. Razón por la cual la noción de adaptación juega un papel muy importante en el análisis de la vulnerabilidad. Más adelante se abordará esta relación (adaptación-vulnerabilidad) con mayor profundidad.

Ahora bien, siguiendo la línea conceptual marcada en los últimos años por el IPCC, la *adaptación al cambio climático* se plantea como el "proceso de ajuste al clima" (IPCC, 2014, p. 9) actual o futuro y a sus impactos. "En los sistemas humanos, la adaptación trata de moderar o evitar los daños o aprovechar las oportunidades

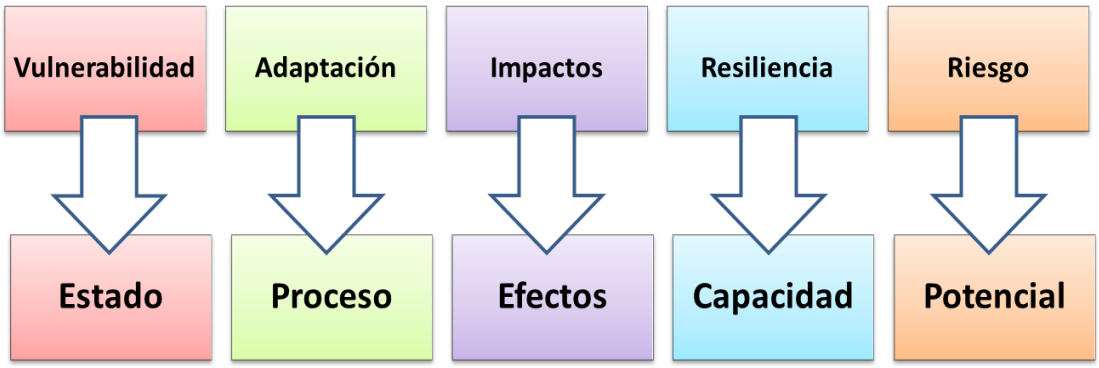
beneficiosas. En algunos sistemas naturales, la intervención humana puede facilitar el ajuste al clima proyectado y a sus efectos." (IPCC, 2014, p. 9)

Complementando el anterior término, definimos los *impactos* como aquellos efectos en los sistemas naturales y humanos causados por episodios meteorológicos y climáticos extremos[6] y del cambio climático (IPCC, 2014, p. 5).

Por otra parte, la capacidad que tienen los sistemas humano-naturales de afrontar un evento, tendencia o perturbación peligrosa (negativa), recuperarse y reorganizarse de tal modo que se mantengan su función, identidad y estructura esencial, se denomina *resiliencia.*

Finalmente, el *riesgo* se define como un potencial representado por la probabilidad de la ocurrencia de sucesos peligrosos o amenazas multiplicada por la vulnerabilidad y la exposición (IPCC, 2014, p. 9). Es decir, el riesgo aumenta directamente en la medida en que la vulnerabilidad de un sistema expuesto a una amenaza es mayor. Para dar una mayor claridad, en la figura 2-2 se presenta esquemáticamente los términos antes mencionados relacionados con las palabras claves que los definen.

Figura 2-2: Conceptos claves sobre riesgo climático. (Elaboración propia)



2.3.2 La adaptación: una urgente necesidad

Ahora bien, para reducir la vulnerabilidad del sistema humano-natural ante el cambio climático se requieren medidas tanto de mitigación como de adaptación. Entendiéndose por *mitigación* como el proceso encaminado a reducir las emisiones de origen antropogénico de GEI; y por adaptación como el proceso de ajuste de los

[6] Un episodio meteorológico extremo es aquel evento meteorológico raro o infrecuente según su distribución estadística para un lugar determinado. Sucede cuando una condición atmosférica extrema persiste durante cierto tiempo (por ejemplo, durante una estación), especialmente si arroja un promedio que constituye en sí mismo un valor extremo (IPCC, 2007, p. 81).

sistemas humanos y naturales a las condiciones climáticas actuales o futuras, y a sus impactos (IPCC, 2014, p. 9).

Sin embargo, en las últimas décadas, a pesar del conocimiento del problema del efecto invernadero y sus consecuencias, las emisiones de GEI han aumentado. Se ha llegado a un punto de no retorno tal que, aunque en este momento se suspendieran todas las emisiones, no se detendría el fenómeno de cambio climático. Esto debido a la gran cantidad de toneladas de GEI que se encuentran suspendidas en la atmosfera. Según el mismo IPCC "incluso los esfuerzos de mitigación más estrictos no podrían evitar el avance del cambio climático en las próximas décadas" (2015, párr. 1). No obstante, la mitigación es completamente necesaria porque sí únicamente las sociedades se concentran en la adaptación, descuidando la mitigación, las actividades humanas continuarían sobrecargando la atmósfera de GEI y en consecuencia se forzaría aún más el efecto invernadero. De tal forma, la adaptación no sería suficiente e implicaría un costo social, ambiental y económico demasiado alto.

Teniendo en cuenta que Colombia es un país catalogado desde el punto de vista del desarrollo económico como "en vía de desarrollo", que dispone de una precaria industria que, en comparación con los principales emisores como EE.UU. y China[7], no descarga emisiones significativas de GEI a la atmósfera, y sin desconocer la importancia de la mitigación; el presente trabajo se enfoca en la construcción bioclimática de vivienda urbana como medida de adaptación al cambio climático. Sin ser fatalistas, los beneficios de la mitigación para Colombia son inciertos y distantes pero la necesidad de adaptación es urgente (Alfaro, 2009).

- Adaptación en entornos urbanos

Las concentraciones de población en centros urbanos a nivel mundial en el año 2014 fueron del 54% y se prevé que en el 2050 serán del 66% (Naciones Unidas, 2014). En Latinoamérica esta cifra llegó en 2005 al 78, 8% (CEPAL, 2013). Por tanto, gran parte de los riesgos climáticos globales emergentes se concentran en las zonas urbanas. Es por ello, que el proceso de adaptación de las ciudades requiere "precisión e inserción en la planificación sectorial y territorial" y el reconocimiento de la presencia de un problema ambiental de alcance global (Barton, 2009).

Con relación a la adaptación de las áreas urbanas, el Grupo de Trabajo II del IPCC aportó una serie de lineamientos y orientaciones las cuales se consignaron en el *Quinto Informe de Evaluación sobre el Cambio Climático* (capítulo 8) de 2014. Entre estas, los más importantes son:

[7] Entre los años 1990 y 2010 Estados Unidos (17,9 %) y China (14,9 %) descargaron sobre la atmosfera terrestre el 32,8 % del total de las emisiones mundiales de GEI. (IPCC, 2013, p.215)

- Los gobiernos urbanos están en centro de una exitosa adaptación porque esta depende en gran medida de su integración en las inversiones locales, en las políticas y en los marcos regulatorios.
- La adaptación basada en ecosistemas es un elemento clave para la resiliencia urbana. En las zonas urbanas pretende ir más allá de un enfoque en árboles en las calles y parques, contempla el papel de los ecosistemas nativos, la biodiversidad y los servicios ecosistémicos como componentes claves para la adaptación y reducción de la vulnerabilidad de los ecosistemas y personas.
- La gestión del riesgo de desastres es una base sólida para construir una adaptación efectiva.
- Las medidas de seguridad alimentaria relacionadas con la adaptación urbana reducen la vulnerabilidad climática, especialmente para las personas de más bajos recursos.
- La implementación de medidas de urbanismo y construcción sostenible[8].
- Impulsar y promover el desarrollo de viviendas de buena calidad, asequibles, bien situadas, construidas con características bioclimáticas[9].
- Reducir el déficit de servicios básicos, especialmente de saneamiento y agua potable y construir sistemas de drenaje pluvial de alta capacidad.
- Construcción de capacidades humanas e institucionales para la adaptación especialmente a nivel local.
- Planificación y ordenamiento territorial a largo plazo considerando las condiciones de un clima cambiante.
- Disponer de soluciones de vivienda y medidas de preparación ante desastres que contemplen una adecuada gestión de residuos y aguas pluviales.

---

[8] Urbanismo sostenible o ecourbanismo: Conjunto de decisiones y actuaciones de planificación, desarrollo, construcción y adecuación de las ciudades, orientadas a minimizar los impactos ambientales donde la relación de los ambientes naturales y construidos es equilibrada y sus infraestructuras utilizan sus recursos de manera segura y eficiente.
Construcción Sostenible: Conjunto de acciones de construcción que garantizan el uso eficiente, el aprovechamiento sostenible de los recursos y el mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes. Implica, adoptar nuevas prácticas en el ciclo de vida de las edificaciones, de diseño, construcción y procesos de operación que reduzcan el mantenimiento, disminuyan el consumo energético, promueva la energía renovable y reduzca al máximo las emisiones y residuos.

[9] La construcción bioclimática es uno de los procesos del urbanismo sostenible; consiste en una técnica que considera en sus procesos los componentes ambientales del entorno: el clima del lugar, las condiciones atmosféricas, la vegetación, etc.; para construir edificaciones que ofrezcan confort, bienestar y seguridad, así como un menor consumo de energía convencional.

3. La construcción de vivienda urbana en un contexto de cambio climático

Según el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), para el año 2030 dos tercios de la población mundial vivirán en ciudades. En el contexto colombiano, un estudio realizado por el Banco Mundial (2012) indica que el rápido crecimiento urbano ha sido constante en las últimas décadas, puesto que el 75 % de la población vive en ciudades, comparado con el 31 % que vivía en 1938. (Rúa, 2014, p. 20). Convirtiéndose así las ciudades en el motor del crecimiento económico de Colombia.

De acuerdo a las proyecciones del IPCC (2014) los grandes conglomerados urbanos serán los más afectados por los impactos negativos del cambio climático. Como se vio en el capítulo anterior, entre las medidas que se sugieren para adaptar las ciudades están las de adelantar prácticas de construcción y urbanismo sostenible con perspectiva de cambio climático. Dentro de estas prácticas están las de construcción bioclimática.

En este capítulo se abordarán las generalidades de la construcción bioclimática sus componentes ambientales (recursos naturales) y principales factores o criterios; las etapas del proceso constructivo y algunas soluciones o prácticas de construcción bioclimáticas; y finalmente se hará una breve descripción de la Curitiba (Brasil), una ciudad pionera en Latinoamérica en materia de construcción bioclimática.

3.1 La construcción bioclimática

La construcción bioclimática es uno de los procesos constitutivos del urbanismo sostenible; no es ninguna técnica especial ni sofisticada, sino simplemente aquella que mediante ingeniosas soluciones incorpora en sus procesos los componentes de la naturaleza: agua, suelo, materiales y energía; y las condiciones ambientales del entorno: el relieve, las condiciones atmosféricas (insolación, viento, humedad), la vegetación, etc.; para construir edificaciones que ofrezcan confort, bienestar y seguridad; así como un menor consumo de energía convencional (Casa renovable, 2015). En otras palabras, lo que busca la construcción bioclimática es sacar el máximo provecho de las condiciones del entorno y de los componentes ambientales.

3.1.1 Componentes ambientales

El agua, el suelo, los materiales y la energía son, entre otros, componentes cíclicos naturales que brindan las condiciones favorables para el hábitat (Rúa, 2014, p.39). A su vez son los componentes primarios de la edificación por su interrelación mutua y porque a partir de ellos se generan los mayores impactos ambientales en el proceso de producción de vivienda (MADS, 2012, p. 66). Previa transformación de dichos elementos, luego del consumo humano, se producen residuos líquidos y sólidos como elementos de salida; y escombros al final de la vida útil de las edificaciones (Rúa, 2014, p.39). Con respecto a los componentes ambientales empleados en la labor constructiva de edificaciones, nuestro deber, como administradores de la construcción, es racionalizar su uso, sustituir con sistemas alternos y manejar el impacto ambiental mediante soluciones pasivas sostenibles.

- Agua

El *agua* en los procesos constructivos es un elemento indispensable que está presente en la mayoría de los ítems. Es un recurso que por lo general se consume de forma irracional por falta de control en obra y por mediciones y estructuras tarifarias inadecuadas (Rúa, 2014, p.42), no dependiendo este último aspecto del constructor. En la fase operativa de la edificación también constituye el elemento más importante para garantizar la habitabilidad. Su empleo debe orientarse a racionalizar el consumo, adoptar usos alternativos y reducir los vertimientos (MADS, 2012, P. 68).

Racionalizar el consumo del agua mediante la implementación de dispositivos para reducir el consumo y el desperdicio de agua en labores domésticas. Entre estos están los reguladores, aspersores y aparatos sanitarios de bajo consumo (menor de nueve litros, y la instalación de redes hidráulicas y sanitarias más eficientes (MADS, 2012, P. 68). *Adoptar usos alternativos del agua* con el objeto de incluir fuentes de abastecimiento alternas como la captación y almacenamiento de aguas lluvias y aguas subterráneas y la recirculación de aguas grises[10] (MADS, 2012, p. 68) para ser empleadas en actividades que no requieran potabilización. Las aguas lluvias son una alternativa para las regiones secas y pueden ser purificadas para consumo humano con la filtración por arena, carbón activado o antracita. El uso del agua subterránea se prevé como la principal fuente de abastecimiento para zonas como La Guajira, el Magdalena Medio la Isla de San Andrés y la Sabana de Bogotá (MADS, 2012, p. 68). En el proceso constructivo y operativo (vida útil) de las viviendas se debe propender por *reducir el caudal de vertimientos* y su carga contaminante mediante la separación de aguas lluvias y aguas servidas y el empleo de trampas de sólidos y de grasas antes ser vertidas en las redes de alcantarillado.

[10] Se entiende por aguas grises las que provienen de duchas, lavamanos y lavaderos, a las que se les puede aplicar un tratamiento sencillo consistente en el uso de filtros y trampas de grasa y sólidos (MADS, 2012, p. 68).

Entre los principales problemas asociados al agua que se presentan en la mayoría de las ciudades colombianas están: cobertura insuficiente de agua potable y saneamiento básico; deficiente calidad de los servicios de acueducto, desperdicios, inundaciones en épocas de invierno y contaminación (Rúa, 2014, p.40).

- Suelo

El *suelo* es la parte superficial de la corteza terrestre biológicamente activa y sobre la cual se apoyan las edificaciones, entre otras estructuras. El uso de este componente ambiental no renovable cobra especial importancia en las fases de planeación y diseño, ya que se relacionan con la adecuada localización del proyecto, el respeto a las áreas de protección ambiental, la optimización de su uso y la prevención de los impactos (MADS, 2012, p. 80). En este sentido, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2012) propone que el uso del suelo para la construcción de vivienda urbana se base en los siguientes objetivos: racionalizar el uso, identificar alternativas de restitución y ocupación; y manejar y prevenir el impacto ambiental.

- Materiales

En todo proceso constructivo intervienen mano de obra, personal o con la intervención de instrumentos; y materiales de construcción. La mayoría de los materiales son de origen inorgánico (mineral) y algunos de origen orgánico (vegetal); otros resultan de la combinación de los anteriores. La actividad constructiva es la principal consumidora de gravas, recebos, arenas y arcillas, así como de metales diversos. Entre los principales usos dados a los materiales en la construcción de vivienda urbana están: rellenos, fundaciones, capas aisladoras, mampostería, estructuras, cubiertas, entrepisos, contrapisos, pisos y zócalos, revestimientos, circulaciones horizontales y verticales, aberturas y cierres, y pinturas (Nieto, 2012, p. 105).

Los materiales requeridos para construir la infraestructura urbana y las edificaciones, han producido efectos erosivos en los suelos que los proveen, efectos que en las últimas décadas se han intensificado notoriamente debido al crecimiento demográfico y el consecuente crecimiento urbano (Rúa, 2014, p.39). Con respecto a la explotación uso y deshecho de los materiales destinados a la construcción de viviendas se identifican los siguientes problemas: generación de procesos erosivos, contaminación del suelo, manejo inadecuado de escombros (no se reutilizan), transformación y uso de materiales inadecuados y contaminantes (Rúa, 2014, p.40). Nuestra sociedad en general carece de la cultura del reciclaje y la reutilización de los materiales de construcción.

La selección de los materiales debe basarse en aspectos como: la estética, el rendimiento, las propiedades térmicas, la disponibilidad a nivel local y los impactos ambientales, locales y globales, generados en su producción (MADS, 2012, p. 99).

En la etapa de diseño debe incluirse todas las definiciones y detalles de los materiales a utilizar, de tal manera que estas indicaciones puedan ejecutarse de manera efectiva en la etapa constructiva (MADS, 2012, p. 81). Bajo estos criterios la selección y empleo de los materiales de construcción debe orientarse a los siguientes objetivos: racionalizar el uso, sustituir materiales y procesos de alto impacto y manejar el impacto ambiental (MADS, 2012, p. 100).

- Energía

En los procesos constructivos, la energía más usada es la eléctrica de naturaleza fósil e hídrica, y se destina principalmente a la iluminación y a la operación de maquinaria. En este sentido, un proyecto sostenible buscará el aprovechamiento de fuentes alternativas como la eólica y la solar, la iluminación natural y la incorporación de conceptos de bioclimática (MADS, 2012, p. 111). Luego, cuando la edificación entra en la fase operativa el consumo de energía continúa y puede aumentar si no se consideran unas medidas de optimización y ahorro eficaces.

Entre otras problemáticas derivadas de la generación y uso de las energías en la construcción están la falta de mecanismos que contribuyan a la eficiencia energética para reducir el consumo mensual de electricidad en viviendas, locales comerciales, industrias, etc.; la falta de uso de energías renovables y la no contemplación de la demanda energética de la construcción en la planeación. En este orden de ideas, las medidas para el ahorro y uso eficiente de la energía se basan en los siguientes objetivos básicos: racionalizar el uso, sustituir la energía convencional con sistemas energéticos alternativos y manejar el impacto ambiental por consumo energético (MADS, 2012, p. 111).

Las viviendas construidas bioclimáticamente se caracterizan por estar muy bien aisladas y tener gran inercia térmica, buscando con ello un consumo mínimo de calefacción o aire acondicionado.

3.1.2 Factores y soluciones de construcción bioclimática

Entre los factores o criterios más relevantes a considerar en la construcción bioclimática de vivienda se tienen: la localización y orientación, los materiales de construcción, la forma y distribución de los espacios, el aprovechamiento y control de la radiación solar, la ventilación, el agua, la vegetación, la geotermia y la refrigeración evaporativa. Factores que se integran, combinan y complementan para el aprovechamiento de los componentes ambientales mediante técnicas, soluciones o alternativas pasivas que permiten la obtención de espacios confortables, sanos y sostenibles.

Entre las alternativas más populares de soluciones de construcción bioclimática están: el aprovechamiento de la geotermia, el muro de inercia térmica, la cubierta captadora, el invernadero adosado, la galería acristalada, el muro trombe, los

aleros y soportales, la cubierta verde, la pared vegetal y la refrigeración evaporativa o latente.

- Localización y orientación

La principal estrategia ante los riesgos asociados al cambio climático es la localización responsable de las unidades de vivienda urbana, es decir, evitar el desarrollo de proyectos de vivienda en los suelos que han sido declarados como de alto riesgo no mitigable.

Por otra parte, la orientación se refiere al grado de alineamiento de los ejes principales del edificio o vivienda con respecto a los puntos cardinales. Durante siglos la orientación ha sido predominante en el diseño y construcción de las edificaciones. Sin embargo, en las últimas décadas esta preocupación ha ido decayendo (Rodríguez, 2005, p. 29). Este es un aspecto muy importante desde el punto de vista bioclimático porque permite aprovechar, controlar y captar algunos elementos del clima útiles para mejorar el confort, bienestar y ahorro de energía de las viviendas; como lo son la radiación solar, la ventilación natural, las aguas pluviales, etc. En Colombia, los rayos solares inciden con mayor intensidad desde las direcciones este y oeste, en menor medida desde el sur; y por último desde el norte (MADS, 2012).

- Materiales de construcción

Desde el punto de vista bioclimático, la propiedad más importante de los materiales de construcción es su *inercia térmica*, la cual se define como la capacidad que tiene un cuerpo para conservar la energía térmica y la velocidad con que lo libera o absorbe (Pérez & Muñoz, 2006, p. 142). Así, el óptimo empleo bioclimático de la energía térmica es la utilización de la propia inercia térmica de la edificación. Los altos valores de inercia térmica permiten conseguir en situaciones atmosféricas cambiantes lo que se conoce como *estabilidad térmica*; que consiste es un estado en el que la temperatura varía levemente sin que implique el consumo excesivo de energía convencional (ATECOS, p. 1).

Los materiales ideales para constituir una buena inercia térmica son aquellos que tienen un alto calor específico (c), alta densidad (ρ) y baja conductividad térmica (k). La inercia térmica (P) se mide en Unidades de Inercia Térmica (UIT). Una UIT equivale a 1 w m^2 k^{-1} $s^{1/2}$ y se expresa mediante la ecuación (Pérez & Muñoz, 2006, p. 142):

$$P = \sqrt{k * c * \rho}$$

Con relación a su inercia térmica, los materiales de construcción más representativos son: los elementos de adobe o bloques de termoarcilla; la tierra, el barro o el césped; las rocas naturales; el hormigón y otras técnicas de albañilería;

y el agua. En tabla 3-1 se presentan los valores de inercia térmica de algunos de ellos:

Tabla 3.1: Algunos valores de inercia térmica (Pérez & Muñoz, 2006)

Material	P (UIT)	Material	P (UIT)
Agua y nubes	5000	Pizarra	1900
Arena húmeda	2500	Césped	2100
Arcilla húmeda	2200	Arena seca	590
Granito	2200	Arcilla seca	550

La técnica más representativa del empleo bioclimático de los materiales es el *muro de inercia térmica*. Éste consiste en un muro de elevada masa y alta capacidad de almacenamiento de calor para ser liberado durante un determinado periodo de tiempo. Este tipo de muros, además de contribuir a la estabilidad de la edificación, contribuyen al aislamiento acústico y al equilibrio de las temperaturas internas del edificio. Están constituidos generalmente por gravas irregulares pequeñas asentadas con mortero trabadas con trozos pequeños irregulares de ladrillos, tejas y ripias para aumentar su estabilidad y revestidos por una capa de revoco (cal, barro, raíces, paja, arena, etc.) (EREN, 2015, p. 23). Cabe destacar que uno de los materiales de elevada inercia térmica adecuados para la construcción de estos muros es el tradicional adobe, usado principalmente en niveles inferiores, paredes divisorias de sótanos, almacenes y corrales. La mampostería de adobe “permite almacenar energía en el interior de los espacios del edificio amortiguando las amplitudes térmicas” (EREN, 2015, p. 23), garantizando así una temperatura media confortable.

Figura 3-1: Muro de inercia térmica. (EREN, 2015, p. 22)

Entre las técnicas de muro de inercia más utilizadas están: el tradicional, el muro con SATE (Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior), el muro con doble cámara de aire ventilada y el muro con celosía corredera. En la figura 3-1 se presenta un ejemplo de muro de inercia térmica.

- Forma y distribución de los espacios

La forma y distribución de los espacios de la edificación corresponde a los distintos usos que se le da al componente suelo y depende de muchas variables como son: el presupuesto, la voluntad de los diseñadores, los deseos del usuario, las limitaciones del suelo y las condiciones climáticas de la región, entre otros. Con respecto al clima, los principales aspectos a tener en cuenta son: la relación entre las dimensiones largo y ancho de la vivienda, la inclinación de las cubiertas, el tamaño de las aberturas (ventanas, rejillas, etc.), la altura interna libre y el espesor de los muros (MADS, 2012).

- Aprovechamiento y control de la radiación solar

En la historia de la humanidad ha existido la idea de que el tiempo (meteorológico) es cíclico y se ha medido en relación con acontecimientos concretos vinculados, por lo general, a aspectos relevantes de la vida humana como son las estaciones y la actividad agrícola, los periodos de lluvias, la salida y puesta del sol, etc. Sucesos relacionados con el movimiento de los astros, en particular con el movimiento de la tierra respecto al sol.

El hombre primitivo seleccionaba las cuevas de tal manera que fueran frescas en el verano y cálidas durante el invierno; orientadas para que permitieran el asoleamiento invernal, la protección solar y la buena ventilación en los meses

calurosos (Rodríguez, 2005, p. 67). El trazo urbano de las poleis[11] griegas contemplaba una distribución de los predios que permitiera el aprovechamiento de la radiación solar en invierno y el control del exceso en verano, mediante dispositivos fijos construidos en diferentes espacios como pórticos o galerías; y dispositivos móviles como cubiertas provisionales de tela tensadas por cuerdas o tirantes. Estos dispositivos fueron perfeccionados en las edificaciones romanas (Rodríguez, 2005, p. 68).

Desde una perspectiva de cambio climático el control de la radiación solar debe ser inherente al diseño y construcción de toda edificación. El primer elemento de control solar es la forma del edificio, así como la orientación espacial.

En términos generales los dispositivos de control de radiación de control solar pueden clasificarse en función de su posición con respecto a los ejes principales del edificio, y en particular con la fachada. Por tanto, se identifican sistemas de control *horizontales*, como el alero, el volado o voladizo, el pórtico, la repisa, la persiana horizontal, el faldón, la pantalla, la pérgola, el toldo y el techo escudo; *verticales*, como el partesol, la persiana vertical y el muro doble; y *mixtos*, como el marco, la celosía, el remetimiento de ventanas, el cambio de orientación de ventanas, las contraventanas los acristalamientos y los nuevos acristalamientos (micropersianas, térmicos, con estructura tubular o capilar intermedia o con capsulas de materiales aislantes) (Rodríguez, 2005, p. 72).

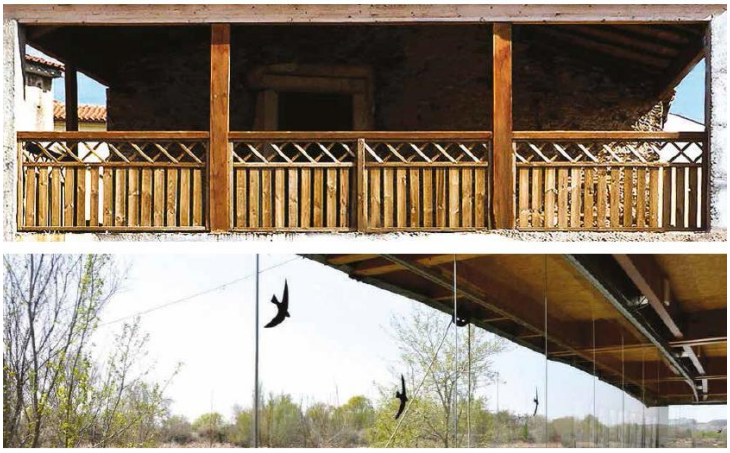
Los colores de las paredes y techos también son un aspecto importante para el aprovechamiento y control de la radiación solar. Así, en climas cálidos, los colores claros reflejan la luz del sol y contribuyen a refrigerar la vivienda. Por el contrario, los colores más oscuros absorben más calor y permiten cierto grado de calentamiento del ambiente expuesto a la luz solar.

Por lo general los dispositivos de control solar se diseñan de manera combinada; así cada elemento ofrecerá distintos grados de protección y generará un sistema más eficiente (Rodriguez, 2005, p. 78). Entre las soluciones constructivas más comunes para el aprovechamiento y control de la radiación solar están las cubiertas captadoras, los aleros y soportales, el invernadero adosado, la galería acristalada y el muro trombe.

Los *aleros* son elementos abundantes en las edificaciones populares. Su función principal es de servir como espacios de transición entre el interior y el exterior del edificio, facilitan la integración con el entorno reduciendo las diferencias ambientales entre ambos (EREN, 2015, p. 63). Por otra parte, los *soportales* son espacios de transición embebidos en la edificación, situados en la entrada de la misma (EREN, 2015, p. 63).

[11] Poleis: plural de polis o ciudad griega

Figura 3-2: Aleros y soportales. (EREN, 2015, p. 63)



Para el dimensionamiento de estos elementos es importante conocer el recorrido anual del sol de manera que su comportamiento frente a la radiación solar sea lo más eficiente posible en las distintas temporadas del año. Algunas de sus variables son: el alero separado de la pared, el alero con cierre lateral según orientación, el balcón y el soportal (EREN, 2015, p. 64).

Por otra parte, la *cubierta captadora* es el elemento con mayor exposición a la radiación solar (EREN, 2015, p. 31). En consecuencia, es una de las piezas más importantes en el diseño y la construcción bioclimática. Son concebidas para proteger la edificación de las condiciones meteorológicas como la radiación solar, el viento, la lluvia o la nieve y, a su vez, aprovechar los beneficios que estas condiciones puedan ofrecer.

Con respecto al material, la teja de arcilla y la pizarra han sido tradicionalmente los más utilizados en la construcción de cubiertas por sus propiedades de peso ligero, gran durabilidad, buen comportamiento frente a las variaciones térmicas, impermeabilidad y alta resistencia mecánica (EREN, 2015, p. 31).

La cubierta a dos aguas es la más común debido a su simplicidad y facilidad de construcción. En este tipo de cubiertas se facilita la instalación de sistemas térmicos y fotovoltaicos (paneles solares) para la generación de energía térmica y eléctrica. Desde el punto de vista bioclimático, el plano mayor de la cubierta a dos aguas debe orientarse en lo posible hacia el sur y el menor hacia el norte (EREN, 2015, p. 31) esto se debe a que el hecho de orientar hacia el sur el plano mayor permite maximizar las ganancias solares reduciendo al mismo tiempo la superficie orientada a norte y por tanto las consiguientes pérdidas. Algunas variantes de las cubiertas captadoras son la cubierta con desván y aberturas practicables, la cubierta ventilada, la doble cubierta ventilada y la cubierta captadora con conductos.

Figura 3-3: Cubierta captadora simple. (EREN, 2015, p. 30)

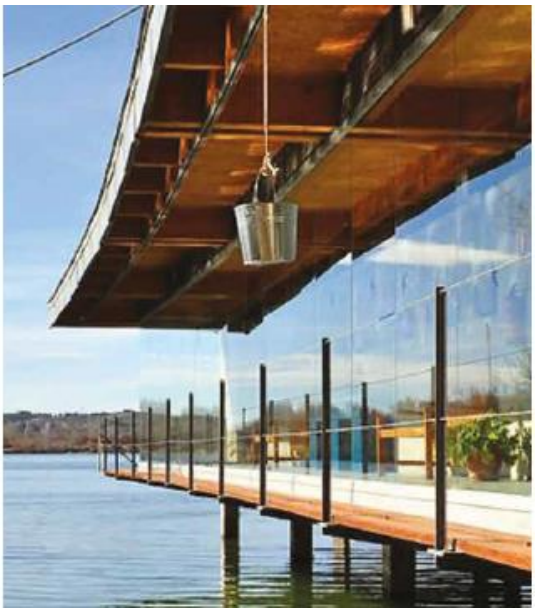
Un *invernadero o galería adosada* corresponde un volumen constructivo relativamente cerrado (EREN, 2015, p. 39), parcial o totalmente acristalado, que comparte uno o varios cerramientos verticales del edificio. Constituyen una solución bioclimática basada en la captación solar mediante el efecto invernadero. Se define como volumen cerrado aquel espacio de aire exterior que no genera intercambio del aire inferior superior a cinco renovaciones por hora.
La cobertura del invernadero adosado es diferente a la del resto de la edificación y de otro material, bien sea opaco, translúcido o transparente. Son espacios transitables e incluso en ocasiones estanciales (EREN, 2015, p. 39). Mediante aberturas como puertas, ventanas o compuertas este calor es conducido a los espacios estanciales de la vivienda. Entre las distintas variables del invernadero adosado variables están: el invernadero sin protección, el invernadero con toldo, el invernadero con persiana y el invernadero con lamas superiores (EREN, 2015, p. 39).

Figura 3-4: Invernadero adosado. (EREN, 2015, p. 38)

La *galería acristalada* es aquel espacio interno parcial o totalmente acristalado relativamente cerrado que comparte uno o varios cerramientos verticales y la cubierta del edificio. Estos espacios pueden ser transitables e incluso habitables.

Al igual que el invernadero adosado, la galería acristalada es una solución bioclimática basada en la captación de la energía térmica solar mediante el efecto invernadero, calor que puede ser regulado internamente mediante puertas, ventanas y compuertas. Es aconsejable disponer de orificios en la parte superior de las paredes internas de tal forma que en temporadas de frio el aire caliente pase a los espacios habitables; y otros orificios en la parte inferior de las paredes para que el aire frio circule hacia la galería para calentarse. Entre sus variantes están: la galería sin protección, la galería con vuelo, la galería con toldo y la galería con lamas horizontales orientables (EREN, 2015, p. 47).

Figura 3-5: Galería acristalada. (EREN, 2015, p. 47)



El *muro trombe* es aquella solución bioclimática que incluye un cerramiento vertical opaco (muro), con espesor y transmitancia variables en su parte inferior, y un cerramiento acristalado, simple o múltiple en la fachada. El espacio entre el cerramiento opaco y el acristalado es relativamente pequeño: menor de 80 cm (EREN, 2015, p. 55).

El funcionamiento general del muro trombe es el siguiente: el cerramiento acristalado es muy transparente a la radiación solar visible, pero de transparencia muy reducida al paso de la radiación infrarroja (de mayor longitud de onda) emitida hacia el exterior por un muro que ha subido su temperatura. Así, una gran parte del calor pasa hacia el interior del edificio (EREN, 2015, p. 55).

Un muro trombe puede ser ventilado cuando hay orificios de comunicación del espacio intermedio (muro - cristal) con el interior del edificio, con el exterior o con ambos; o no ventilado cuando no existe tal comunicación. El trombe ventilado puede disponer de elementos de sombreado, como aleros o toldos, para reducir la radiación solar directa sobre el muro en verano. Entre sus variables de encuentran:

el muro trombe simple, el muro trombe con ventilación al exterior y el muro trombe ventilado con protecciones solares (EREN, 2015, p. 56).

Figura 3-6: Muro trombe. (EREN, 2015, p. 55)

- Ventilación

El viento es uno de los factores más importantes a considerar en el diseño y la construcción bioclimática, ya sea para evitarlo, captarlo o controlarlo. Constituye un elemento de refrigeración pasiva que ha sido utilizado en todos los lugares y tiempos.

Para lograr una adecuada ventilación en la edificación es necesario conocer cómo se comporta el viento y de qué manera pueden aprovecharse los que siguen su recorrido a través de las edificaciones. En el interior de la edificación el flujo del aire está determinado por la localización y el tipo de entrada (ventanas, rejillas, etc.) (Rodríguez, 2005, p. 106). Por otra parte, la localización y el tipo de abertura de salida incide muy poco en el flujo interno del aire. Sin embargo, entre más cambios de dirección, en el interior del edificio, sufra el viento, menos será su velocidad y por ende su capacidad refrigerativa. Cuando la abertura de entrada es más pequeña que la de salida se obtiene un incremento de la velocidad en el flujo interno. En este sentido, en climas cálidos se prefieren las ventanas pequeñas y en climas fríos las grandes.

- Vegetación

El empleo de la vegetación en la construcción de vivienda urbana constituye a una alternativa bioclimática de gran potencial que combina la inercia térmica de las plantas y el suelo con su capacidad de infiltración de agua y la refrigeración evaporativa (factor bioclimático que se describirá más adelante).

Las cuberturas vegetales cumplen una función importante en el acondicionamiento del microclima urbano ya que atenúan el efecto de la isla de calor, promueven la biodiversidad y aumentan la superficie de almacenamiento de agua que drenará de forma más lenta y progresiva (EREN, 2015, p. 69).

Las cuberturas vegetales se componen de plantas (autóctonas), sustrato, impermeabilización, aislamiento y elemento portante (EREN, 2015, p. 69). En cuanto a la vegetación, esta debe ser escogida en función de las condiciones climáticas y de las características físicas de la edificación. También se debe tener en cuenta el tiempo de crecimiento, la necesidad de luz y la exposición solar, la necesidad de riego, el tipo de suelo, la resistencia al viento, la necesidad de poda, el tipo de hoja y flor (si es el caso) y la profundidad de las raíces (EREN, 2015, p. 69). En la figura 2.7 se presentan los componentes o capas de una cubierta verde ideal.

Figura 3-7: Capas de una cubierta verde. (Construdata, 2013)

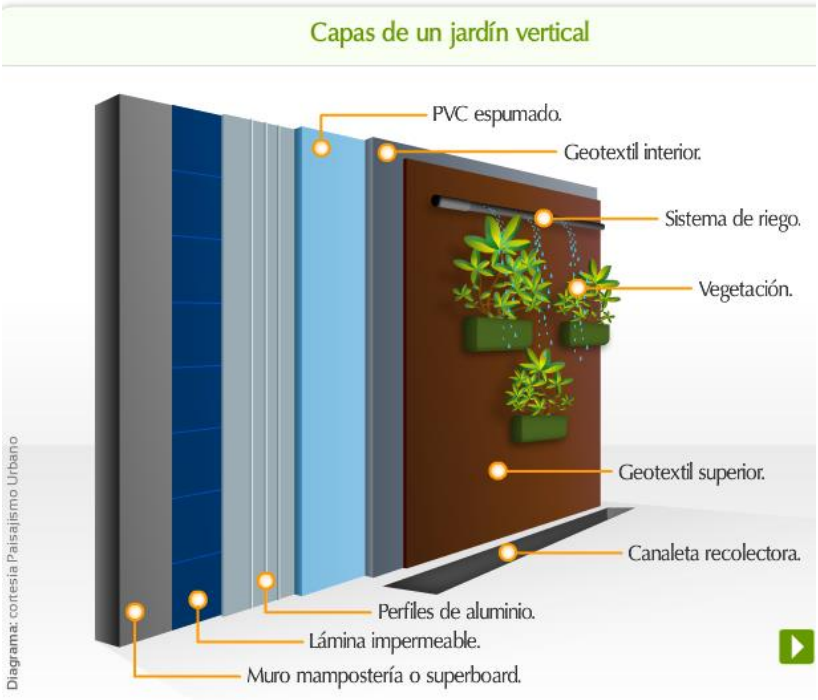
En la edificación la vegetación se puede implementar como cubiertas (techos) vegetales; como jardines, que pueden ser horizontales y/o verticales (pared vegetal); estos a su vez pueden ser externos y/o internos. Entre las variantes las

más comunes de la cubierta vegetal están: la cubierta vegetal extensiva en continuación con el terreno natural, la cubierta vegetal extensiva aislada, la cubierta intensiva y la cubierta vegetal de aljibe (con almacenamiento de agua y riego autónomo).

En materia de construcción bioclimática, se entiende por pared o muro vegetal a cualquier elemento vegetal adherido a un cerramiento exterior o interior que se interpone total o parcialmente entre la radiación solar y el propio cerramiento, disminuyendo así la cantidad de calor que entra al interior del edificio. En ambientes cálidos, como en el escenario de una isla u ola de calor, las paredes vegetales pueden proporcionar refrigeración debido al fenómeno de la evapotranspiración.

Los muros vegetales se instalan de manera independiente a la envolvente de la edificación y están compuestos por paneles prevegetados, módulos verticales o filtros geotextiles plantados y fijados mediante marcos estructurales. En algunas zonas es posible que las plantas crezcan desde el suelo donde tienen sus raíces, de esta forma solo se apoyan en la pared, pero no reciben ningún tipo de humedad o nutrientes de esta. Un ejemplo común de este tipo de muros verdes son los cubiertos por *hiedra*. Este tipo de fachadas también pueden ayudar a reducir la contaminación, ya que atrapan las partículas contaminantes del aire en sus tejidos (EREN, 2015, p. 77). Las paredes vegetales se pueden presentar de distintas formas; como por ejemplo la pared vegetal extensiva de doble piel, la pared vegetal modular directa, la pare vegetal modular con cámara de aire y la pared vegetal sin sustrato. En la figura 2.8 se presenta un ejemplo de los elementos que conforman una pared o jardín vegetal tipo.

Figura 3-8: Capas de un jardín vertical (Construdata, 2013)



- Geotermia

La geotermia como una alternativa de construcción bioclimática consiste en el aprovechamiento de la inercia geotérmica del suelo y subsuelo para proporcionar condiciones de habitabilidad y bienestar en el interior de las edificaciones. Desde el pasado remoto los animales y el hombre han construido sus refugios y moradas en cuevas y cavernas; lo cual, entre otros beneficios, permite el aprovechamiento de la inercia térmica del suelo para crear ambientes internos con condiciones menos hostiles que las que se encuentran a la intemperie.

Figura 3-9: Cueva adaptada como vivienda. . (EREN, 2015, p. 15)

El subsuelo tiene la particularidad de presentar una temperatura constante durante todo el año, la cual oscila alrededor de 14 °C a partir de los tres metros de profundidad (EREN, 2015, p. 15). Esta propiedad física del suelo es posible aprovecharla tanto para edificaciones nuevas como usadas mediante técnicas como la construcción enterrada (sótano), el terreno reconformado (enterrado sobre rasante), la construcción semienterrada, el pozo canadiense (conductos de aire enterrados) y los conductos intercambiadores en cimentación (EREN, 2015, p. 15).

- Refrigeración evaporativa o latente

La refrigeración evaporativa es un enfriamiento adiabático, es decir, que no altera la suma total de energía de un ambiente, sino que simplemente utiliza parte de la energía térmica del aire para evaporar el agua. Esta energía permanece en el ambiente en forma del calor necesario para vaporizar el agua y se recupera cuando se invierte el fenómeno. La energía necesaria para evaporar un gramo de agua es de 2.424 J, que aplicados a un metro cubico de aire son suficientes para bajar su temperatura 2,2 °C. La refrigeración evaporativa ofrece una alta efectividad, pero presenta una gran limitación consistente en que requiere un ambiente lo suficientemente seco y que el agua sea expuesta a una corriente de aire como sucede con una lámina de agua o una cubierta inundable (EREN, 2015, p. 85).

El empleo de sistemas de refrigeración evaporativa en combinación con áreas con vegetación también es muy favorable, ya que las plantas además de evaporar el agua a través de las hojas también se encargan de aportar agua a través de su sistema radicular. Un árbol puede evaporar 500 litros de agua al año por cada metro cuadrado de superficie exterior, esto equivale a una potencia de enfriamiento de 40 W/m^2 de superficie vegetal (EREN, 2015, p. 85). Algunas de las variables de los sistemas de refrigeración evaporativa son: la lámina de agua - cubierta inundable, la celosía cerámica humedecida en hueco, la celosía con difusor de agua, la maceta con difusor bajo ventana (EREN, 2015, p. 85).

Figura 3-10: Espejo o lámina de agua exterior (EREN, 2015, p. 84)

3.2 El proceso constructivo con enfoque bioclimático

Los costos ambientales de un edificio dependen en gran medida del sistema constructivo, pues este determina el consumo de materiales, agua y energía. Los procesos constructivos bioclimáticos se caracterizan por el empleo de materiales de bajo impacto ambiental o ecológico, reciclados o altamente reciclables, o extraíbles mediante procesos sencillos y de bajo costo como, por ejemplo, materiales de origen vegetal y biocompatibles.

En Colombia la producción de vivienda urbana se ejecuta mediante complejos procesos que dependen de factores económicos, políticos, sociales, normativos, técnicos, culturales y ambientales. Cualquier proyecto constructivo inicia a partir de la adquisición de los predios hasta la entrega de las soluciones de vivienda y requiere de tres componentes básicos para su consolidación física: el predio o terreno, los materiales y componentes constructivos; y la infraestructura de servicios públicos (MADS, 2012). Así como cualquier proceso constructivo tradicional, los procesos constructivos con enfoque bioclimático constan de tres fases: la planeación, el diseño y la construcción física de la obra.

Aunque las fases señaladas en teoría son consecutivas, en la práctica el diseño y la construcción se someten a un proceso de retroalimentación debido a la falta de información en diseños o presupuesto, de tal manera que se permita realizar ajustes de diversos tipos (presupuestales, de programación, etc.) durante la fase constructiva (MADS, 2012, p. 39).

Fase de planeación: Hacen parte de esta fase los análisis y estudios previos al diseño. Estos comprenden: el análisis urbanístico normativo que se aplica en el predio escogido, el estudio topográfico, los estudios geotécnicos, los análisis ambientales (incluyen los análisis climáticos), el análisis social y de ocupación, el análisis económico y los demás estudios que el director del proyecto estime convenientes para prevenir impactos ambientales y riesgos en el proceso constructivo (MADS, 2012, p. 39).

Dentro de los análisis ambientales está el análisis del clima, que consiste en el estudio los distintos factores y elementos del clima del lugar donde el proyecto está implantado; el análisis térmico de los materiales, de acuerdo a la inercia térmica requerida; y el análisis de los requerimientos de agua y energía, que comprende el consumo, optimización, fuentes alternativas e impactos.

Fase de diseño: Es la fase que se inicia con los resultados de los estudios previos y consta de tres elementos que se elaboran dando cumplimiento a las determinantes normativas y legales: el esquema básico, el anteproyecto y el proyecto final. Forman parte integral de esta fase los diseños urbanísticos, arquitectónicos, estructural, eléctrico, hidrosanitario, estudios de suelos, programación, formulación de medidas de manejo ambiental y social (plan de acción voluntario). Diseños y documentos requeridos para el trámite y obtención de las licencias y permisos necesarios para ejecutar la obra (MADS, 2012, p. 40).

El diseño en general se debe orientar a causar la menor afectación posible a los componentes naturales y considerar los factores de construcción bioclimática encaminados a una efectiva adaptación a las nuevas condiciones climáticas proyectadas para la región.

Fase de construcción: Con los permisos de urbanismo, construcción, ambientales y de conexión de servicios públicos se inicia la construcción de la obra que se adelanta por actividades simultáneas y consecutivas. Esta fase ejecuta los mayores recursos financieros y administrativos del proceso constructivo y está condicionada al presupuesto, los recursos materiales y humanos y a la programación de la obra. En la construcción de edificaciones se distinguen las siguientes las siguientes etapas o ítems generales determinados por la particularidad de cada proyecto: preliminares de obra, movimiento de tierras, cimentaciones, desagües, estructura, mampostería, cubierta, instalaciones eléctricas e hidrosanitarias, pisos y acabados (vidrios, carpintería, pinturas, cielorrasos, etc.). El alcance de la fase de

construcción se extiende hasta la entrega de los inmuebles a los usuarios (MADS, 2012, p. 40).

3.3 Curitiba (Brasil), ciudad pionera en construcción bioclimática

Curitiba es la capital del estado brasileño de Paraná. Ubicada en el sur del país, es la ciudad con la cuarta economía más grande de Brasil, impulsada principalmente por el comercio y los servicios. Su población para el año 2010 era de aproximadamente 1,9 millones de habitantes establecidos en 431 km^2, lo que resulta en una densidad demográfica de 4.296,2 hab/km^2 (EIU, 2010). Su tasa de crecimiento poblacional es de 1,86%. El clima de Curitiba, de acuerdo a la clasificación Koppen y al gobierno de Brasil, es subtropical de altiplano, una forma de clima oceánico templado. Con respecto a los valores de las variables climáticas más importantes se tiene que su temperatura promedio en invierno es de 7 °C y la de verano es de 25 °C, aunque a veces ha llegado a 30 °C; su precipitación media anual es de 1.483,4 mm, siendo enero y febrero los meses más lluviosos; y su humedad relativa promedio es de 80,7 % (EIU, 2010).

En el campo del urbanismo y la construcción sostenible, la ciudad es ampliamente considerada entre las mejores planificadas y diseñadas de su país, y por esta razón ha recibido muchos reconocimientos internacionales por su esfuerzo en desarrollo sustentable (EIU, 2010). Así, en 1990, a la ciudad le fue otorgado el premio *United Nations highest environmental award* por parte del Programa Ambiental de las Naciones Unidas (UNEP), considerado el máximo galardón ambiental del mundo.

Figura 3-11: Panorámica del centro de Curitiba (Up the Green, 2014)

El desarrollo de Curitiba empezó a partir de comienzos del siglo XIX con la explotación y exportación de la yerba mate. Después de la primera mitad del siglo XX su población incrementó notablemente y se convirtió en una de las ciudades más prosperas del Brasil y pionera en soluciones de urbanismo sostenible (Rúa, 2014, p. 112). El modelo de ciudad de Curitiba se basa en unos corredores estructurales de crecimiento lineal articulado a unos usos eficientes e intensivos del suelo y a un sistema integrado de transporte masivo ligado al corredor que concentra las actividades económicas (Rúa, 2014, p. 110).

Según Cristhian Wiese, renombrado arquitecto ecuatoriano, Curitiba fue una de las primeras ciudades en implementar las fachadas y terrazas verdes (figura 3-12)y en lograr la calificación LEED[12], la más alta distinción en materia de construcción ecológica que tiene el planeta (Abilia, 2016). Entre los beneficios de estas prácticas, están un ahorro sustancial del consumo de energía eléctrica y una mejor regulación del microclima urbano (Abilia, 2016).

Figura 3-12: Edificio con cubierta vegetal escalonada en el centro de Curitiba. (Qualinhabitat, 2011)

[12] A nivel internacional, desde los años noventa, se han desarrollado programas y estándares de reconocimiento para todos aquellos proyectos para reducir el consumo de los componentes ambientales, mejorar las condiciones de habitabilidad y proteger el ambiente. Entre estos estándares de reconocimiento están: The Leadership in Energy and Enviromental Design (LEED), el Building Research Establishment Enviromental Assessment Method (BREEAM), y el Code of Sustainable Homes, etc.

Desde el punto de vista de la construcción con enfoque bioclimático la ciudad se destaca por la implementación de espaciosas áreas verdes, 52 m^2 por habitante, más del triple del área mínima recomendada por la ONU (Rúa, 2014, p. 112); y por el adecuado tratamiento dado a los residuos provenientes de la construcción y las demoliciones (escombros). Por ejemplo, en el año 2007, la proporción de residuos recolectados y dispuestos adecuadamente fue de 96,2%, la más alta en América Latina (EIU, 2010).

4. La construcción bioclimática de vivienda urbana en Bogotá D.C. y Cali

4.1 El caso de Bogotá D.C.

Para hacer una aproximación a la situación de Bogotá D.C. frente al cambio climático, a continuación se hará una descripción general de algunos aspectos biofísicos, luego se abordarán las características climáticas de la ciudad seguidas de los escenarios futuros de riesgo derivados del cambio climático y se plantearán algunas características climáticas proyectadas para el año 2100. Finalmente, de acuerdo a lo anterior, se sugerirán algunas prácticas de construcción de vivienda urbana en un contexto de cambio climático.

4.1.1 Situación de Bogotá D.C. frente al cambio climático

Bogotá es la ciudad más grande y poblada Colombia. En el último censo realizado por el DANE en el año 2005 se estimó que para el año 2014 su población ascendería a 7.794.463 personas con una densidad demográfica de 4.100 habitantes por km^2 (SDP, 2014). Sin embargo, su tasa de crecimiento poblacional ha disminuido: para año 2007 fue de 1,46% y se espera que a 2020 baje hasta el 1,31% (SPD, 2013). Esto implica que cada vez los habitantes de Bogotá serán menos, acercándose a una sociedad que empieza a envejecer (Ardila, 2011, p. 2).

La ciudad está ubicada en la vertiente occidental de la Cordillera Oriental de los Andes, con una altitud que oscila entre 2.650 y 3.750 m.s.n.m., por tanto, de acuerdo a la clasificación climática del IDEAM es una ciudad de clima frio (MADS, 2012, p. 62). Ocupa una extensión de 163.660 hectáreas (ha), de las cuales 23,4% son suelo urbano y el 76, 6% es suelo rural (IDIGER, 2015, p. 31). Las principales corrientes de agua de la ciudad son los ríos Bogotá, Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo (IDIGER, 2015, p. 32). La expansión de la ciudad se ha dado a expensas de la estructura ecológica de la ciudad y la región, inicialmente en dirección norte y luego en dirección suroeste. En las últimas décadas se observa una disminución considerable en el área de humedales y la presencia de urbanizaciones sobre sus rondas (IDIGER, 2015, p. 33).

Las dinámicas del crecimiento urbano desordenado y los procesos constructivos han coadyubado a la segregación social y espacial y al deterioro de los ambientes

naturales y construidos, reduciendo la capacidad de resiliencia del territorio y ocasionando condiciones que menoscaban la calidad de vida de los bogotanos (SDP, 2014a, 62). Por otra parte, según la Secretaria Distrital de Planeación, en materia de urbanismo y construcción “la ciudad de Bogotá D.C. no está preparada para enfrentar los efectos del cambio climático a largo plazo” (SDP, 2014a, p. 62).

- Caracterización climática

Las características climáticas de Bogotá D.C. obedecen básicamente a la interrelación de los factores y elementos climáticos que la afectan; como son la temperatura, la humedad, las precipitaciones y la presión atmosférica, etc. Factores que se iniciaron a observar y a medir a partir de 1970 (IDEAM, 2013). A continuación de hace una caracterización de los principales.

En cuanto a la *temperatura* de Bogotá, ésta varía entre 14,5 °C y 7°C, y se observa que presenta tendencias de carácter creciente y tiende a aumentar con el tiempo por el efecto de la urbanización, la industria y otras actividades del hombre (IDEAM, 2013). Para el año 2014 la temperatura promedio fue de 14,3%. Las temperaturas extremas se han presentado en los meses de diciembre, enero y febrero, llegando a, temperaturas máximas de 25 °C durante el día y de 6 °C durante de la noche o la madrugada (IDEAM, 2013). Espacialmente la zona que registra mayor temperatura es el centro de la ciudad, originando en ocasiones el fenómeno *isla de calor* que se define como el exceso de calor generado en un ambiente urbano por efecto de la acción del hombre (IDEAM, 2013).

La *precipitación* de la ciudad se encuentra influenciada por encontrarse en la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT) que recibe a través de los vientos alisios las corrientes de aire cálido y húmedo de la zona subtropical de los hemisferios norte y sur (IDIGER, 2015) que originan abundantes precipitaciones entre los meses de abril y junio (primer periodo) y entre los meses de septiembre y noviembre (segundo periodo). Otro fenómeno que determina las precipitaciones son las masas de aire cargadas de humedad provenientes del Amazonas las cuales generan una alta pluviosidad entre los meses de mayo y julio (IDEAM, 2013). Espacialmente las menores precipitaciones se registran hacia el occidente y sur-occidente de la ciudad (con valores de 600-800 mm). El centro registra valores entre 800 y 1000 mm y los cerros orientales alcanzan los 1.200 mm. Los más altos niveles de precipitación se localizan hacia el sur-oriente, alcanzando valores de 1.100 mm en el sector de Juan Rey y 1.200 mm en la parte alta de la quebrada Yomasa (IDEAM, 2013).

La *humedad*, o porcentaje de vapor de agua en el aire, presenta un valor promedio de alrededor del 79%. Los valores más altos se registran en los meses de altas precipitaciones (abril, mayo, octubre y noviembre) los menores en los meses relativamente secos o de bajas lluvias (enero, febrero, julio y agosto). Espacialmente los mayores valores de humedad se presentan en el sector sur-

occidental (sector Doña Juana) con 73% y al norte de Bogotá (sector de Guaymaral) con un 74%. (IDEAM, 2013).

La *presión atmosférica*, o presión que ejerce el peso de la atmosfera sobre la superficie terrestre, presenta en Bogotá D.C. sus valores más altos en los meses de julio y agosto, llegando a 772,1 hPa[13], y los mínimos suceden regularmente en diciembre con 751,1 hPa (IDEAM, 2013).

- Escenarios de riesgo asociado al cambio climático

En la ciudad de Bogotá los riesgos asociados a las condiciones climáticas, por su recurrencia histórica (riesgos recurrentes), son principalmente los siguientes: inundación por desbordamiento, empozamientos, remoción en masa e incendios forestales, como los de mayor probabilidad de ocurrencia; además de oleadas e islas de calor, olas de frio (heladas y granizadas), sequías y vendavales. Riesgos que tienden a intensificarse por efectos del fenómeno de El Niño y del cambio climático. (IDIGER, 2015). A continuación se realiza una breve descripción de los riesgos con mayor probabilidad de ocurrencia.

Inundaciones por desbordamiento: La localización de Bogotá dentro de la ZCIT es el principal factor determinante del riesgo de inundación (IDIGER, 2015). Como antecedente reciente de evento climático de gran impacto se tiene la ola invernal 2010-2011 que se intensificó notablemente por la presencia del Fenómeno de La Niña. Según el mapa de zonificación de riesgos de Bogotá, se estima que 5.104 ha de Bogotá (13% del área urbana) corresponden a zonas donde existe una probabilidad de inundaciones por desbordamiento de cauces naturales y/o cuerpos de agua intervenidos en diferentes niveles, con efectos potencialmente perjudiciales (IDIGER, 2015, p. 124). Las localidades con mayor porcentaje de amenaza de inundación por desbordamiento son Suba y Engativá (IDIGER, 2015, p. 126).

Empozamientos: Entendidos como aquellas acumulaciones de agua procedente de drenajes en áreas que normalmente no se encuentran inundadas. Esto depende de la situación topográfica del área afectada, de la capacidad del sistema de drenaje y de la presencia de residuos sólidos en canales y ductos que obstruyen la circulación de los excesos de aguas residuales y pluviales. Las localidades con mayores riesgos de empozamientos son: Rafael Uribe Uribe, Barrios Unidos, Engativá y Bosa (IDIGER, 2015).

Isla de calor: Fenómeno que consiste a la diferencia de calor relativo de una ciudad con respecto a las áreas circundantes. Normalmente se asocia a la retención del calor por las superficies altamente urbanizadas y se reducida escorrentía (IPCC,

[13] Hectopascales: unidad de presión

2013, p. 195). En Bogotá D.C. este fenómeno tiende a presentarse en las áreas céntricas (figura 4-6).

Remociones en masa (deslizamientos): En Bogotá D.C. este riesgo se presenta principalmente por la ubicación de asentamientos en áreas que antes se dedicaban a la explotación de materiales pétreos, en taludes, laderas o rellenos que no han recibido un tratamiento técnico adecuado. Entre los años 2002 y 2012 se han presentado alrededor de 4.169 eventos de este tipo. Los sectores con mayor amenaza por remoción en masa están ubicados en las zonas de cerros orientales y piedemonte; y corresponden a 31.073 ha. Se estima que son cerca de 15.000 las familias que se encuentran en zonas de alto riesgo de remoción en masa e inundaciones y que deben ser reasentadas. (IDIGER, 2015).

Incendios forestales: De acuerdo al estudio llamado *Actualización de la zonificación de riesgo por incendio forestal y diseño de las medidas preventivas y operativas para los Cerros Orientales de Bogotá D.C. – 2010,* se estima que alrededor de 13.996 ha se encuentran en amenaza por incendios forestales. Los registros históricos de incendios forestales en los Cerros Orientales indican que entre 2002 y 2012 se presentaron 2.297 de estos eventos. Las localidades con mayor probabilidad de ocurrencia de incendios forestales en Bogotá D.C. son Usme, San Cristóbal, Chapinero y Ciudad Bolívar (IDIGER, 2015).

- El clima de Bogotá D.C. para el año 2100

Según la Tercera Comunicación Nacional sobre el Cambio Climático (IDEAM, 2015, p. 36) para fin del siglo XXI, Bogotá D.C. y en general el departamento de Cundinamarca podrá presentar elevaciones de temperatura promedio de 2,3 °C adicionales a los valores actuales. En cuanto a las precipitaciones, se proyecta un aumento entre el 10 % y el 30 % adicionales a los valores actuales. Los principales efectos se presentarían en el sector agrícola debido a los cambios bruscos de temperatura, así como en la proliferación de plagas asociadas a la precipitación (IDEAM, 2015, p. 26). También se espera que el aumento de las temperaturas genere islas de calor en determinados sectores densamente urbanizados y con las precipitaciones aumente el riesgo de inundaciones por desbordamiento y/o empozamientos. A continuación, en la tabla 3.1, se presentan algunos valores de cambio de temperatura y precipitaciones proyectados para el departamento de Cundinamarca para tres diferentes escenarios comprendidos entre 2011 y 2100.

Tabla 4.1: Cambios de temperatura y precipitaciones Cundinamarca 2011-2100 (IDEAM, 2015)

TABLA POR PERIODOS / ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO 2011-2100					
2011-2040		2041-2070		2071-2100	
Cambio de Temperatura media °C	Cambio de Precipitación (%)	Cambio de Temperatura media °C	Cambio de Precipitación (%)	Cambio de Temperatura media °C	Cambio de Precipitación (%)
0,8	7,99	1,5	9,00	2,3	8,21

Según Pabón (2003), en un escenario en el que se duplique el CO_2 presente en la atmosfera, las condiciones climáticas que se podría observar en Colombia a finales del siglo XXI serían un aumento generalizado pero no homogéneo de la temperatura del aire, así como una tendencia de precipitación variada en las regiones: diminución de las lluvias en la región caribe, en la pacífica y en el sur de la región andina, aumento en los pie de montes amazónico y de la Orinoquía, y en el altiplano cundiboyacence. En el caso de Bogotá la temperatura tenderá a subir 1,4 °C y la precipitación en un 18%.

4.1.2 Prácticas de construcción bioclimática de vivienda recomendadas para Bogotá D.C. (año 2100)

Teniendo en cuenta que el clima de la ciudad de Bogotá D.C. es predominante frio, para el aprovechamiento de la radiación solar, se recomiendan el empleo de las siguientes técnicas constructivas bioclimáticas: la orientación de la vivienda, la forma y distribución de los espacios, el invernadero adosado, la galería acristalada, el muro trombe y la cubierta captadora. A continuación, se hace una descripción de un caso particular de cada una de ellas.

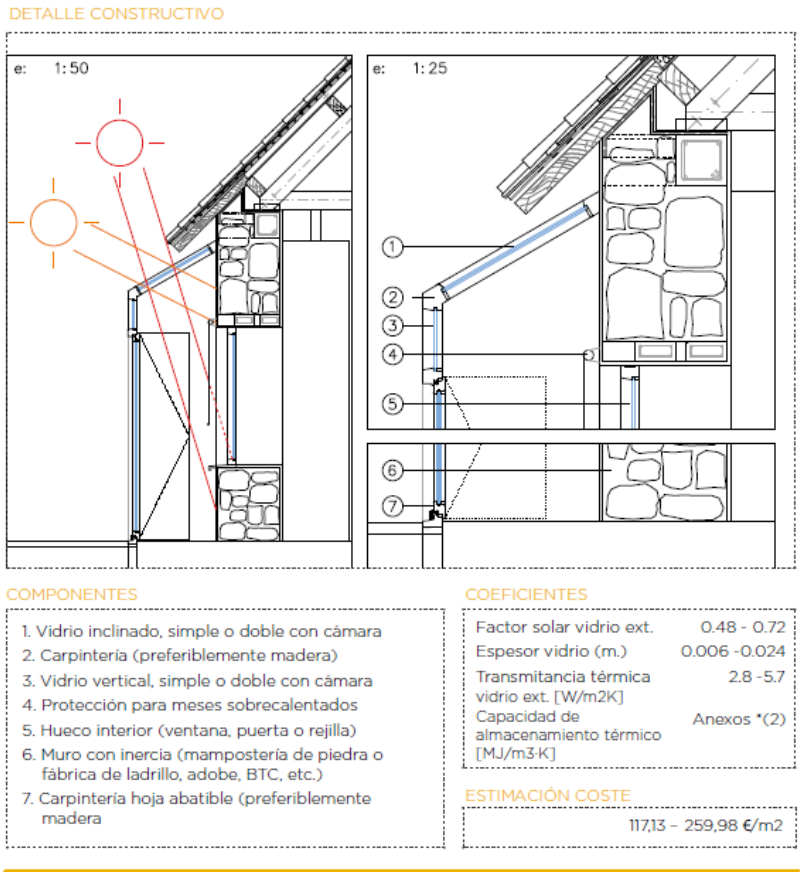
Orientación de la edificación: Para una mayor ganancia de la energía solar directa en las horas de la mañana y de la tarde se sugiere, en lo posible, que la fachada principal de la edificación o en su defecto su área de mayor extensión, se oriente hacia el este o hacia el oeste (MADS, 2012).

Forma y distribución de los espacios: Considerando que la ciudad actualmente es de clima frio, se recomienda una forma preferiblemente cuadrada en viviendas aisladas, para evitar pérdidas de calor interior. Se aceptan formas rectangulares de relación 1:2 en el caso de ser viviendas adosadas (MADS, 2012). En caso de viviendas adosadas y también aisladas, se sugiere una cubierta plana o ligeramente inclinada, una altura libre mínima de 2,3 m, muros gruesos y masivos, ventanas grandes en fachada sur, oriente y occidente (mayor ganancia solar directa), cubiertas y muros externos con colores oscuros (que no reflecten la luz solar), y un volumen compacto y cerrado para mínimas pérdidas de calor.

Invernadero adosado sin protección: Este tipo de solución para el aprovechamiento de la radiación solar consiste en la incorporación de un espacio parcialmente acristalado en la fachada de la edificación, el cual no tiene ningún tipo de cubierta horizontal adicional al cristal. Espacio que se comunica con los espacios adjuntos aberturas que pueden ser cerradas en verano y abiertas en invierno. (EREN, 2015, p. 39). La superficie acristalada puede ser un vidrio laminado, simple o con doble cámara con un factor solar entre 0,48 y 0,72. Ésta también se presta como sistema de ventilación al instalarse ventanas. Se sugiere además que los muros compartidos entre a vivienda y el invernadero tengan una buena inercia térmica (EREN, 2015, p. 40).

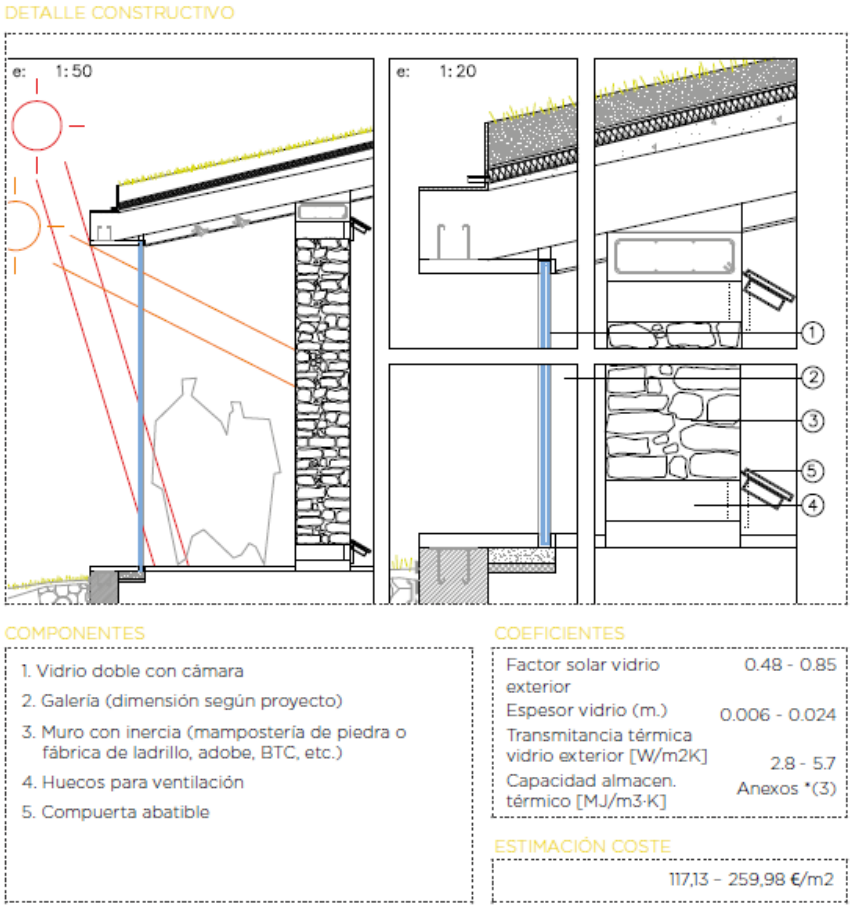
Para optimizar las ganancias de energía térmica se recomienda, en lo posible, que el invernadero adosado se construya en la fachada este u oeste de la vivienda; así como que sus acabados internos se pinten de colores oscuros. Por otra parte, para evitar condensaciones es recomendable instalar algún tipo de ventilación controlada (EREN, 2015, p. 40). En la figura 4-1 se muestra un ejemplo del detalle constructivo de esta clase de invernaderos.

Figura 4-1: Detalle constructivo de un invernadero adosado sin protección. (EREN, 2015, p. 41)



Galería acristalada sin protección: Al igual que el invernadero adosado, la galería acristalada basa su funcionamiento en el efecto invernadero. Este tipo de galería sin protección no tiene dispositivos para reducir la incidencia de los rayos solares en la superficie acristalada. Como se observa en el detalle constructivo (figura 4-2) este tipo de galería está compuesta por una capa exterior de vidrio de doble cámara con un factor solar entre 0,48 y 0,85, un espacio habitable en el medio y un muro con cierta inercia térmica con aberturas que comunican la galería con los espacios interiores, de tal forma que en los días fríos el aire caliente pase a los espacios habitables; y otros orificios en la parte inferior de las paredes para que el aire frio circule hacia la galería para calentarse. (EREN, 2015, p. 48).

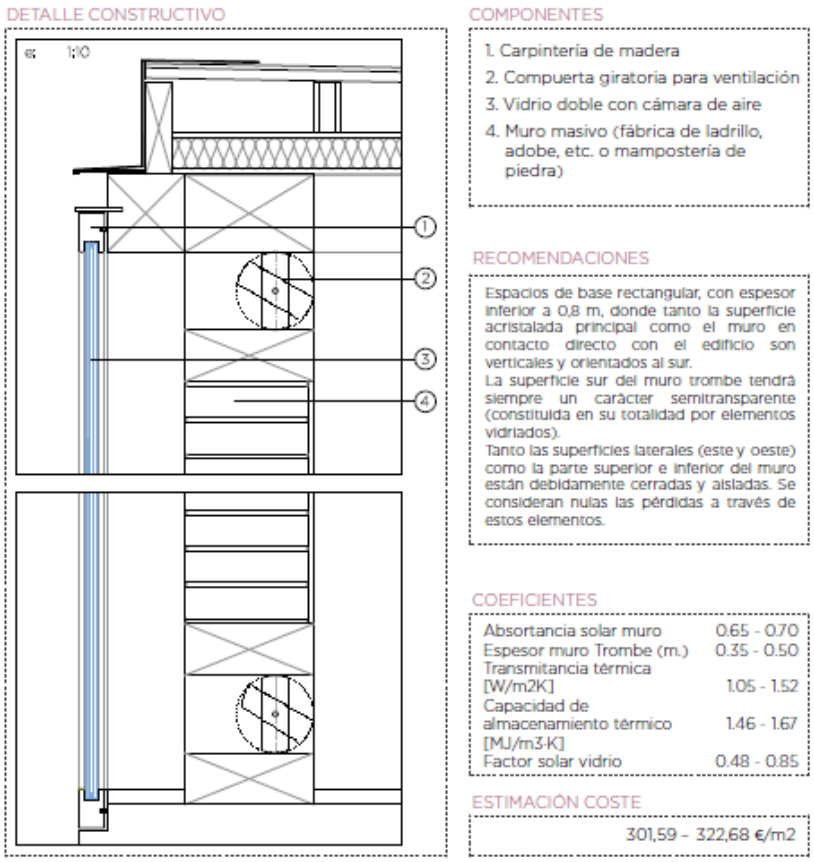
Figura 4-2: Detalle constructivo de una galería acristalada sin protección. (EREN, 2015, p. 48)



Muro trombe simple: Esta alternativa consiste en un muro opaco interno y una superficie acristalada de un vidrio laminado de doble cámara de aire, separados menos de 80 cm (figura 4-3). El cristal debe muy transparente a la radiación solar visible, pero de transparencia muy reducida al paso de la radiación infrarroja emitida hacia el exterior por un muro que ha subido su temperatura. Así, una gran parte del calor pasa hacia el interior del edificio (EREN, 2015, p. 55). Para un mayor

aprovechamiento de la energía térmica solar se aconseja que en Bogotá D.C. este tipo de soluciones se orienten hacia el este o hacia el oeste.

Figura 4-3: Detalle constructivo del muro trombe simple. (EREN, 2015, p. 56).



Por otra parte, frente a las condiciones climáticas proyectadas para el año 2100 y los escenarios de riesgo asociados al cambio climático la ciudad de Bogotá D.C. (inundaciones por desbordamiento e islas de calor) se sugiere implementar las siguientes soluciones o prácticas de construcción bioclimática:

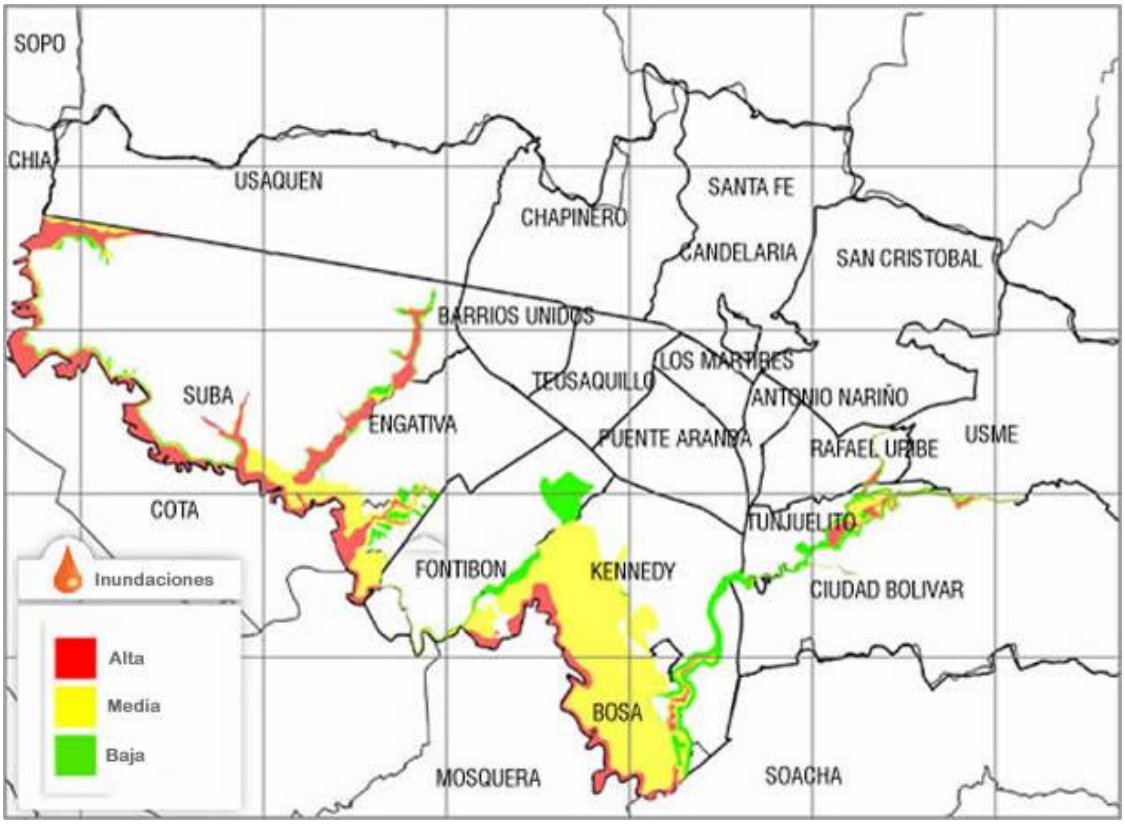
- Escenario de inundación por desbordamiento y/o empozamiento

Ante este escenario los componentes ambientales que requieren intervención en la construcción de vivienda urbana son el agua, el suelo y los materiales. En este contexto, las principales soluciones bioclimáticas a considerar son la localización, la ampliación de la cobertura vegetal y los sistemas de drenaje sostenibles, así:

Localización: La principal estrategia ante el escenario de exceso de precipitaciones en Bogotá D.C., y en cualquier asentamiento humano, es evitar el desarrollo de proyectos de vivienda en los suelos que han sido declarados como de alto riesgo no mitigable. En la figura 4-4 se muestra el mapa de riesgo por inundación para la

ciudad de Bogotá D.C. clasificado de acuerdo al nivel de riesgo, alto, medio y bajo; de acuerdo al Plan de Ordenamiento Territorial vigente.

Figura 4-4: Mapa de riesgo de inundación de Bogotá D.C. (Ecourbanismo, 2014)



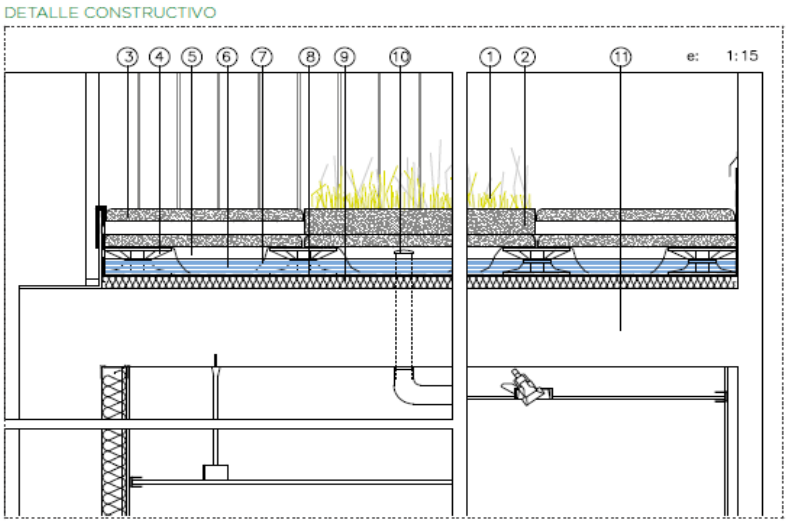
Cobertura verde o vegetal: Ante la elevada impermeabilización de la superficie del área urbana de Bogotá D.C. (y en general de todas las ciudades) y la alta escorrentía superficial que esta produce, es imperativo la ampliación de las superficies de cobertura vegetal, tanto al interior de las viviendas como en las áreas comunes de los conjuntos de viviendas; de tal forma contribuyan a la evacuación de los excesos de aguas pluviales mediante infiltración. En este sentido, la solución bioclimática más común es la implementación de jardines (horizontales o verticales) y las cubiertas vegetales.

Según la *Guía de techos verdes y jardines verticales* de la de la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá (2015), las especies vegetales autóctonas aptas para las cubiertas en la ciudad de Bogotá D.C. son: el calanchoe, el helecho pequeño y el arbóreo, el helecho peine, el pleurothalis, el anturio y el sedum, entre otras.

Como se mencionó en el capítulo dos, existen diversas variables de la cubierta vegetal. Las más comunes son: la cubierta vegetal extensiva, la cubierta vegetal extensiva aislada, la cubierta intensiva y la cubierta vegetal de aljibe (con almacenamiento de agua y riego autónomo), la cual se describirá en seguida.

Cubierta vegetal tipo aljibe: En el escenario de inundación, las distintas formas de cobertura vegetal: jardines horizontales y verticales; y cubiertas vegetales, tienen un papel primordialmente de regulación e infiltración del agua pluvial. A continuación, se presenta el detalle constructivo (Figura 4-.5) de una cobertura vegetal tipo aljibe, es decir, con almacenamiento de agua y riego autónomo; la cual cumple la cuádruple función de almacenamiento y regulación de agua, aislamiento térmico, sombreado mediante la vegetación y refrescamiento a través de la evapotranspiración (EREN, 2015, p. 73). El sistema consta de especies vegetales nativas (el calanchoe, el helecho pequeño y arbóreo, el helecho peine, el pleurothalis, el anturio y el sedum, etc.), una capa de sustrato colocada sobre una placa de concreto poroso apoyada sobre unos soportes regulables y un filtro absorbente en contacto con el sustrato y con la lámina de agua. Así, se optimiza el uso del agua que se mantiene en irrigación continua. Como con todo tipo de estanque, lámina de agua, cubierta inundable, etc.; se deberá tener especial cuidado en la instalación de una adecuada impermeabilización; y prever los respectivos rebosaderos para los días de pluviosidad excesiva.

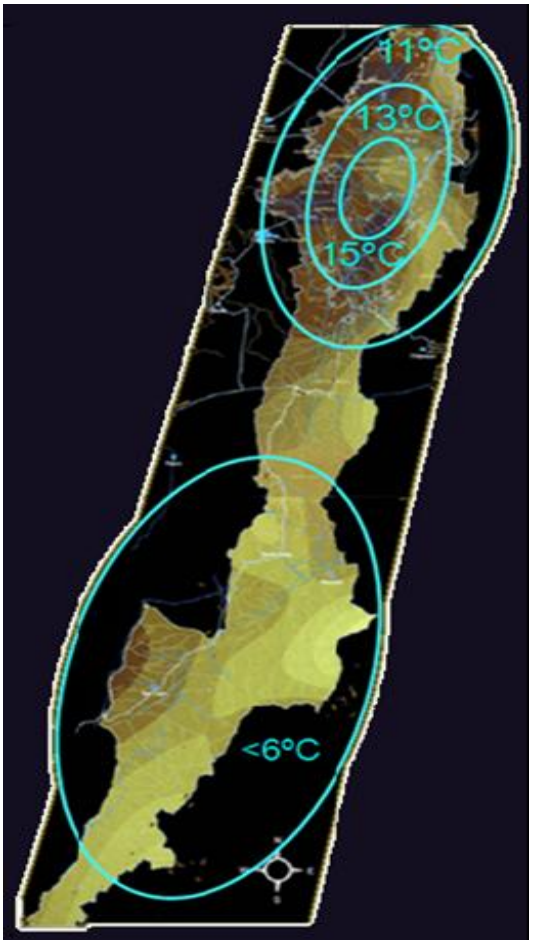
Figura 4-5: Detalle constructivo cubierta vegetal tipo aljibe (EREN, 2015, p. 73)



- Escenario de isla de calor

Como se muestra en la figura 4-6, las áreas céntricas de la ciudad de Bogotá D. C. presentan patrones de temperatura más elevados que aquellas ubicadas en las periferias y que en consecuencia tienen mayor influencia del área rural (Ángel, 2008, p. 77).

Figura 4-6: Áreas susceptibles de presentar islas de calor en Bogotá. (SDA, 2015)



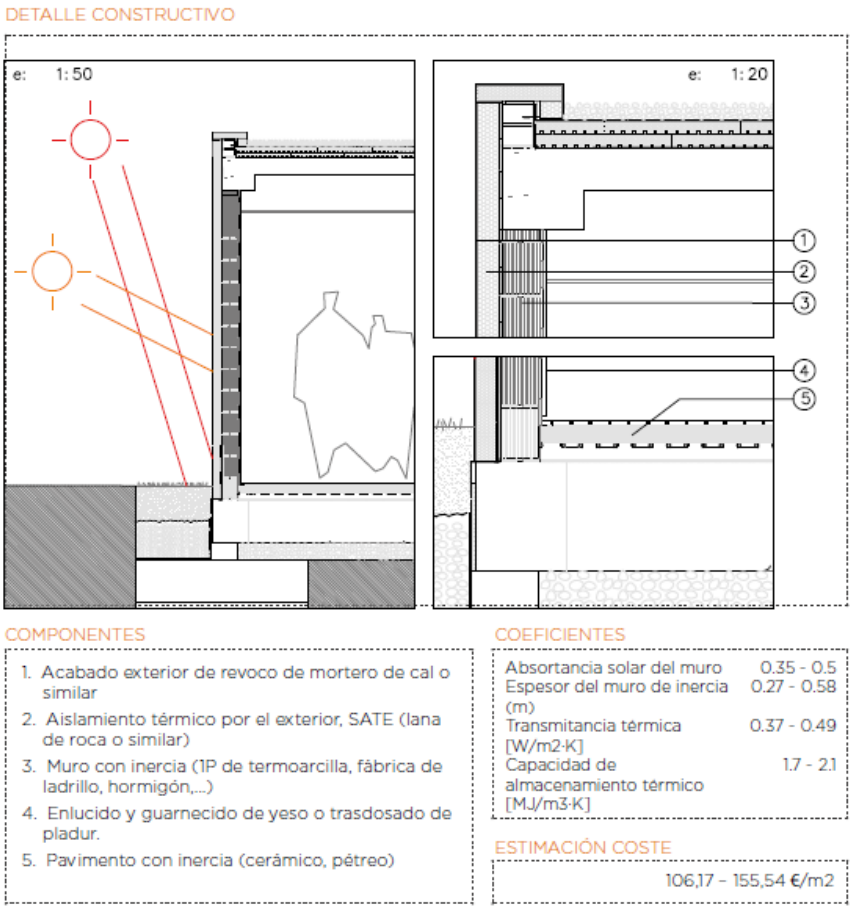
En estas áreas, proclives de presentar el fenómeno isla de calor, se sugiere, dentro de las posibilidades que el ambiente construido permita, la implementación de soluciones constructivas bioclimáticas que permitan atenuar la temperatura el ambiente, tales como: el muro de inercia térmica con SATE, la cobertura vegetal (horizontal y vertical), la cubierta captadora y la refrigeración evaporativa. A continuación, se hace una descripción de un caso particular de cada una de ellas.

Muro de inercia térmica con SATE (Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior). Esta alternativa busca combinar los beneficios de un muro con mayor masa con las ventajas de un buen aislamiento exterior. Así, la masa térmica queda hacia el

interior de la edificación prestándose como colchón térmico regulador de las variaciones térmicas del día; mientras que el aislamiento evita que se presenten pérdidas hacia afuera (EREN, 2015, p. 25). Los materiales usados en el SATE son los que cuentan con una capacidad calorífica aceptable (inferior a 40 kcal/m^2°C), entre estos están: la lana mineral, el poliestireno expandido (EPS), el poliuretano y la celulosa. Este aislamiento se protege con un revoque tradicional y el material de unión con el muro dependerá de la composición de los dos (EREN, 2015, p. 25).

El SATE se adapta tanto a las condiciones climáticas leves como a las más fuertes y puede aplicarse tanto en nuevas edificaciones como en las usadas, sin necesidad, en este último caso, de desalojar la vivienda (EREN, 2015, p. 25). En la figura 4-7 se muestra el detalle constructivo de un muro de inercia térmica con SATE.

Figura 4-7: Detalle constructivo de un muro de inercia térmica con SATE. (EREN, 2015, p. 25)



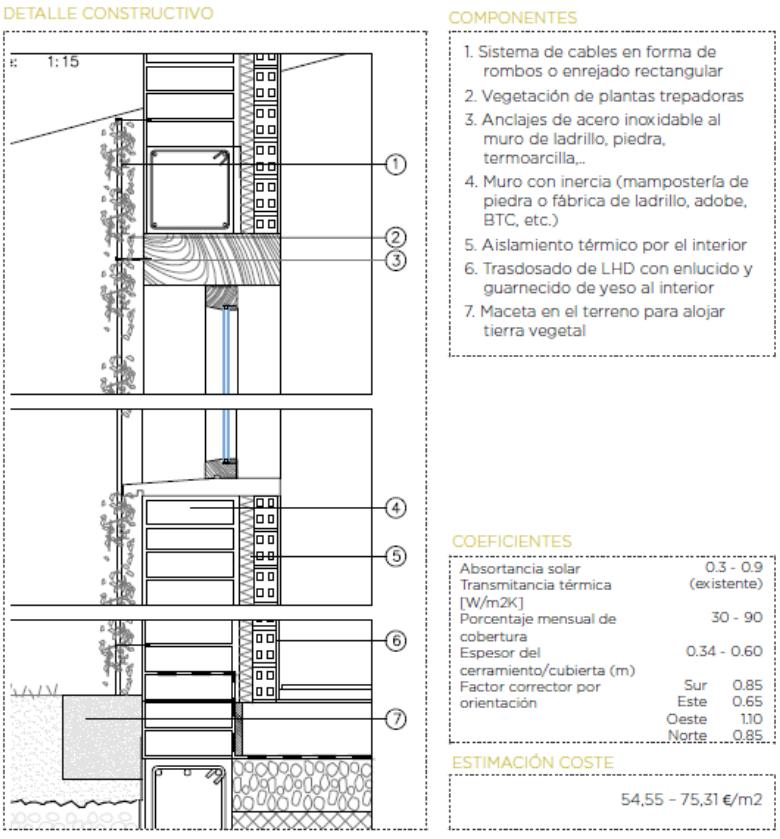
Cobertura vegetal vertical (jardines verticales): En este escenario (isla de calor) las coberturas vegetales cumplen un papel refrigerativo, y estas pueden ser coberturas horizontales, como los jardines internos o externos; o verticales como los muros

verdes o paredes vegetales. En este caso, seguidamente se hace una descripción de un tipo de jardín vertical denominado *pared vegetal extensiva de doble piel* (figura 4-8).

Esta solución bioclimática parte del principio de las fachadas vegetales tradicionales, pero con la diferencia de que emplea estructuras verticales, como rejas de acero inoxidable, alambres, o mallas; que sirven como apoyo para el crecimiento de las plantas. La idea es buscar una segunda piel o pantalla entre la superficie del edificio y el exterior. Se recomienda el uso del acero inoxidable por su resistencia a la corrosión, necesita poco mantenimiento, larga vida útil y es totalmente reciclable. Este sistema también puede incorporar el riego por goteo vertical, sensores y automatización.

En la ciudad de Bogotá D.C., especialmente en las áreas susceptibles de presentar islas de calor, se recomienda instalar este tipo de fachadas en las orientaciones este y oeste, y sur, por tener mayor incidencia solar directa en los meses de verano (MADS, 2012).

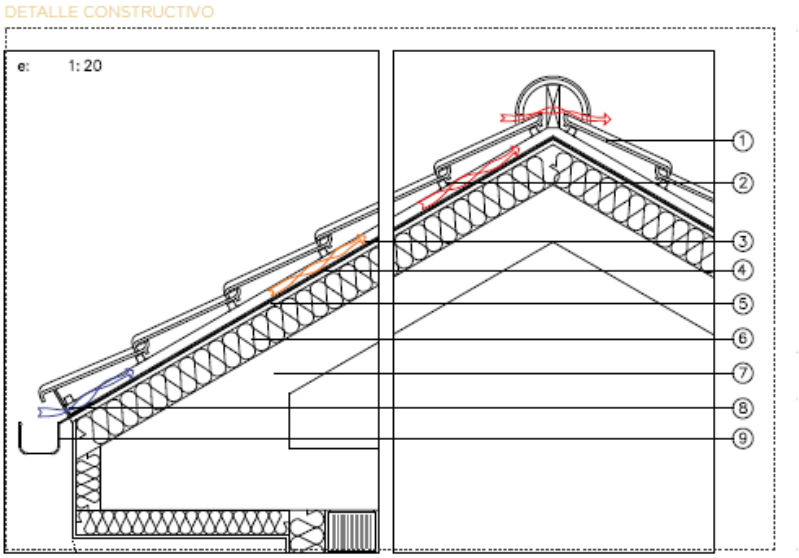
Figura 4-8: Detalle constructivo pared vegetal extensiva de doble piel (EREN, 2015, p. 78)



Cubierta captadora ventilada. Ante el escenario de ola o isla de calor se debe procurar, después de reducir las temperaturas de las zonas habitables, evacuar el aire caliente y aprovechar la radiación solar. En este sentido, existes muchas alternativas, entre esas están la cubierta ventilada, la doble cubierta ventilada y la cubierta captadora con conductos, entre otras; de las cuales en seguida se describirá la primera (EREN, 2015).

Esta alternativa de cubierta está concebida para evitar su sobrecalentamiento a través de la ventilación del aire caliente que se acumula bajo la cubierta debido al calor absorbido por su capa exterior, creando una capa de cubierta interior sombreada. Así, al construir unas aberturas con un mínimo de 10 cm se permite que el calor generado bajo cubierta se disperse en el aire obteniendo una temperatura similar a la del ambiente exterior (EREN, 2015, p. 33). La mejor forma de obtener la ventilación es mediante cubiertas inclinadas a dos aguas que tengan una cámara de espesor variable no habitable, como se observa en la figura 4-9, aunque también es posible producir la ventilación en cubiertas horizontales o inclinadas a una sola agua. Adicionalmente, para el aprovechamiento de la energía solar, se recomienda instalar sistemas de captación de la misma.

Figura 4-9: Detalle contractivo de una cubierta ventilada. (EREN, 2015, p. 33)



COMPONENTES

1. Teja cerámica (curva, plana o mixta)
2. Rastrel horizontal (madera o perfil metálico)
3. Listón vertical (madera o perfil metálico)
4. Lámina impermeabilizante reflectante y transpirable (Dupont Tyvek o similar)
5. Panel hidrófugo e=20 mm.
6. Aislamiento térmico rígido (mínimo 60 mm).
7. Forjado
8. Rejilla de entrada de aire (mínimo 100 mm).
9. Canalón

COEFICIENTES

Absortancia solar de la cubierta	0.70 - 087
Espesor de la cubierta (m)	0.45 - 0.47
Transmitancia térmica [W/m2-K]	0.305 -0.325
Capacidad de almacenamiento térmico [MJ/m3-K]	1.67

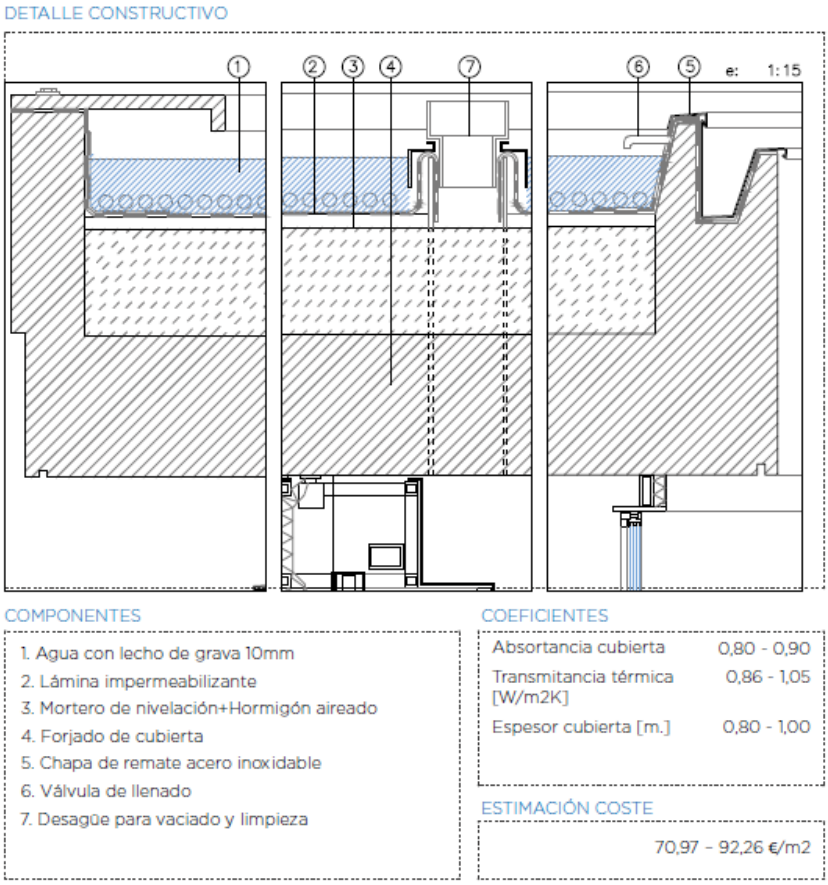
ESTIMACIÓN COSTE

53,05 – 191,35 €/m2

Refrigeración evaporativa mediante lámina de agua o cubierta inundable: Para reducir la temperatura del ambiente habitable en un evento de isla de calor en Bogotá D.C. es importante tener en cuenta que el calor que se siente en el interior de la edificación se debe a las condiciones microclimátcas que la rodean. Para esto, existen muchas soluciones bioclimáticas que implican poco gasto de energía convencional como son la celosía cerámica humedecida en hueco, la celosía con difusor de agua, la maceta con difusor bajo ventana y la lámina de agua - cubierta inundable (EREN, 2015, p. 85). De estas, a continuación se describe la última.

Esta solución consiste básicamente en la exposición de la mayor área posible de agua al ambiente exterior para permitir una mayor evaporación del agua que da como resultado una disminución de la temperatura del espacio adyacente. La mejor forma de lograrlo es a través de un depósito plano de poca profundidad, no superior a 20 cm. En la figura 4-10 se muestra el ejemplo de un detalle constructivo de una cubierta de lámina o espejo de agua que puede implementarse en espacios internos o externos de la vivienda; así como en la cubierta de la misma (EREN, 2015, p. 85).

Figura 4-10: Lámina de agua – cubierta inundable. (EREN, 2015, p. 86)



4.2 El caso de Cali

A continuación se hará una aproximación a la situación de Cali frente al cambio climático. Para esto, como en el caso anterior, se describirán algunos aspectos biofísicos, luego se abordarán las características climáticas de la ciudad, seguidamente se propondrán algunos de los escenarios futuros de riesgo derivados del cambio climático y se plantearán algunas características climáticas proyectadas para el año 2100. De acuerdo a lo anterior, finalmente, se sugerirán algunas prácticas de construcción de vivienda urbana en un contexto de cambio climático.

4.2.1 Situación de Cali frente al cambio climático

La ciudad de Cali, capital del departamento del Valle del Cauca, se localiza en el suroccidente del país, a unos 484 km de Bogotá D.C. El área urbana se Cali se localiza al costado occidental del rio Cauca y al oriente de los Farallones de Cali, que hacen parte de la Cordillera Occidental de los Andes colombianos (Alcaldía de Cali, 2016). Tiene una extensión de 564 km^2 (56.166 ha) y para el año 2010 se estimó que la población de Cali fue de 2.244.639 habitantes (Alcaldía de Cali, 2016), lo que genera densidad demográfica de 3.980 habitantes/$km^{2.}$ Para el año 2014, el suelo del municipio de Cali estaba conformado por un 21,5 % de suelo urbano, 75,5 % de suelo rural y 2,95 % de suelo de expansión (Alcaldía de Cali, 2016). Las principales corrientes de agua son las que hacen parte de la cuenca rio Cali, entre estas están los ríos Pichindé, Florida, Aguacatal y Cabuyal (CVC, 2016). Por otra parte, la expansión de la ciudad ha sido el resultado de la interacción de diversos procesos económicos, sociales, culturales y ambientales que han causado elevados costos ambientales, especialmente en la degradación progresiva de los ecosistemas de humedales y de la densa vegetación que evolucionó junto con el valle geográfico del rio Cauca (CVC, 2010).

- Caracterización bioclimática de Cali

La ciudad tiene un clima de sabana tropical (Alcaldía de Cali, 2016) tipo cálido seco, según la clasificación del IDEAM (MADS, 2012, P. 63), cuya variabilidad interanual está influenciada por los vientos alisios y el fenómeno de El Niño u Oscilación Sur (ENOS). Por otra parte, aunque la Cordillera Occidental bloquea parcialmente las corrientes de aire húmedo que vienen del Océano Pacífico, se percibe una agradable brisa marina que llega a la ciudad y a la mayor parte del Valle del Cauca (Alcaldía de Cali, 2016). Desde el punto de vista climático la ciudad de Cali presenta las siguientes características:

La *temperatura* media es de 23,1 °C, con una temperatura mínima promedio de 15 °C y una máxima de 32 °C (Alcaldía de Cali, 2016). La temperatura más alta y la más baja que se han registrado en Cali fueron de 39 °C y 14 °C respectivamente y se presentaron en los meses de agosto y junio de 1979 (Alcaldía de Cali, 2016).

La *precipitación* media anual es de 1.000 mm, y esta va desde los 900 mm en las zonas más secas como lo es el norte de la ciudad hasta los 1.800 mm en el sur donde se registran las zonas más lluviosas (Alcaldía de Cali, 2016). Con respecto a la variabilidad anual, se presentan abundantes precipitaciones entre los meses de abril y junio (primer periodo) y entre los meses de septiembre y noviembre (segundo periodo) (CVC, 2010). Como sucede en el hemisferio norte, la estación seca de más larga duración ocurre en los meses de verano, siendo fundamental la influencia de los vientos alisios y la migración de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) (CVC & Univalle, 2010).

La *humedad* presenta un valor que oscila entre el 70 % y el 75 %, dando como resultado un clima cálido seco, como sucede en la mayor parte del valle interandino del rio Cauca, y presentando poca variabilidad anual y espacial. (CVC, 2010).

- Escenarios de riesgo asociados al cambio climático para Cali

Los principales escenarios de riesgo que se proyectan para la ciudad en un contexto de cambio climático son el de inundación y el de olas de calor. Además, los incendios forestales y deslizamientos en los cerros tutelares de Cali (occidentales) son amenazas constantes (Fedesarrollo, 2013, p. 60).

Según la CVC y Fedesarrollo el escenario de *inundación* se presenta principalmente por el aumento de precipitaciones y cambio de caudales y calidad del agua de los ríos Cauca, Cali, Palo y sus afluentes. El rio Cauca y sus siete afluentes que atraviesan la ciudad solo son contenidos por un dique o jarillón, que ha sido invadido por 14.000 personas, que han establecido 2.620 viviendas sobre el mismo, deteriorándolo, “fracturándolo e incrementando el riesgo de colapso por rotura” (Fedesarrollo, 2013, p. 60). Este escenario impactaría de forma negativa la calidad de vida y salud de los caleños que habitan las zonas de riesgo de inundación y de deslizamiento en masa.

Por otra parte, está el fenómeno conocido como *ola de calor* o *episodio cálido*, que consiste en un periodo de tiempo anormalmente cálido en el cual las temperaturas máximas y mínimas superan, por lo menos durante 3 días consecutivos y en forma simultánea, ciertos valores que dependen de cada zona. (IPCC, 2013). Este fenómeno provocará una sensación térmica que se percibirá en la ciudad de caluroso a muy caluroso, principalmente en el periodo 2041 a 2070 (Fedesarrollo, 2013, p. 67). En este escenario se presentan un aumento notable del riesgo de incendios urbanos y forestales, así como los riesgos en la salud de los más vulnerables (niños, ancianos, enfermos, pobres, etc.) derivados del exceso de calor, como lo es la muerte por insolación. En conjunto con la humedad, las olas de calor también aumentan el riesgo de generar ambientes propicios para la proliferación de vectores de dengue y malaria (Fedesarrollo, 2013, p. 68).

- El clima de Cali para el año 2100

Según la Tercera Comunicación Nacional sobre el Cambio Climático (IDEAM, 2015, p. 52) para fin de siglo, Cali, y en general todo el departamento del Valle del Cauca, podrá presentar elevaciones de temperatura promedio de 2,4 °C adicionales a los valores actuales. Se proyecta que las precipitaciones pueden aumentar un 6% sobre los valores actuales. Los principales efectos se presentarían en el sector agrícola, particularmente en los monocultivos extensivos, debido a los cambios bruscos de temperatura, así como en la proliferación de plagas asociadas a la precipitación (IDEAM, 2015, p. 52). También se espera que el aumento de las temperaturas genere olas de calor en determinados sectores de la ciudad. A continuación, en la tabla 4-2, se presentan algunos valores de cambio de temperatura y precipitaciones proyectados para el Valle del Cauca para tres diferentes periodos comprendidos entre 2011 y 2100.

Tabla 4.2: Cambios de temperatura y precipitaciones Valle del Cauca 2011-2100 (IDEAM, 2015)

TABLA POR PERIODOS / ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO 2011-2100					
2011-2040		2041-2070		2071-2100	
Cambio de Temperatura media °C	Cambio de Precipitación (%)	Cambio de Temperatura media °C	Cambio de Precipitación (%)	Cambio de Temperatura media °C	Cambio de Precipitación (%)
0,9	6,59	1,6	6,08	2,4	6,14

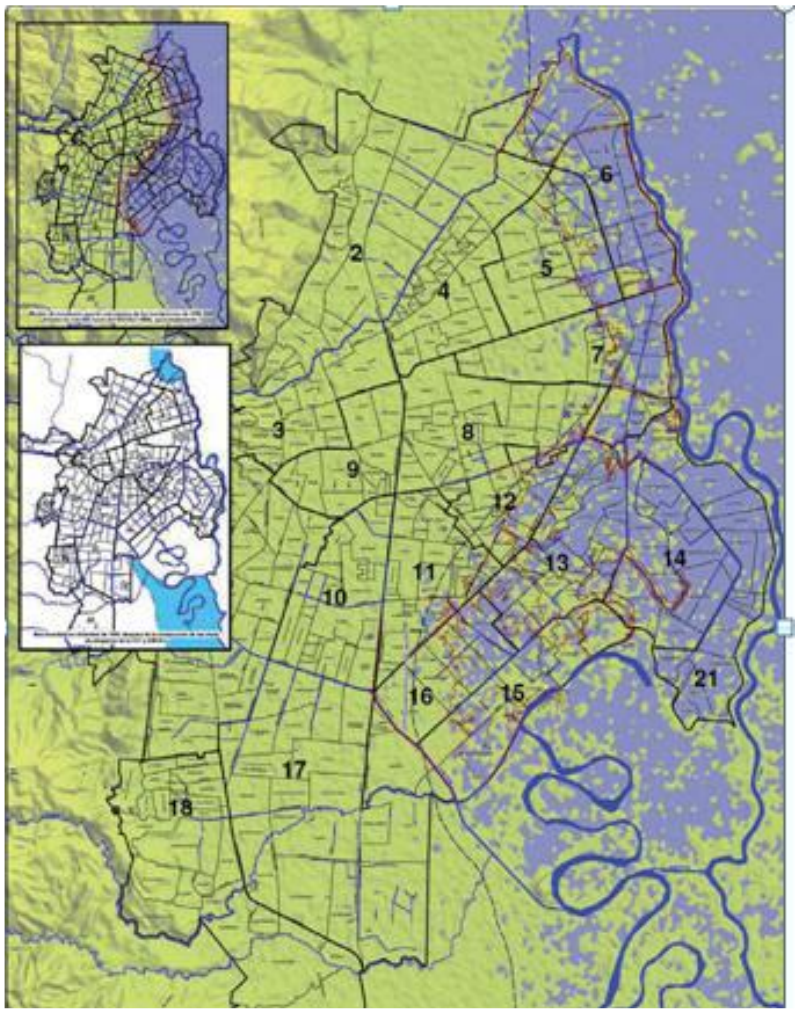
4.2.2 Practicas sostenibles de construcción bioclimática de vivienda recomendadas para Cali (año 2100)

Se observa que tanto las condiciones climáticas actuales de la ciudad de Cali (clima cálido) como las proyectadas para el año 2100 se direccionan hacia el aumento de las temperaturas y precipitaciones; y en consecuencia hacia los escenarios de riesgo de inundaciones por desbordamiento y olas y/o islas de calor. En este sentido, se sugiere la implementación de las siguientes soluciones o prácticas bioclimáticas en la construcción de vivienda urbana:

- Escenario de inundaciones y/o empozamientos

Localización: Como en todos los escenarios de riesgo de inundación, la principal estrategia es evitar el desarrollo de proyectos de vivienda urbana en los suelos que se encuentran bajo esta amenaza. Como se muestra en la figura 4-11, las áreas inundables de Cali suman un área de 112,06 km^2, que equivale a un 20 % del total de la superficie de la ciudad, en la que, infortunadamente, habitan alrededor de 362.000 personas en 76.436 viviendas. Las comunas que presentan mayor afectación son, en su orden: la 21, 6, 14, 7 y 13 (Henao, 2011, 92).

Figura 4-11: Mapa del área de inundación simulada para la ciudad de Cali. (Corporiesgos & Alcaldía de Cali, 2010)

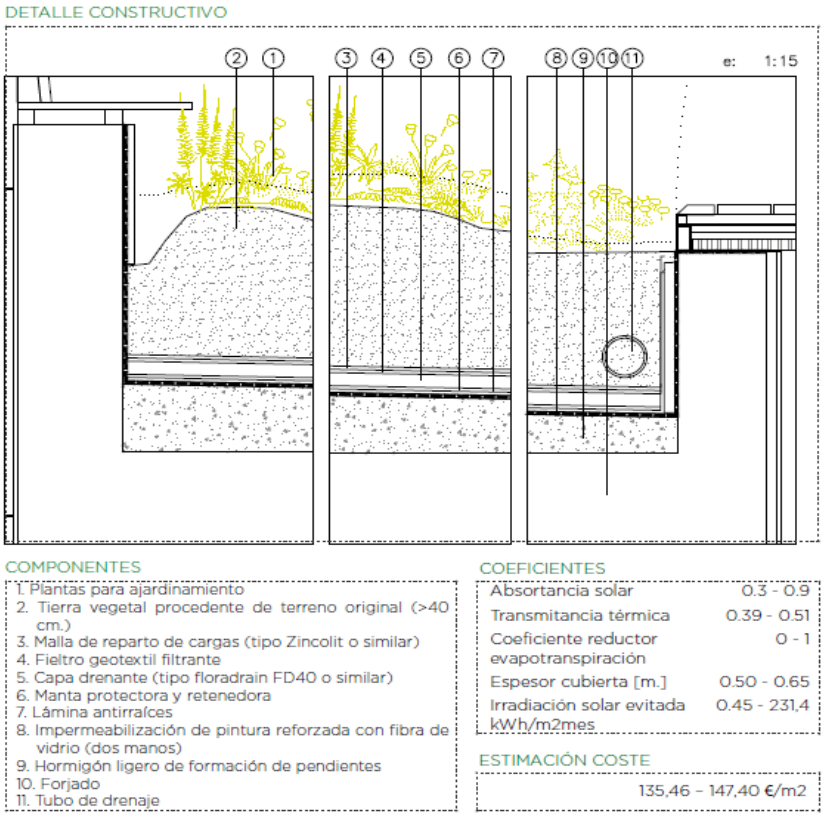


Cubierta vegetal intensiva: La capacidad de filtración y almacenamiento de los excesos de agua que ofrece el suelo y la cobertura vegetal son una solución bioclimática natural muy eficiente ante la elevada impermeabilización de la superficie del área urbana de la ciudad de Cali y la alta escorrentía superficial que esta produce. Al igual que en caso de Bogotá D.C., la solución bioclimática más común en la construcción de vivienda urbana es la implementación de jardines (horizontales o verticales) y las cubiertas vegetales.

El ecosistema autóctono de Cali, y en general del Valle del Cauca, es de bosque seco tropical (CVC, 2016). Este bosque se desarrolla en donde los periodos secos y de lluvia están bien definidos. En este contexto, según la CVC, las especies vegetales autóctonas aptas para las coberturas vegetales tipo jardín y cubiertas verdes en la ciudad de Cali son: el quereme, el lirio, la salvia, la altamisa, la pasiflora, el diente de león y la ruda, entre otras.

Como anteriormente se mencionó, existen diversas variables de la cobertura vegetal. En la figura 4-12 se muestra un ejemplo de un detalle de una cubierta vegetal intensiva que se presta para regular los excesos de agua pluvial en la ciudad de Cali.

Figura 4-12: Detalle constructivo de una cubierta vegetal intensiva. (EREN, 2015, p. 70)



Las cubiertas intensivas, son, por definición, más pesadas que las extensivas; cuentan con capas de sustrato de mayor espesor (mayor a 15 cm); y están en capacidad de acoger a plantas de mayor tamaño como especies de tamaños medio, arbustos y algunos árboles. Además de tener una función reguladora del agua y a la vez refrigerativa (en situaciones de calor), también brindan la posibilidad de permitir el acceso del público. Razones por las cuales requieren un mantenimiento regular (y más costoso) y sistemas de riego y drenaje apropiados.

- Escenario de isla y/u ola de calor

El aumento progresivo de las temperaturas proyectado para la región del Valle del Cauca, y en general para todo el país, impulsado por el cambio climático actual, incrementará la posibilidad de la ocurrencia del fenómeno isla y/u ola de calor. Situación que hace necesario el diseño e implementación de soluciones constructivas bioclimáticas pasivas, es decir, soluciones basadas más en el diseño

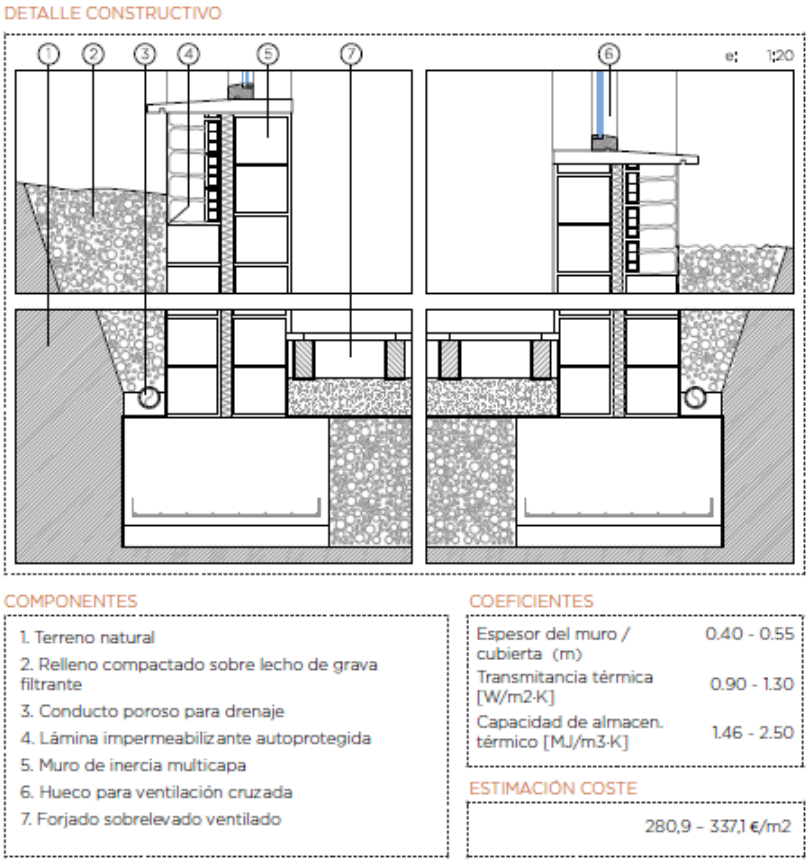
que en la tecnología. Entre este tipo de soluciones están: el control de la radiación solar mediante la orientación de la edificación, el aprovechamiento de la geotermia, la cubierta vegetal, los aleros y soportales y la refrigeración evaporativa; de las cuales, a continuación, se hará una descripción de un caso particular de cada una de ellas.

Orientación de la edificación: Teniendo en cuenta que la mayor incidencia de los rayos solares proviene del este y el oeste; y en menor medida del sur; se recomienda que la fachada principal de la vivienda en la ciudad de Cali, o el área de mayor extensión de la misma, se oriente hacia el norte (MADS, 2012).

Forma y distribución de los espacios: Considerando que la ciudad de Cali presenta un clima cálido, que tenderá a calentarse aún más en las próximas décadas, se recomienda una forma preferiblemente cuadrada con el fin de evitar largas fachadas expuestas al sol (MADS, 2012). En caso de viviendas adosadas y también aisladas, se sugiere una cubierta plana o ligeramente inclinada, una altura libre mínima de 2,7 m, muros gruesos y masivos, ventanas pequeñas en fachadas este y oeste (menor ganancia solar directa), cubiertas y muros externos con colores claros (que reflecten la luz solar), y un volumen amplio para mayor dispersión del calor. También se sugiere, en lo posible, un patio interno con cobertura vegetal; y ventanas grandes dirigidas hacia el norte (MADS, 2012).

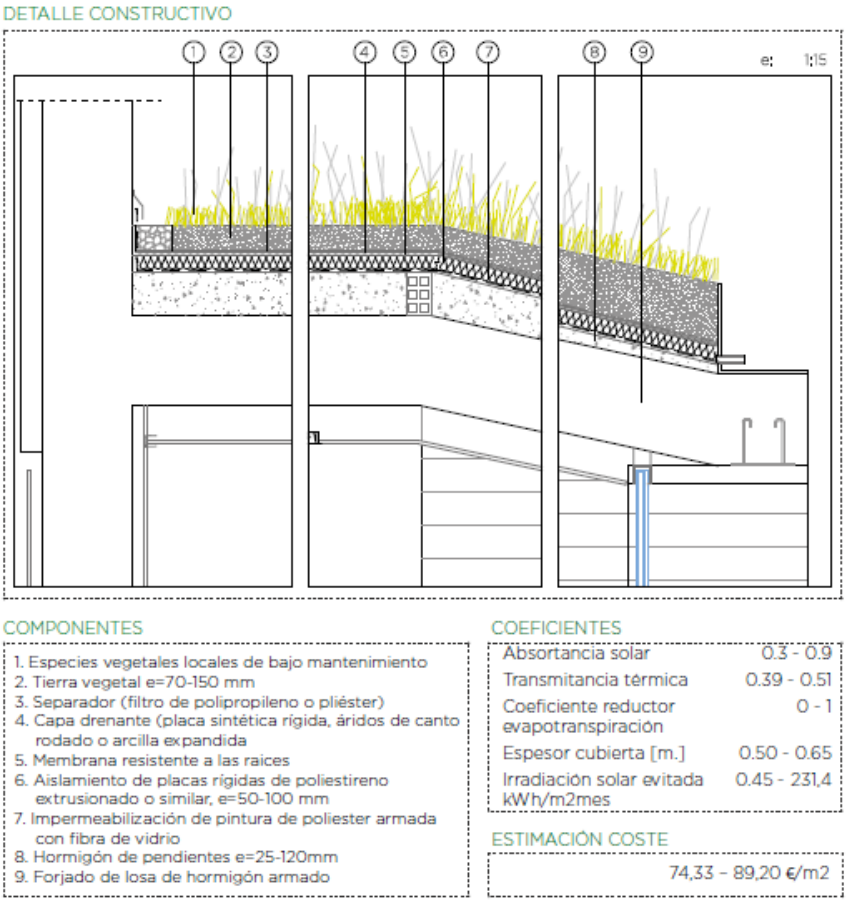
Construcción semienterrada: Esta es una de las diversas formas del aprovechamiento de la geotermia y de la temperatura casi constante del suelo, la cual oscila alrededor de 14 °C a partir de los tres metros de profundidad (EREN, 2015, p. 15); y además resuelve el problema de las diferencias de nivel. Esta solución consiste básicamente en poner en contacto directo parte de la superficie exterior de una o varias caras del edificio con un relleno compactado sobre un lecho de grava filtrante con su respectivo sistema de drenaje; que a su vez está en contacto con el terreno natural, como se muestra en la figura 4-13.

Figura 4-13: Detalle constructivo de una construcción semienterrada. (EREN, 2015, p. 18)



Cubierta vegetal extensiva: En este escenario las distintas formas de cobertura vegetal: jardines horizontales y verticales; y cubiertas vegetales, tienen un papel primordialmente refrigerativo. En este sentido, a continuación, se describe una cubierta vegetal extensiva (figura 4-14). Solución bioclimática que consiste en un recubrimiento ligero de menos de 15 cm de espesor conformado por un sustrato fino, en el que se emplean plantas de pequeño tamaño como musgos o hierbas. Estas requieren poco mantenimiento y por lo general no están expuestas al tránsito del público. Esta alternativa es la más utilizada en edificios ya que agregan poca carga a la estructura y los costos de instalación y mantenimiento es bajo (EREN, 2015, p. 70). En la figura 4-14 se muestra el detalle constructivo de esta alternativa bioclimática como continuación con el terreno natural.

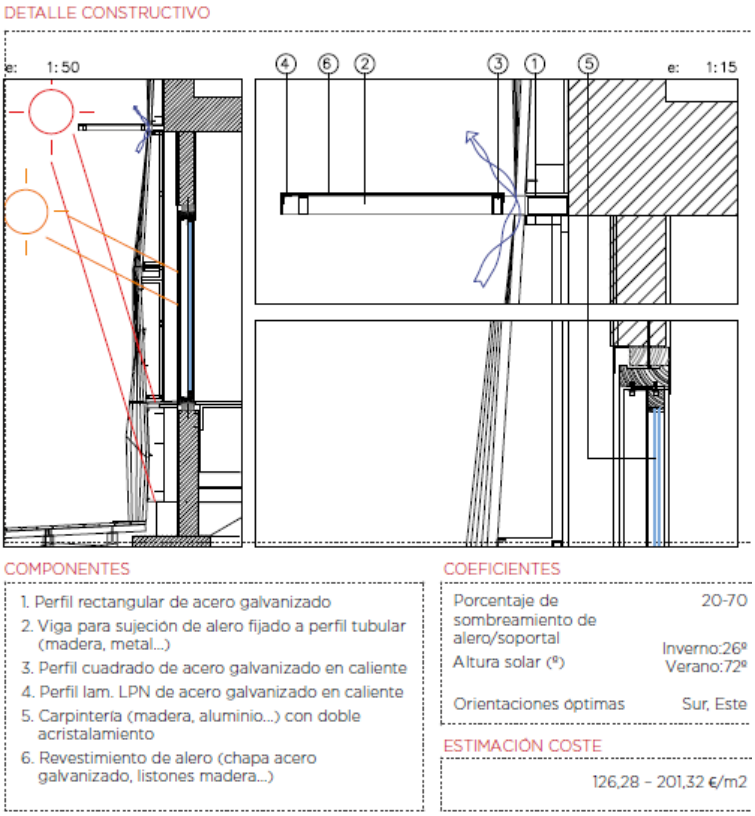
Figura 4-14: Detalle constructivo de una cubierta vegetal extensiva en continuación con el terreno natural. (EREN, 2015, p. 70)



Alero separado de la pared: Como se dijo anteriormente (capitulo dos) el alero es un elemento horizontal concebido para proteger las aberturas de la fachada de la radiación solar. Existen muchas variables del alero, entre ellas están: el alero separado de la pared (el cual se describe a continuación), el alero con cierre lateral según orientación, el balcón (EREN, 2015, p. 64).

El alero separado de la pared consiste en su instalación sobre la abertura de la fachada, separado de ésta el espacio necesario para que pueda entrar la iluminación solar (aproximadamente 10 cm). Esta separación se hace para evitar el calentamiento de la fachada, así como para permitir la ventilación y disipación del calor (figura 4-15). Con respecto al color del alero y de la fachada, se recomienda que sean colores claros para que reflejen parte de la radiación recibida.

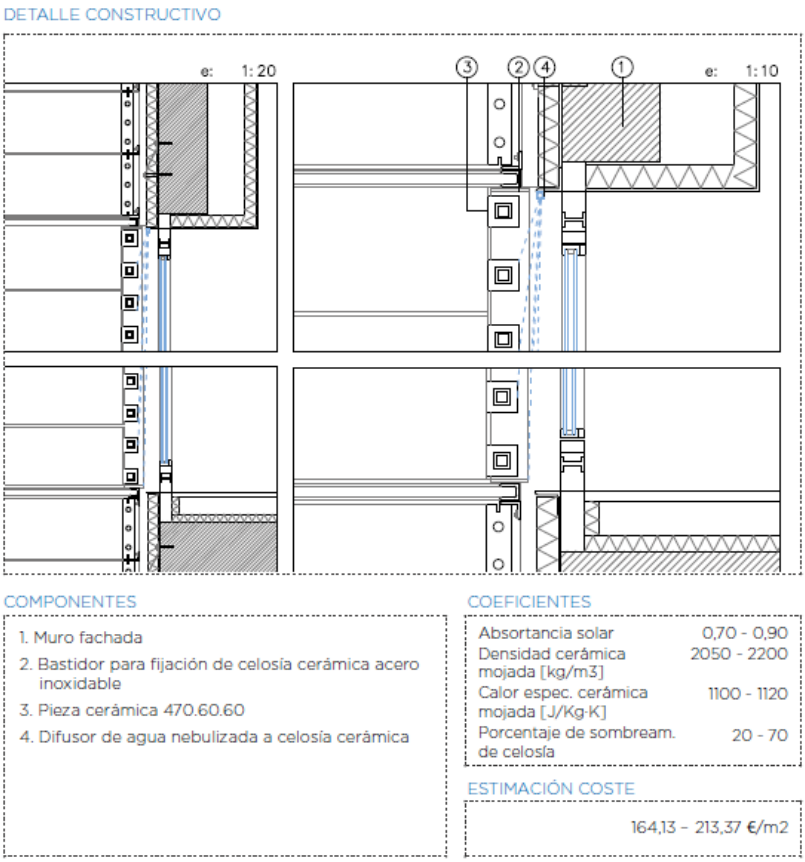
Figura 4-15: Detalle constructivo de un alero separado de la pared. (EREN, 2015, p. 62)



Refrigeración evaporativa mediante celosía cerámica humedecida en hueco: este tipo de refrigeración se da mediante la pulverización del agua líquida en el aire. La superficie de enfriamiento es una celosía[14] cerámica porosa hueca, cilíndrica o rectangular, situada frente a la ventana, que es continuamente humedecida mediante un difusor de agua, como se aprecia en la figura 4-16. Así, la superficie cerámica intercambia calor y humedad con el aire por sus dos caras, principalmente con la interior. La cerámica es un material apropiado para esta función por sus características de porosidad, y resistencia (EREN, 2015, p. 87).

[14] Celosía: es un tablero reticular para cerrar ventanas y balcones, que impide ser visto pero permite ver y deja penetrar la luz y el aire (Nieto, 2012).

Figura 4-16: Detalle constructivo de una celosía cerámica humedecida en hueco. (EREN, 2015, p. 87)



Hasta el momento se han presentado algunos ejemplos de las soluciones constructivas bioclimáticas, sugeridas para dos de los escenarios de riesgo climático más probables (inundación e isla de calor), proyectados para las ciudades de Bogotá D.C. y Cali, de cara a las condiciones climáticas del año 2100.

Finalmente, en la tabla 4-3, se presenta una síntesis de las mismas y algunos aspectos vistos relacionados con la forma y distribución de los espacios en ambos casos.

Tabla 4.3: Cuadro síntesis soluciones constructivas bioclimáticas (Elaboración propia)

Escenario de riesgo asociado al cambio climático (año 2100)	**Solución constructiva bioclimática**	
	Bogotá D.C.	**Cali**
Inundaciones y/o empozamientos	Localización Cobertura vegetal Sistemas de drenaje sostenibles	Localización Cobertura vegetal Sistemas de drenaje sostenibles
Isla y ola de calor	Muro de inercia térmica Cobertura vegetal Muro trombe Cubierta captadora Refrigeración evaporativa	Geotermia Cobertura vegetal Muro trombe Cubierta captadora Aleros y soportales Refrigeración evaporativa
Condiciones climáticas cotidianas actuales	Invernadero adosado Galería acristalada Muro trombe Cubierta captadora	Cobertura vegetal Cubierta captadora Aleros y soportales Refrigeración evaporativa
Forma y distribución de los espacios	Forma: Cuadrada o rectangular	Forma: Cuadrada
	Cubierta: Plana o ligeramente inclinada	Cubierta: Plana o ligeramente inclinada
	Altura libre mínima: 2,3 m	Altura libre mínima: 2,7 m
	Muros: Gruesos y masivos	Muros: Gruesos y masivos
	Ventanas externas: Grandes	Ventanas externas: Pequeñas
	Colores externos: Oscuros	Colores externos: Claros
	Volumen: Compacto	Volumen: Amplio

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

El cambio climático actual implica una nueva forma de concebir los sistemas constructivos de vivienda urbana; de tal forma que en el diseño y ejecución de los proyectos se tengan en cuenta las variables ambientales futuras, especialmente las climáticas, de la región en donde se construye.

Los principales criterios o factores de construcción bioclimática son la localización y orientación, los materiales de construcción, la forma y distribución de los espacios, el aprovechamiento y control de la radiación solar, la ventilación, el agua, la vegetación, la geotermia y la refrigeración evaporativa. Factores que se integran, combinan y complementan para optimizar el aprovechamiento de los componentes ambientales mediante técnicas, soluciones o prácticas, que permiten la obtención de espacios habitables confortables, sanos y sostenibles.

Las proyecciones generales del cambio climático para Bogotá D.C. y Cali indican aumentos de temperatura e incrementos de la pluviosidad, lo que acarreará una mayor frecuencia de los escenarios de islas de calor e inundaciones. Ante el primer escenario la solución bioclimática más adecuada es la construcción de edificaciones con mayor inercia térmica. Entre los elementos con mayor inercia térmica está el tradicional muro de adobe. En el escenario de inundación, la principal estrategia bioclimática es evitar el desarrollo de proyectos de vivienda en áreas de alto riesgo no mitigable por inundación y/o deslizamiento en masa y el incremento de las coberturas vegetales.

Como futuros administradores de la construcción, es nuestro deber, con respecto a los componentes ambientales empleados en la labor constructiva, racionalizar su uso, sustituirlos con sistemas alternos y manejar el impacto ambiental mediante soluciones pasivas sostenibles.

Recomendaciones

Para el caso de Bogotá D.C., una ciudad con un clima actual predominante frio, se recomienda el empleo de técnicas constructivas bioclimáticas para el aprovechamiento de la radiación solar; como son la orientación de la vivienda, la forma y distribución de los espacios, el invernadero adosado, la galería acristalada, el muro trombe y la cubierta captadora. En cuanto a las condiciones climáticas futuras, consistentes en aumentos de las precipitaciones entre el 10 % y el 30 % y un aumento de la temperatura media de 2,3 °C adicionales a los valores actuales; la sugerencia general es evitar el desarrollo de proyectos de vivienda (localización) en los suelos que han sido declarados como de alto riesgo no mitigable por inundación y/o deslizamiento en masa; y en el caso de las islas de calor: la implementación de soluciones constructivas bioclimáticas que permitan atenuar la temperatura el ambiente, tales como: el muro de inercia térmica, la cobertura vegetal (horizontal y vertical), la cubierta captadora y la refrigeración evaporativa.

Para el caso de Cali, tanto las condiciones climáticas actuales (clima cálido) como las proyectadas para el año 2100 (aumento de las precipitaciones en un 6 % y de las temperaturas en 2,4 °C) se direccionan hacia los escenarios de riesgo de inundación e islas de calor. Por tanto, las soluciones bioclimáticas recomendadas son: en el primer escenario la estrategia de localización y el incremento de la cobertura vegetal; y en el escenario de ola de calor: el control de la radiación solar mediante la orientación de la edificación, el aprovechamiento de la geotermia, la cubierta vegetal, los aleros y soportales y la refrigeración evaporativa.

Bibliografía

Abilia. (2016). *Curitiba, un ciudad verde y sustentable*. Recuperado de http://conciencia-sustentable.abilia.mx/curitiba-ciudad-verde-sustentable/

Aguayo, F; Peralta, M; Lama, J.; Soltero, V. (2013), *Ecodiseño. Ingeniería sostenible de la cuna a la cuna*. Primera Edición. Ed. Alfaomega. México D.F. p. 264.

Alcaldía de Cali. (2016). *Datos de Cali y el Valle del Cauca*. Recuperado de http://www.cali.gov.co/publicaciones/datos_de_cali_y_el_valle_del_cauca_pub

Alfaro Mori, A. (2010). Un mundo perfecto. Recuperado de http://wwwunmundoperfecto.blogspot.com/2010/02/cambio-climatico-un-problema-politico.html

Ángel, L. (2008). *Temperatura y urbanización en Bogotá. Una mirada a las tendencias espacio-temporales de la temperatura del aire en relación a los procesos de urbanización.* Bogotá D.C.: Secretaría Distrital de Ambiente.

ATECOS. (n.d.). *Sistemas pasivos: Inercia térmica*. Recuperado de http://www.miliarium.com/ATECOS/HTML/Soluciones/Fichas/Sistemas_pasivos_inercia_termica.PDF

Barton, J. R. (2009). Adaptación al cambio climático en la planificación de ciudades-regiones. En *Revista de Geografía Norte Grande*, *43*, 5–30. Universidad Católica de Chile.

Buckley, B.; Hopkins, E. & Whitaker. (2004). *Meteorología.* Barcelona: Editorial Ceac S.A.

Carrizosa Umaña, J. (n.d.). Evolución del concepto de desarrollo sostenible. (Ponencia) Instituto de Estudios Ambientales, Bogotá D.C., Universidad Nacional de Colombia, p. 17.

Casa Renovable. (2015). *¿Qué es la construcción bioclimática?* Recuperado de casarenovable.org/energia-renovable-construccion-bioclimatica.asp

CEPAL. (2013). *Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina*. Santiago de Chile: Ed. Naciones Unidas.

CEPAL. (2013). *Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina*. Santiago de Chile: Ed. Naciones Unidas.

Comité para la Investigación Escéptica. (2014). *Deniers are not Skeptics*. Recuperado de: http://www.csicop.org/news/show/deniers_are_not_skeptics

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca -CVC- & Universidad del Valle. (2010). *Informe del análisis de las tendencias climáticas en la cuenca del rio Cauca*. Recuperado de http://www.cvc.gov.co/images/CVC/Tematicas/Cambio_Climatico/La_CVC_frente_al_cambio_climatico/INFORME-CVC-UNIVALLE-ANALISIS-DE-TENDENCIAS-CLIMATICAS-EN-LA-CUENCA-DEL-RIO-CAUCA.pdf

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca -CVC-. (2016). *Temáticas*. Recuperado de http://www.cvc.gov.co/index.php/tematicas

Corporiesgos y Alcaldía de Cali. (2010). *Plan local de emergencias y contingencias para la ciudad de Cali*. Cali.

Cosntrudata. (2013). *Especificaciones técnicas y arquitectónicas. Cubiertas y jardines verticales*. Recuperado de http://www.construdata.com/Bc/Otros/Documentos/especificaciones_tecnicas_y_arquitectonicas.asp

Economist Intelligence Unit -EIU-. (2010). *Índice de ciudades verdes de América Latina*. Una evaluación comparativa del impacto ecológico de las principales ciudades de América Latina. Munich: Ed. Siemens AG. Recuperado de http://www.siemens.com/press/pool/de/events/corporate/2010-11-lam/Study-Latin-American-Green-City-Index_spain.pdf

Ecourbanismo. (2014). *La ciudad y los efectos del cambio climático. El sentido de la urgencia.* Recuperado de http://urbanismosostenible.blogspot.com.co/2011/12/la-ciudad-y-la-lluvia.html

Ente Regional de Energía de Castilla y León -EREN-. (2015). *Manual práctico de soluciones constructivas bioclimáticas para la arquitectura contemporánea.* Ed. Junta de Castilla y León.

Erickson, J. (1998), *El Efecto Invernadero. El desastre de mañana, hoy*. Madrid: Editorial McGraw Hill. pp. 217.

Fedesarrollo. (2013). *Ciudades y Cambio Climático en Colombia*. Bogotá D.C. Recuperado de http://www.fedesarrollo.org.co/wp-content/uploads/AFD_Ciudades-y-cambio-clim%C3%A1tico-en-Colombia_fichas-de-diagn%C3%B3stico.pdf

Garduño, R. (1998). *El veleidoso clima*. México D.F.: Fondo de Cultura Económica de México.

Giddens Anthony. (2010). *La Política del Cambio Climático*. Madrid: Alianza Editorial. pp. 303.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático -IPCC-. (2013). *Cambio Climático 2013. Bases físicas. Resumen para responsables de políticas, resumen técnico y preguntas frecuentes.* Berna - Suiza.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático -IPCC-. (2014). *Cambio climático 2014. Impactos, adaptación y vulnerabilidad.* Berna - Suiza.

Henao, L. (2011*). Aproximación a un escenario de riesgo frente al rompimiento del jarillón del rio Cauca en la ciudad de Cali*, [trabajo de grado], Cali, Universidad del Valle. Pregrado en Ingeniería Civil.

IDEAM. (2013), *Estudio de la Caracterización Climática de Bogotá y Cuenca Alta del Rio Tunjuelo*, Bogotá D.C

IDEAM. (2015). *Tercera comunicación nacional sobre el cambio climático*. Recuperado de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022964/documento_nacional_departamental.pdf

IDIGER. (2015), *Plan Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático para Bogotá D.C., 2015-2050. Documento Técnico de Soporte*. Bogotá D.C.

LSAP. (n. d.). *Espectrometría infrarroja*. Recuperado de: http://www.uhv.es/sites/pecas/doc/poster_infrarojo.pdf

Masters, G. & Ela, W. (2008). *Introducción a la Ingeniería Ambiental*. Madrid: Ed. Pearson – Prentice Hill

Merritt, F.; Kent, M. & Ricketts, J. (1999). *Manual del Ingeniero Civil*. México D.F.: Ed. McGraw Hill.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible –MADS-. (2012). *Criterios Ambientales para el Diseño y Construcción de Vivienda Urbana*. Bogotá D.C.: Unión Temporal Construcción Sostenible S.A. y Fundación FIDHAP.

Naciones Unidas. (2014). *Más de la mitad de la población vive en áreas urbanas y seguirá creciendo*. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. Recuperado de: http://www.un.org/es/development/desa/news/population/world-urbanization-prospects-2014.html

Nieto, N. (2012). *Construcción de edificios. Diseñar para construir*. Bogotá D.C.: Ediciones de la U.

Pabón, J. D. (2003). El cambio climático global y su manifestación en Colombia. En *Cuadernos de Geografía - Universidad Nacional de Colombia*, *12*, 111–119.

Pérez, C. & Muñoz, A. (2006). *Teledetección: nociones y aplicaciones*. Salamanca: Ed. Universidad de Salamanca.

Qualinhabitat. (2011). Recuperado de http://www.qualinhabitat.com/bloginmobiliario/2010/12/

Rodríguez, V. (2005), *Introducción a la Arquitectura bioclimática*. México D.F.: Ed. Limusa S.A.

Rúa Rodríguez, J. A. (2014). *Urbanismo sostenible: un enfoque desde la planeación*. Bogotá D.C.: Ed. Unisalle.

Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá -SDA-. (2015). *Guía de techos verdes y jardines verticales para Bogotá D.C*. Bogotá D.C.

Secretaría Distrital de Planeación de Bogotá -SDP-. (2014). *Región Metropolitana de Bogotá: una visión de ocupación del suelo*. Bogotá D.C.

Secretaría Distrital de Planeación de Bogotá -SDP-. (2014a). *Política pública de ecourbanismo y construcción sostenible*. Bogotá D.C.

Up the Green. (2014). Curitiba: la ciudad sostenible es posible. Recuperado de http://upthegreen.blogspot.com.co/2014/07/curitibala-ciudad-sostenible-es-posible.html

Weart, S. (2006). *El calentamiento global: historia de un descubrimiento científico*. Cambridge - Massachusetts. Laetoli, Ed.