

ESTRATEGIAS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y LOS
NIVELES DE CONFORT TÉRMICO EN LA HABITABILIDAD DE LA VIVIENDA DE
INTERÉS SOCIAL, A PARTIR DEL ESTUDIO DE LAS VARIABLES CLIMATOLÓGICAS
DE LA CIUDAD DE CÚCUTA

MARTHA ISABEL CONTRERAS QUINTERO

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERIAS

MAESTRÍA EN SOSTENIBILIDAD

MEDELLÍN

2023

ESTRATEGIAS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y LOS
NIVELES DE CONFORT TÉRMICO EN LA HABITABILIDAD DE LA VIVIENDA DE
INTERÉS SOCIAL, A PARTIR DEL ESTUDIO DE LAS VARIABLES CLIMATOLÓGICAS
DE LA CIUDAD DE CÚCUTA

MARTHA ISABEL CONTRERAS QUINTERO

Trabajo de grado para optar al título de
Maestría en Sostenibilidad

Asesor

GUILLERMO PENAGOS GARCIA

Ph.D. en Sostenibilidad

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERIAS

MAESTRÍA EN SOSTENIBILIDAD

MEDELLÍN

2023

Medellín, 3 de marzo de 2023

Martha Isabel Contreras Quintero

“Declaro que este trabajo de grado no ha sido presentado con anterioridad para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o en cualquiera otra universidad”. Art. 92, párrafo, Régimen Estudiantil de Formación Avanzada.

Firma del autor



Con amor, para mi madre Anita e hija Isabella

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	8
RESUMEN.....	9
1 Tema	10
2 Modalidad de trabajo de grado	10
3 Problema	11
4 Justificación	12
5 Marco referencial	13
5.1 Marco conceptual	13
5.2 Marco Legal.....	18
5.3 Estado del arte.....	22
6 Fundamentación del proyecto.....	27
6.1 Objetivo General.....	27
6.2 Objetivos Específicos.....	27
6.3 Metodología.....	27
6.4 Cronograma.....	28
7 Resultados.....	29
7.1 El clima de San José de Cúcuta	29
7.2 Estrategias de la Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía para la vivienda de interés social del clima cálido seco.	34
7.3 Estudio de caso	39
7.3.1 Análisis incidencia solar.....	42
7.3.2 Análisis de sombras.....	46
7.3.3 Comparativo de Incidencia solar y análisis de sombras	48
7.4 Estrategias de diseño	50
7.4.1 Orientación del proyecto en relación al sol.....	51
7.4.2 Protección solar.....	51
7.4.3 Relación Ventana Pared.....	54
7.4.4 Ventilación natural	54
7.4.5 Balance térmico.....	55
CONCLUSIONES	57
REFERENCIAS	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo día y noche Fuente: Serra (1999).....	16
Figura 2. Recorrido del aire. Fuente: Serra (1999).....	17
Figura 3. Mapa de localización y límite de Cúcuta. Fuente: POT Cúcuta (2019) /Milenioscuro (2015)	29
Figura 4. Temperatura promedio anual de Cúcuta. Fuente: IDEAM.....	31
Figura 5. Brillo solar anual de Cúcuta. Fuente: IDEAM	31
Figura 6. Precipitación promedio anual de Cúcuta. Fuente: IDEAM.....	32
Figura 7. Humedad relativa Anual Cúcuta. Fuente: IDEAM.....	32
Figura 8. Rosa de Vientos Cúcuta Promedio Anual. Fuente: IDEAM	33
Figura 9. Mapa clima Norte de Santander, Cúcuta. Fuente: IDEAM	35
Figura 10. Localización Conjunto Cerrado Los Arrayanes. Fuente: Metrovivienda Cúcuta	39
Figura 11. Localización y Límites Conjunto Cerrado Los Arrayanes.....	40
Figura 12. Vista urbana Conjunto Los Arrayanes Fuente: Findeter	40
Figura 13. Planta urbana. Fuente: UT Ciudad Rodeo	41
Figura 14. Vista Norte Conjunto Los Arrayanes Fuente: Findeter	41
Figura 15. Solsticio Invierno Fachada Sur-Este y Nor-Oeste Conjunto Los Arrayanes Fuente: Elaboración propia	43
Figura 16. Resumen irradiancia Solsticio Invierno Fachada Sur-Este y Nor-Oeste Conjunto Los Arrayanes.....	43
Figura 17. Solsticio Verano Fachada Sur-Este y Nor-Oeste Conjunto Los Arrayanes.....	44
Figura 18. Resumen irradiancia Solsticio Verano Fachada Sur-Este y Nor-Oeste Conjunto Los Arrayanes.....	44
Figura 19. Equinoccio Fachada Sur-Este y Nor-Oeste Conjunto Los Arrayanes Fuente: Elaboración propia.....	45
Figura 20. Resumen irradiancia Equinoccio Fachada Sur-Este y Nor-Oeste Conjunto Los Arrayanes Fuente: Elaboración propia	45
Figura 21. Análisis de sombras Solsticio Invierno Fachada Nor Oeste y Sur Este. Fuente: Elaboración propia.....	46
Figura 22. Análisis de sombras Solsticio Verano Fachada Nor Oeste y Sur Este. Fuente: Elaboración propia.....	47
Figura 23. Análisis de sombras Equinoccio Fachada Nor Oeste y Sur Este. Fuente: Elaboración propia.....	47
Figura 24. Planta arquitectónica de edificio y cubierta tipo. Fuente: UT Ciudad Rodeo....	50
Figura 25. Planta arquitectónica apartamento tipo. Fuente: UT Ciudad Rodeo	50
Figura 26. Estrategia de orientación de Cúcuta con software Ecotect. Fuente: Elaboración propia.....	51
Figura 27. Simulación con Ecotect de protección solar ventana actual nor este. Fuente: Elaboración propia	52
Figura 28. Simulación con Ecotect de estrategia de protección solar ventana nor este. Fuente: Elaboración propia	52
Figura 29. Estrategias de protección solar nor este. Fuente: Elaboración propia	53
Figura 30. Simulación con Ecotect de protección solar ventana actual sur oeste. Fuente: Elaboración propia.....	53
Figura 31. Simulación con Ecotect de estrategia de protección solar ventana sur oeste. Fuente: Elaboración propia	53

Figura 32. Estrategias de protección solar sur oeste. Fuente: Elaboración propia	54
Figura 33. Esquema de ventilación natural de apartamento tipo. Fuente: Elaboración propia.....	55
Figura 34. Escenario sin protección solar en Ecotect. Fuente: Elaboración propia	56
Figura 35. Escenario con protección solar en Ecotect. Fuente: Elaboración propia	56

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Cronograma de actividades. Fuente: propia.....	28
Tabla 2. Modelo climatológico de Caldas. Fuente: IDEAM.....	30
Tabla 3. Velocidad de viento. Fuente: IDEAM.....	33
Tabla 4. Parámetros climáticos promedio de Cúcuta 1981-201. Fuente: IDEAM - Aeropuerto Camilo Daza.....	34
Tabla 5. Sección Clasificación del clima. Fuente: Minvivienda (2015).....	35
Tabla 6. Criterios de selección de medidas. Fuente: Minvivienda (2015).....	36
Tabla 7. Matriz de implementación (Sección). Fuente: Elaboración propia basado en Guía	36
Tabla 8. Selección de Medidas pasivas para clima cálido seco. Fuente: Elaboración propia basado en Guía de construcción sostenible.....	38
Tabla 9. Resultados Análisis de Incidencia solar y Sombras de Torres de Conjunto Arrayanes. Fuente: Elaboración propia	49

INTRODUCCIÓN

Los retos ante el cambio climático del sector de la construcción y el abastecimiento de bienes y servicios en el uso de las edificaciones residenciales, requiere de la implementación rigurosa de las acciones para la disminución del consumo de los recursos y así mitigar sus efectos en el clima ante las emisiones globales en las grandes ciudades y la vida urbana. A nivel país, las edificaciones de vivienda de interés social representan la mayor parte de la demanda de vivienda nueva en los últimos años, teniendo consecuencias en el aumento de los recursos energéticos. Si se tiene en cuenta que, unas de las principales medidas de mitigación se dirigen hacia la mejora en eficiencia energética y la intensidad energética, es necesario que la reglamentación para la construcción sostenible aumente la rigurosidad en la implementación para este tipo de construcciones.

El trabajo de grado aborda esta problemática desde lo global y formula desde lo regional, estrategias para el mejoramiento de la eficiencia energética y los niveles de confort térmico en la habitabilidad de la vivienda de interés social en la ciudad de Cúcuta. Para lograr este objetivo, se realiza la caracterización de las variables climatológicas del lugar de caso de estudio. Seguidamente, se determinan las estrategias enfocadas para el clima cálido seco planteadas en la “Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía” del Minambiente. Las medidas pasivas: orientación solar, protección solar, relación ventana pared y ventilación natural, son verificados mediante el estudio de un prototipo de vivienda de interés social, lo que proporciona como resultado, las estrategias bioclimáticas como herramienta en el diseño arquitectónico. Finalmente, el trabajo extiende sus alcances en beneficio de la calidad de vida de sus habitantes con el mejoramiento de los niveles de confort en la habitabilidad al interior de la vivienda ante la tendencia del aumento de la temperatura como resultado de las emisiones globales de la vida moderna.

RESUMEN

La dilación en la adopción de esfuerzos para la transición hacia niveles bajos de emisiones, podría dificultarse sustancialmente a largo plazo si se mantiene la insuficiente implementación de estrategias para reducir el gasto energético en las viviendas de todas las regiones del país. Para tal efecto, el presente estudio, establece estrategias de diseño con el objetivo plantear medidas de eficiencia energética pasiva para mejorar los niveles de confort térmico, mediante el estudio de las variables climatológicas la ciudad de Cúcuta en la vivienda tipo VIS, para así contribuir a mejorar la habitabilidad ante los retos de adaptación y mitigación del cambio climático y sus posibles repercusiones desde la sostenibilidad.

Palabras clave: Confort térmico, habitabilidad, vivienda de interés social, eficiencia energética, sostenibilidad.

The delay in the adoption of efforts for the transition to low-emission levels could be substantially hindered in the long term if the insufficient implementation of strategies to reduce energy consumption in housing in all regions of the country continues. To this end, this study establishes design strategies with the aim of proposing passive energy efficiency measures to improve thermal comfort levels, through the study of climatological variables in the city of Cúcuta in VIS type housing, in order to contribute to improving habitability in the face of the challenges of adaptation and mitigation of climate change and its possible repercussions in terms of sustainability.

Keywords: Thermal comfort, habitability, social housing, energy efficiency, sustainability.

1 Tema

El trabajo de grado aborda la eficiencia en el uso de los recursos energéticos y las variables climatológicas que influyen en los niveles de confort en la habitabilidad de la vivienda de interés social con la finalidad de plantear estrategias hacia la transición energética asequible, equitativa y sostenible para todos en la vida cotidiana, en beneficio del desarrollo humano y económico de la vida moderna.

2 Modalidad de trabajo de grado

La modalidad de profundización del presente Trabajo de grado, es Estudio de Caso, desarrollada por medio de una investigación descriptiva. Para tal efecto, primero se estudiarán las variables climatológicas de la ciudad de Cúcuta; luego, se analizarán las estrategias sugeridas para el clima cálido seco en la “Guía de Construcción sostenible para el ahorro de Agua y Energía”; a partir de estos datos seleccionados, se verifica la eficiencia por medio de una simulación en un prototipo; y finalmente, se interpretan los resultados para determinar las estrategias bioclimáticas de eficiencia energética y confort térmico para mejorar la habitabilidad en la vivienda de interés social en la ciudad de Cúcuta.

3 Problema

El 80% de la población de América Latina y el Caribe vive en ciudades, y en ellas se concentran los principales riesgos de los impactos del cambio climático. Diferentes estudios señalan que la industria de la construcción está creciendo a tasas sin precedentes y según el BID (2019), se estima que, durante los próximos 40 años, se construirán en el mundo 230 mil millones de metros cuadrados de nuevas infraestructuras. En Colombia, como una medida de crecimiento verde, el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, reglamenta la Resolución 549 de 2015 estableciendo parámetros y lineamientos de construcción sostenible, y adopta la guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones nuevas en todo el territorio nacional. Para los proyectos de vivienda de interés social (VIS) y de interés prioritario (VIPA), los porcentajes de ahorro son indicativos y de optativo cumplimiento, lo que se considera una problemática en el consumo eficiente de los recursos energéticos teniendo en cuenta que actualmente, este tipo de edificaciones representan el 70,8% del total de viviendas nuevas en el país. (Camacol, 2022)

Así mismo, para lograr calidad en la habitabilidad de la vivienda, las variables climatológicas son trascendentales en el diseño. Según el IDEAM, Cúcuta se clasifica como cálido seco. La temperatura promedio es de 25.5 °C; y al medio día, la temperatura máxima media oscila entre 30 y 33°C. La humedad relativa del aire oscila durante el año entre 62 y 77 %, siendo mayor en los meses de noviembre y diciembre. En efecto, en algunos meses del año, se puede estar por fuera de la zona de confort y genera un alto consumo en el uso de equipos mecánicos de ventilación para mejorar el acondicionamiento del ambiente. Finalmente, se suman las predicciones del aumento mundial de la temperatura media anual entre 2022 y 2026 de 1,1°C y 1,7°C, lo que significa un agravamiento de los riesgos relacionados con el clima a los sistemas naturales y humanos.

4 Justificación

El Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas (IPCC, 2022) en su tercer informe, ratifica la influencia del ser humano y sus formas de producción como el mayor potenciador del cambio climático, generando el aumento aproximado de 1°C desde la época preindustrial. El abastecimiento de bienes y servicios de la actual sociedad tiene una estrecha relación con el calentamiento atmosférico y fenómenos meteorológicos extremos en todas las regiones del mundo. Sin embargo, las temperaturas no cambian a la misma velocidad en todas partes: el calentamiento es más fuerte en los continentes y es particularmente fuerte en el Ártico en la estación fría; y en las regiones de latitud media, en la estación cálida. Estos factores que constituyen el aumento de las emisiones globales en las grandes ciudades y la vida urbana, ya habían sido expuestos como un contaminante: “El aumento de la riqueza y del nivel de vida, la urbanización y la demanda de nuevos servicios energéticos presionan al alza la demanda de energía en el sector edificación”. (IPCC, 2015). Muestra de esto, es la demanda mundial de energía final en 2019 de los edificios que alcanzó el 31% de la demanda energética final mundial. En ese mismo año, los edificios residenciales consumieron el 70% de la demanda energética final global de los edificios. Al mantenerse el aumento, las proyecciones se representan en el consumo para calentamiento de agua, calefacción y refrigeración.

En el ámbito nacional, a través de Minambiente (2022) se estableció la Hoja de Ruta de Edificaciones Neto Cero Carbono, que permite avanzar en medidas para la reducción de GEI apuntando a una construcción sostenible. Una de las metas es la eficiencia energética, la cual puede lograrse teniendo en cuenta la interacción con el entorno; es decir, a través de variables climáticas que garanticen la reducción del consumo y al mismo tiempo, ofrecer condiciones de habitabilidad en los usuarios de vivienda VIS.

5 Marco referencial

5.1 Marco conceptual

El espacio construido en la arquitectura requiere ser comprendido desde la identificación y caracterización integral de las variables que lo configuran, incluyendo conceptos y aspectos humanos, ambientales y físicos del lugar.

Desde el aspecto humano, comprende las condiciones de confort, bienestar y salud de los individuos y grupos que habitan el espacio. Para la Organización Mundial de la Salud (OMS, 1948), “La salud es un estado de completo bienestar físico, mental y social, y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades” (p.1). Es decir, los espacios construidos pueden afectar positiva y negativamente al ser humano, al relacionar variables del ambiente externo e interno del lugar, influyendo en su estado de ánimo y expresando satisfacción específicamente con el entorno térmico del espacio habitado. Estas condiciones suscitan el concepto de confort o bienestar térmico, definido como “las características ambientales que afectan el intercambio de calor entre el cuerpo humano y su ambiente” (Van Hoof, et al. 2010, p. 765). Por consiguiente, se relacionan directamente a la sensación de bienestar del hábitat, donde el ser humano pasa la mayor parte del tiempo.

Del concepto de habitabilidad, como una condición de la arquitectura que asegura las condiciones de salud y confort en los espacios, se destacan dos enfoques mencionados por Enciso (citado en Moreno, 2008): como acto perceptivo, que implica la búsqueda del bienestar mental y satisfacción psicosocial del grupo o individuo que habita el espacio; y como acción cuantitativa, que puede ser medida y controlada por el diseño. Esta última, es la que refiere este estudio, al escenario físico con condiciones ambientales adecuadas para

la mejora de la calidad de vida que tenga en cuenta las condiciones climatológicas del lugar para proyectar la vivienda.

Es decir, la noción de habitar al igual que el confort no es estandarizable ya que la experiencia cotidiana es subjetiva, a pesar de que las condiciones básicas se acoplen a las normas legales y se desarrolle como una acción controlada.

Para el Centro de Estudios del Hábitat Popular, este mismo concepto comprende lo relativo al sistema espacial y de recursos ubicado en relación con un entorno mayor, que tiene condiciones de un espacio determinado y cualificado en concordancia con sus necesidades particulares. (CEHAP, 1998, p. 6)

Por consiguiente, desde la arquitectura el primer acercamiento hacia la habitabilidad de un lugar es analizar sus condiciones ambientales, como el clima y sus efectos en el espacio y los individuos que la habitan, considerando el tipo de actividad, las cuales indicarán las condiciones de confort del espacio. La adecuada integración de estas variables en el diseño, promueven la apropiación del lugar y la relación integral con el entorno.

De manera particular, el diseño bioclimático o arquitectura bioclimática, enfatiza en este tipo de estudios que incorporan estas variables. Según Serra (2005):

“Entendemos como arquitectura bioclimática aquella que optimiza sus relaciones energéticas con el medio ambiente que la rodea mediante su propio diseño arquitectónico. En la palabra bioclimática se intenta recoger el interés por la respuesta del hombre, el bios, como usuario del edificio, y del ambiente exterior, el clima, como afectantes de la forma arquitectónica” (Citado en Cortés 2010, P. 91)

En efecto, el diseño está enfocado a crear espacios habitables, aprovechando las condiciones del entorno con el fin de conseguir confort térmico en su interior basado en datos del lugar. Para tal efecto, existen dos tipos de sistemas para llevar a cabo estas acciones de control: Sistemas activos y sistemas pasivos. (Minvivienda, 2015)

Los sistemas activos, requieren el uso de sistemas basados en alguna forma de energía suplementaria mediante sistemas mecánicos y/o eléctricos, tales como sistemas de aire acondicionado, iluminación eléctrica, ventilación mecánica, entre otras.

Por el contrario, los sistemas pasivos tienen relación con la eficiencia energética mediante el aprovechamiento de las condiciones ambientales del lugar incorporándolas al diseño arquitectónico; y de esta manera, mejorar el desempeño mismo del edificio a través de medidas como el control térmico, sombreadamiento, reflectividad o ventilación natural. Al respecto, Ferreiro (1991) señala: “Los sistemas de acondicionamiento pasivos son aquellos incorporados al edificio desde la concepción inicial del diseño y que nos permiten captar, controlar, almacenar, distribuir o emitir los aportes de energía natural sin intervención de ninguna fuente de energía”. (p. 2)

Bajo este enfoque, se plantan medidas de eficiencia energética pasivas, promoviendo la climatización natural de los espacios con el objetivo de reducir el consumo de energía convencional de electrodomésticos como ventilador o aire acondicionado para el enfriamiento de las edificaciones. En el caso de Cúcuta, donde las condiciones ambientales presentan períodos de sobrecalentamiento, las estrategias básicas se enfocan en evitar ganancias de calor y favorecer las pérdidas.

En esta línea, la Guía de construcción sostenible para el clima cálido recomienda como medida para la vivienda VIS/VIP para el primer año, protección solar. La protección solar apunta a minimizar la ganancia solar, mediante su control evita la recepción de radiación solar al interior de las edificaciones.

Cuando se habla de dispositivos de control solar, generalmente se utiliza la unidad de medida el coeficiente de sombra, señalando el índice de ganancia total de calor procedente de energía transmitida, absorbida y nuevamente radiada. En el clima cálido seco de Cúcuta, es imprescindible proteger las ventanas de la penetración de la radiación solar directa, que no sólo eleva la temperatura interior, sino que además produce deslumbramiento. Esta condición, cambia constantemente al variar la incidencia de acuerdo a la orientación y la hora del día.

A partir del segundo año de entrada en vigencia la resolución, recomienda la relación ventana/ pared. Esta es la relación del área de las ventanas u otras áreas de vidrios en relación al área bruta de pared exterior del edificio. En este caso, un edificio con mayor RVP, ganará mayor calor.

Sumado a esto, los materiales que conforman esta pared, almacenan energía calorífica. El concepto de masa o inercia térmica se define como la capacidad de un material de absorber calor, almacenarlo, y posteriormente liberarlo. El impacto calorífico externo afecta la temperatura interior cuando las oscilaciones diarias de temperatura traspasan la piel de la fachada y no es lo suficiente masiva para amortiguar la entrada de calor. Cuanto mayor es el peso específico de los materiales, mayor es su capacidad para almacenar energía calórica como se representa en la figura 1.

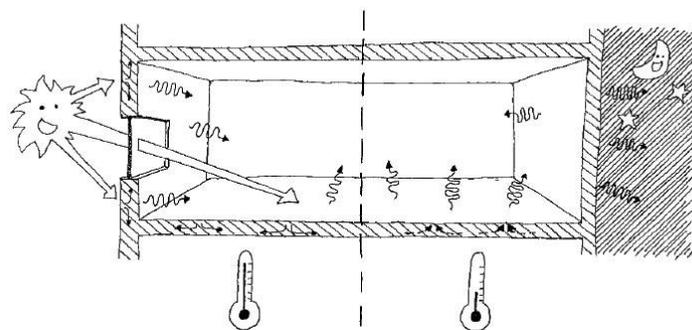


Figura 1. Ciclo día y noche Fuente: Serra (1999)

En el clima cálido, la estrategia de la inercia térmica se acompaña de la protección solar para minimizar el flujo conductivo de calor. Así mismo, si las superficies expuestas a la radiación poseen un mayor nivel de reflexión, evitan ganancia de calor solar directo o indirecto. Este principio se cumple para los exteriores de las edificaciones tropicales que usan el color blanco o materiales claros.

Por otra parte, en los climas cálidos, la ventilación natural es una estrategia efectiva siempre y cuando la temperatura exterior sea menor a la interior, y en general hasta que esta adquiere un valor de 32°C (Lamberts et al.,2004). La figura 2, esquematiza el movimiento del aire causada por una diferencia de presión en el ambiente. Las variaciones en los patrones de flujo de aire son determinadas por la localización y el tipo de abertura de entrada. Serra (1999) considera que el viento influye como un microclima de la envolvente incrementado las pérdidas de calor de la superficie exterior y genera renovación de aire y movimiento al penetrar por las aberturas hacia el interior. (p. 45)

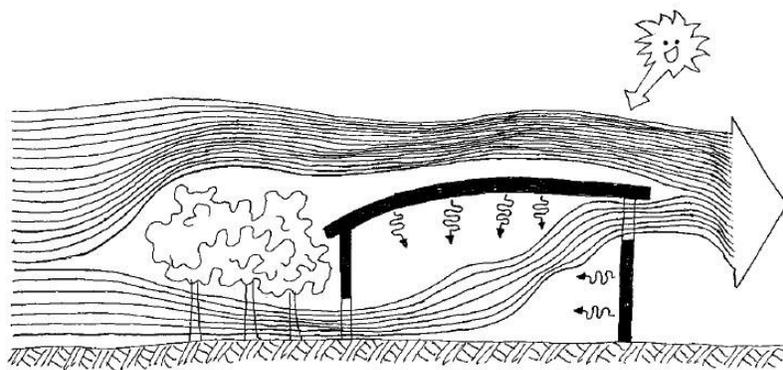


Figura 2. Recorrido del aire. Fuente: Serra (1999)

En el caso de Cúcuta, la orientación más adecuada es hacia los vientos dominantes para promover la ventilación cruzada y el uso de aberturas controladas. En suma, las medidas se relacionan y propenden a reducir significativamente los picos de consumo de energía para la climatización manteniendo el edificio en condiciones adecuadas.

5.2 Marco Legal

La desigualdad social y el cambio climático, son dos hechos que han afectado a todos los países desde sus economías, hasta la propia vida del ser humano. Esta situación, ha requerido del esfuerzo y compromiso de los distintos gobiernos para establecer así una meta global con medidas urgentes para combatir sus efectos mediante políticas, recursos financieros y humanos.

A nivel global, la carta de los derechos humanos reconoce el derecho de toda persona a un nivel de vida adecuado, incluida una vivienda adecuada. ONU HABITAT (2010). La vivienda adecuada debe proveer más que cuatro paredes y un techo. Se deben cumplir una serie de condiciones particulares antes de considerarse como “Vivienda adecuada”. Incorpora consecutivamente desde la habitabilidad, que “la vivienda no es adecuada si no garantiza seguridad física o no proporciona espacio suficiente, así como protección contra el frío, la humedad, el calor, la lluvia, el viento u otros riesgos para la salud y peligros estructurales”.

En cuanto a las acciones por el clima, en el marco de la COP21 (2015) de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC), se construyeron las primeras bases en busca de reforzar el compromiso de los distintos gobiernos frente al cambio climático. Con el histórico Acuerdo de París, por primera vez, se insta una meta global como guía para todas las naciones: mantener la temperatura por debajo de los 2°C y proseguir los esfuerzos para no sobrepasar los 1,5°C. La puesta en práctica de este acuerdo, es esencial para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), al ofrecer un marco duradero con una ruta de medidas climáticas hacia un mundo con emisiones cero neto.

Los ODS, también conocidos como Objetivos Globales, fueron adoptados por las Naciones Unidas (2015) como un llamamiento para conseguir en el 2030, un futuro

sostenible para todos, poner fin a la pobreza y proteger el planeta. Los 17 ODS están integrados, y reconocen que, para mantener el equilibrio social, económico y ambiental, las acciones se deben lograr conjuntamente sin dejar atrás a nadie. En particular, el objetivo 11: Ciudades y comunidades sostenibles, propone lograr que las ciudades sean más inclusivas, resilientes y sostenibles. Una de las metas clave en la gobernanza, fue plantear para el año 2020, la adopción e implementación de políticas y planes integrados para promover el uso eficiente de los recursos, la mitigación del cambio climático y la adaptación a él. Así mismo, el objetivo 12: Producción y consumo responsables, busca garantizar modalidades de consumo y producción sostenible. Esto, ante el preocupante consumo del 29% de la energía global por parte de los hogares, contribuyendo al 21% de las emisiones de CO₂.

Bajo el mismo ideal común, la Nueva Agenda Urbana (2017), es una guía global aprobada sin reservas por 197 Estados participantes, que establece normas y principios para la planificación, construcción, desarrollo, gestión y mejora de las zonas urbanas en sus cinco pilares de aplicación principales: políticas urbanas nacionales, legislación y normativas urbanas, planificación y diseño urbano, economía local y finanzas municipales e implementación local. Se destaca en particular, el compromiso de sus miembros a desarrollar modos de construcción y edificios eficientes desde el punto de vista energético que promueva la conservación de la energía y la eficiencia en su utilización, fundamentales para reducir los costos en el suministro de este servicio y la reducción de emisiones de GEI. (p.21)

Para el año 2021, la Conferencia de las Partes COP26: Juntos por el planeta, se reúne en Glasgow para acordar compromisos urgentes ya que, la voluntad política no ha sido suficiente para superar contradicciones de los intereses que refleja el mundo actual. Ante la muy baja reducción de emisiones GEI globales para preservar un clima habitable, y

el insuficiente apoyo a los países más vulnerables afectados por los efectos del cambio climático se proporcionan cimientos para afianzar el Pacto de París. Entre los acuerdos, insta a los países para el año siguiente, en lugar de en 2025, que era lo previsto a intensificar la acción por el clima, presentando planes nacionales de reducción de carbono en un 45% con el fin de alcanzar las emisiones netas cero para mediados de siglo. (ONU, 2021)

Este panorama se refuerza en el Quinto Informe de Evaluación del IPCC (2022), donde se estima que durante los próximos veinte años experimentaremos una temperatura media global de 1,5°C que no podrá evitarse. Por lo tanto, limitar el calentamiento a una temperatura muy inferior a 2°C exige que las emisiones de CO₂ del sector energético se reduzcan a casi cero o incluso por debajo de cero. Las políticas, las tecnologías, los comportamientos, las inversiones y otros factores determinarán la velocidad de transición de los países hacia sistemas energéticos netos cero. Comprender estos futuros sistemas energéticos puede ayudar a trazar el camino hacia ellos en las próximas décadas.

A nivel país, en el año 2014 se presenta el Documento del Consejo Nacional de Política Económica y Social 3819 del Departamento de Planeación “Política Nacional para Consolidar el Sistema de Ciudades en Colombia”. El documento contiene los objetivos y el plan de acción sobre los seis ejes de políticas asociada con el Sistema de Ciudades, los objetivos y el plan de acción, incluyendo el eje visión sostenible y crecimiento verde. Para el sector de vivienda, impulsa planes de implementación de mitigación de gases de efecto invernadero. (Conpes 3819, 2014)

En el año 2017, en dirección a los propósitos internacionales, adopta el Acuerdo de París, por medio de la Ley 1844. Como parte de los esfuerzos se conforma el Sistema Nacional de Cambio Climático (Sisclima); además de planes territoriales y sectoriales que contribuirán de forma articulada a la adaptación al cambio climático.

En cuanto al sector, en el 2015, el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, expide el Decreto 1285 y la Resolución 0549 de 2015 con la cual se adopta la Guía de Construcción para el ahorro de Agua y Energía considerando el artículo 6° de la Ley 388 de 1997, el cual estableció la incorporación de "instrumentos que permitan regular las dinámicas de transformación territorial de manera que se optimice la utilización de los recursos naturales y humanos para el logro de condiciones de vida dignas para la población actual y las generaciones futuras". Esta reglamentación tiene como objetivo final, introducir estándares de construcción sostenible para promover la eficiencia energética y el uso racional de agua en las nuevas edificaciones que se construyan en el territorio nacional a partir de su entrada en vigencia, en aras de contribuir de manera significativa a la reducción de emisiones de CO2 de las ciudades y comprometernos en la transformación hacia el desarrollo sostenible. (ABC Minvivienda, 2015)

Mas adelante, en 2018, se establecen directrices para la gestión del cambio climático mediante la Ley 1931. Dentro de los principios orientadores se destacan los principios de corresponsabilidad y autogestión y no solo a cargo del Estado, implicando un esfuerzo de todos.

Ese mismo año, se aprueba la Política Nacional de Edificaciones Sostenibles con el Documento CONPES 3919 (2018), orientada a mitigar los efectos negativos de la actividad edificadora sobre el ambiente y mejorar las condiciones de habitabilidad. Su objetivo para 2030 es la implementación del 100% de criterios de sostenibilidad en vivienda nueva.

Finalmente, en 2021, mediante el Conpes 4023, ante la afectación por COVID-19, se diseña la "Política para la reactivación, la repotenciación y el crecimiento sostenible e incluyente". La transición energética se considera un elemento determinante; para tal efecto, se establecen medidas específicas por sectores que requieren ser fortalecidas con mecanismos de certificación y evaluación desarrolladas de manera coordinada.

5.3 Estado del arte

La arquitectura que involucra variables ambientales y se relaciona con la forma de habitar del ser humano, evoca a Vitruvio (1414), al realizar el único tratado sobre arquitectura más antiguo que se conserva. En el libro sexto, de su obra Diez libros de arquitectura, defiende sus ideas de una arquitectura pensada para el hombre en comunión con el entorno, “Si nuestros diseños de casas privadas son correctos, desde el principio debemos tomar nota de los lugares y climas en los cuales se van a construir”. (Como se cita en Valencia, 2010. P. 54)

Ya en el siglo XX, el arquitecto Le Corbusier (1942) comienza un periodo de investigación de los efectos de la luz solar y la relación de la arquitectura y su entorno, sus dibujos anticiparon los manuales clásicos del bioclimatismo de Olgyay (1963) y Givoni (1969), que servirán de base para las actuales herramientas de simulación informática. Así pues, defendió principios que bien podrían ser los orígenes de una arquitectura bioclimática, “el sol, la vegetación y el espacio son las tres materias primas del urbanismo”.

A finales de los años noventa, surge como un ejemplo de vida sostenible la Comunidad Solar de Schlierberg, un barrio residencial en Friburgo, Alemania. La región es conocida como el “cinturón solar de Alemania”, su clima y ubicación permiten a utilización eficiente del diseño solar activo y pasivo. Su arquitecto, Rolf Disch “ajustó los ángulos solares según las estaciones y la exposición solar en el ámbito del complejo, y, al mismo tiempo, realizó la experiencia cualitativa de la luz natural y el movimiento del aire a través de los espacios privados y de las zonas comunitarias” (Citado en Guzowsky, 2010, p. 55)

En la actualidad, los ejemplos de aplicación de conceptos bioclimáticos son innumerables dándose de manera amplia tanto en edificios habitacionales como institucionales. Sin duda, cada lugar tiene sus particularidades y el uso de las tecnologías

de simulación ha permitido desarrollar, probar mediante diferentes prototipos para llegar a resultados más eficientes en el diseño de las edificaciones.

En Nigeria, Oyoke, P. et al. (2020) formulan “Prácticas bioclimáticas en el diseño y la construcción de edificios residenciales modernos en el sudeste de Nigeria”. El estudio evaluó el nivel de conocimiento e implementación de los principios y prácticas bioclimáticas en edificios residenciales modernos por parte de profesionales del diseño y la construcción de edificios. Asimismo, la idoneidad de los elementos bioclimáticos y el nivel de satisfacción de los ocupantes basándose en criterios de desempeño ambiental seleccionados. El resultado encontró que los elementos y características bioclimáticas en los edificios residenciales modernos eran inadecuados y, por lo tanto, un alto nivel de insatisfacción de los ocupantes con el desempeño ambiental de los edificios. Además, que la adecuación de los elementos bioclimáticos se correlacionó de manera significativa y positiva con el nivel de implementación de los principios y prácticas bioclimáticas y el nivel de satisfacción de los ocupantes. Igualmente, se encontró una relación positiva moderada e insignificante entre el nivel de conocimiento y la implementación de principios y prácticas bioclimáticas. Por lo tanto, sugirió la necesidad de que los profesionales de la construcción transformen su conocimiento de los principios bioclimáticos en práctica para un mejor desempeño. Luego, el estudio propugnó una revisión de las leyes, políticas y códigos de construcción y diseño de edificios existentes, y la institucionalización de nuevas regulaciones que se adapten a las peculiaridades bioclimáticas del sudeste de Nigeria.

En Ecuador, Cordero y Guillén (2012) en la Universidad de Cuenca, realizaron un estudio de diseño y validación de vivienda bioclimática para la ciudad de Cuenca. Esta investigación se llevó a cabo con el propósito de proponer criterios de diseño bioclimático que respondieran adecuadamente a las condiciones climáticas del entorno, ya que, en Ecuador, existe una tendencia al apoyo del sector constructivo para disminuir el consumo

energético y mejorar las condiciones de habitabilidad de la ciudad de Cuenca. La investigación tuvo por objetivo determinar qué criterios e indicadores se pueden utilizar para el diseño de viviendas bioclimáticas unifamiliares en la ciudad de Cuenca y su aplicación en una propuesta de diseño a nivel de anteproyecto, comprobando su efectividad mediante el uso de programas informáticos. Este trabajo permitió demostrar la aplicación de conceptos bioclimáticos en una vivienda, además de ofrecer una metodología modelo para el desarrollo de esta investigación relacionada con el estudio de la vivienda desde el aspecto climático. En este estudio, inicialmente, se analizaron los resultados de un procesamiento de datos climatológicos con lo cual se determinan las condiciones climáticas de la ciudad de Cuenca. Posteriormente, se mostró su aplicación en el diagrama bioclimático de Givoni y, finalmente, se hizo un breve análisis de otros factores ambientales que influyen en el confort de los espacios habitables. A partir de los resultados arrojados por la investigación, se establecieron una serie de criterios bioclimáticos con el fin de alcanzar el confort en las viviendas. Por otra parte, también se analizó y validó el comportamiento de la propuesta de vivienda mediante el uso de un software y cálculos matemáticos.

Del mismo modo, Camacho, López y Milicua (2009), realizan un trabajo de investigación denominado “Pautas de diseño bioclimático para optimizar condiciones de confort y uso de energía en el sector residencial financiado por organismos públicos, para Uruguay, caso de clima complejo”. Tuvo como objetivo general establecer pautas precisas que permitieran lograr una arquitectura bioclimática desde la misma concepción del edificio y a lo largo de toda su vida útil, mediante una correcta adaptación al medio y adecuada materialización, preservando el medio ambiente y mejorando la calidad de vida de los usuarios.

A partir de la sistematización de los parámetros energéticos de las tipologías de vivienda se desarrollaron dos modelos teóricos en los que se aplicaron análisis térmico y energético mediante simulación computacional. Se estudiaron variantes a los modelos virtuales originales para contrastar los efectos de distintas decisiones de diseño en la aplicación de estrategias bioclimáticas sobre el comportamiento térmico y energético de las viviendas. De cada una de las simulaciones se registraron datos de consumo de energía y de temperatura del aire interior para cada modelo. Se procesaron y se analizaron estos datos para obtener porcentajes de ahorro energético y cantidad de horas de confort. Finalmente, con estos estudios se verificaron y plantearon pautas de diseño bioclimático para ser aplicados a las viviendas de las dos ciudades de referencia: Salto y Montevideo

Para Guerra, M. (2012), en su artículo “Arquitectura bioclimática como parte fundamental para el ahorro de energía en edificaciones” las evaluaciones energéticas realizadas sobre edificaciones permiten determinar el estado actual de sus gastos energéticos y cómo a partir de esta información se pueden evaluar soluciones para satisfacer demandas con el menor consumo posible. Para esto, toma en consideración las condiciones bioclimáticas, contribuyendo de esta manera no solo al confort de los usuarios de dichas instalaciones, sino también a minimizar el impacto energético del mismo. Uno de los criterios ambientales que considera que se deben evaluar es la orientación y protección solar del edificio que permita elegir la que mejor se adapte a las circunstancias de cada fachada. Aunque a veces no siempre es posible escoger la orientación ideal, aun así, siempre se debe pensar en optimizar el recurso solar independientemente sea cual sea su orientación establecida.

Giraldo, W. y Herrera, C (2017), realizan una investigación de “ventilación pasiva y confort térmico en vivienda de interés social en clima ecuatorial” en la que mediante una simulación experimental de una habitación típica de vivienda de interés social (vis) en la

ciudad de Cali, comprueban que en clima ecuatorial no se alcanzan condiciones de confort durante la mayor parte del día, además, al mediodía son prácticamente inhabitables. Pero con algunas modificaciones de bajo presupuesto es posible mejorarlas hasta niveles aceptables en términos de confort y salubridad. Así mismo sostienen que existen dos condiciones que empeoran la habitabilidad: la primera, que se desconoce el manejo científico del confort a través de estrategias pasivas y la segunda, que no es redituable para los constructores ni para el Estado.

Rodríguez, P. (2018), en su investigación “comportamiento y variación del confort térmico de la vivienda de interés social en clima cálido húmedo, a partir del proceso de transformación y adecuación de la morfología y envolvente de la edificación” analiza el caso del proyecto Villa María en Guamal, Meta. Este estudio concluye que para lograr viviendas de interés social confortables y sostenibles en clima cálido húmedo, es necesario contemplar y diseñar las estrategias y parámetros de intervención desde la etapa inicial de planeación del proyecto, que eviten inversiones posteriores y adicionales en mejoramiento de las condiciones térmicas de los elementos de la envolvente de la edificación.

Finalmente, Ferro, M. (2021), presenta una mirada amplia de las metas del país ante los desafíos globales en su tesis “El camino de Colombia hacia las edificaciones Neto Cero Carbono”. El trabajo constituye el primer paso para estado actual de la edificación en Colombia con miras a la elaboración de la línea base en la que se identifican barreras y oportunidades para lograr la implementación efectiva de las acciones Neto Cero Carbono.

En base a esta documentación, se logra evidenciar los avances de investigación, implementaciones y beneficios en la vivienda, ambiente y hábitat de estrategias como las bioclimáticas en la vivienda de interés social en el proceso de diseño para minimizar los efectos negativos del clima en relación al confort sobre sus habitantes, también logra reducir el uso de los recursos naturales y mejora su calidad de vida.

6 Fundamentación del proyecto

6.1 Objetivo General

Formular estrategias para el mejoramiento de la eficiencia energética y los niveles de confort térmico en la habitabilidad de la vivienda de interés social, a partir del estudio de las variables climatológicas de la ciudad de Cúcuta.

6.2 Objetivos Específicos

- Realizar la caracterización de las variables climatológicas de la ciudad de Cúcuta.
- Determinar las estrategias para el diseño de Vivienda de Interés Social de la ciudad de Cúcuta sugeridas en la “Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía” para el clima cálido seco.
- Verificar la eficiencia de las estrategias bioclimáticas, mediante el análisis de un prototipo de vivienda de interés social seleccionado como caso de estudio.
- Generar las estrategias bioclimáticas que sirvan como herramienta en el diseño de vivienda de interés social para la ciudad de Cúcuta.

6.3 Metodología

El proyecto de grado se desarrollará mediante las siguientes fases:

- Fase I: Observación documental: Esta fase comprende la revisión bibliográfica y documentación teórica referente a condiciones y características enfocadas en el confort térmico del clima seco.

Además, se estudiará el anexo 1 “Guía de Construcción sostenible para el ahorro de Agua y Energía” del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.

- Fase II: Análisis de caso de estudio. En esta fase, se analizará una tipología de vivienda vis mediante simulaciones en software con el fin de diagnosticar el comportamiento de diferentes escenarios de confort térmico del prototipo en el contexto de su medio ambiente.
- Fase III: Resultados. Se trata de la proposición de las diferentes estrategias pasivas enfocadas al confort térmico en la vivienda de interés social de la ciudad de Cúcuta.

6.4 Cronograma

La tabla 1 expone el cronograma del desarrollo de actividades durante aproximadamente 4 meses que dan cumplimiento a los objetivos específicos planteados. Los objetivos 3 y 4 se realizan simultáneamente.

Actividades					
N o	Descripción	Cronograma			
		M1	M2	M3	M4
1	Caracterización del clima de la ciudad de Cúcuta				
2	Estudio de “Guía de Construcción sostenible para el ahorro de Agua y Energía”				
3	Simulación de caso de Estudio				
4	Generación de estrategias de diseño				

Tabla 1. Cronograma de actividades. Fuente: propia

7 Resultados

7.1 El clima de San José de Cúcuta

El municipio de San José de Cúcuta, es la capital del Departamento de Norte Santander en Colombia. Cuenta con una variedad de ecosistemas, biodiversidad; una importante reserva hídrica, variedad de suelos, importantes zonas boscosas y diversidad orográfica. Se encuentra ubicado en el hemisferio norte, muy cerca el ecuador como se muestra en la figura 3; esto hace que, por su posición, los rayos solares sean más perpendicular que en otras latitudes.

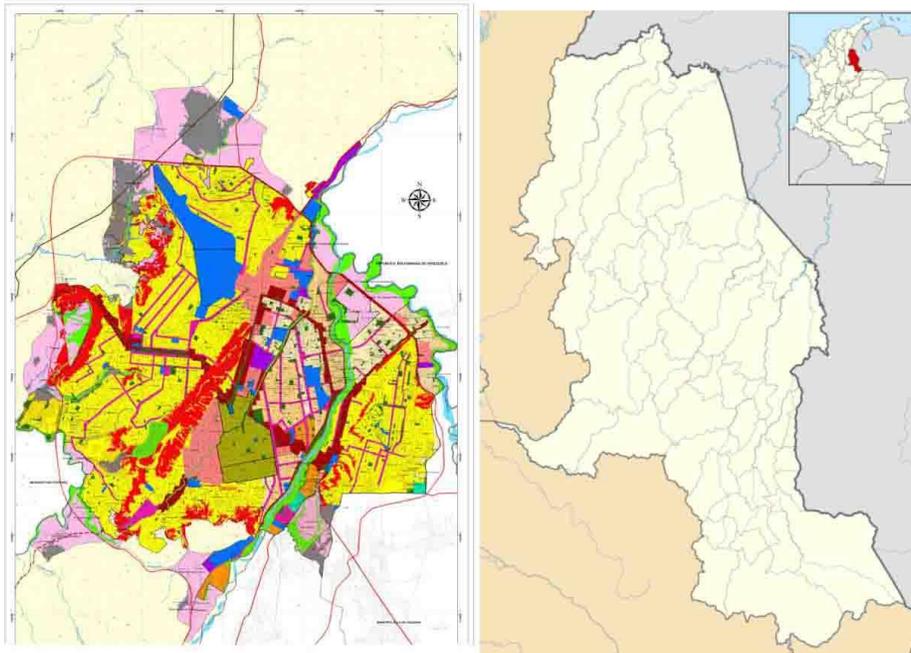


Figura 3. Mapa de localización y límite de Cúcuta. Fuente: POT Cúcuta (2019) /Milenioscuro (2015)

Sobre la cordillera Oriental de los Andes al noreste del país, se encuentra el departamento Norte de Santander con una topografía variada, inmensamente rico en paisajes y climas; presenta cinco pisos térmicos, distribuidos en todo su territorio compuesto por serranías, páramos, mesetas, llanuras y cerros. Su capital, se localiza en la región

geográfica denominada "Valle de Cúcuta" a una altitud media de 320 msnm. Uno de sus puntos más altos es la cima del Cerro Tasajero a 987 msnm, cubierto por un bosque seco tropical. (Carrillo, Rivera & Sánchez, 2007). El río Pamplonita, su afluente principal, cruza la ciudad de sur a norte, en el que desemboca el río Táchira. Limita al norte con Tibú, al occidente con el municipio El Zulia y San Cayetano, al sur con Villa del Rosario y Los Patios, y al Oriente con Venezuela y Puerto Santander.

La ubicación de la ciudad en la latitud Norte de 7°55'49" y longitud Oeste de - 72°30'33", hace que el sol se incline un poco más hacia el Sur y durante los solsticios existan unas pequeñas variaciones de la luz día. Lo cual indica, que los picos de la geometría solar son el 21 de junio en solsticio de verano, máxima inclinación hacia el Norte y 21 de diciembre, máxima inclinación hacia el Sur.

En cuanto al clima, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) clasifica el clima colombiano mediante el estudio expuesto por el investigador colombiano Francisco José de Caldas, donde la altura sobre el nivel del mar es el factor principal que caracteriza cada clima. De esta manera, como indica la tabla 2, se determinaron los pisos térmicos para la región Andina Tropical: Glacial, Páramo, Frío, Templado y Cálido; en el cual se ubica Cúcuta.

RESUMEN DEL MODELO CLIMATOLOGICO DE CALDAS			
Piso Térmico	Rango de altura en m	Temperatura en ° C	Variación de altitud por condiciones locales
Cálido	0 a 1000	$T \geq 24$	Limite Superior \pm 400
Templado	1001 a 2000	$24 > T \geq 17.5$	Lim. Sup. \pm 500
			Lim. Inf. \pm 500
Frío	2001 a 3000	$17.5 > T \geq 12$	Lim. Sup. \pm 400
			Lim. Inf. \pm 400
Paramo Alto	3200 a 3700	$12 \geq T$	

Tabla 2. Modelo climatológico de Caldas. Fuente: IDEAM

Así mismo, el IDEAM (2010), caracteriza el clima de Cúcuta mediante cuatro aspectos y clasifica el clima de la ciudad como cálido seco.

En cuanto a la temperatura, como se puede observar en la Figura 4, presenta un promedio anual que oscila entre 25.7°C y 28.2°C. Las temperaturas más altas se presentan en el mes de agosto, y las temperaturas mínimas entre noviembre y febrero. La temperatura promedio anual es de 26.9 °C.

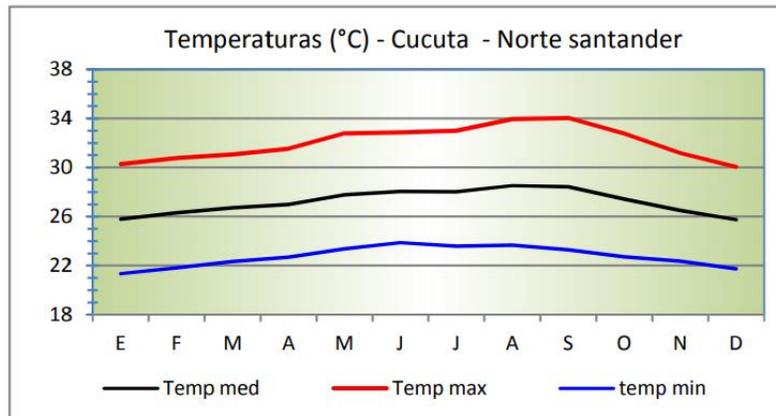


Figura 4. Temperatura promedio anual de Cúcuta. Fuente: IDEAM

El sol brilla, como se evidencia en la figura 5, cerca de 6 horas diarias durante la mayor parte del año; pero, en los meses lluviosos del primer semestre, la insolación baja a 4 horas diarias/día. (IDEAM, 2010)

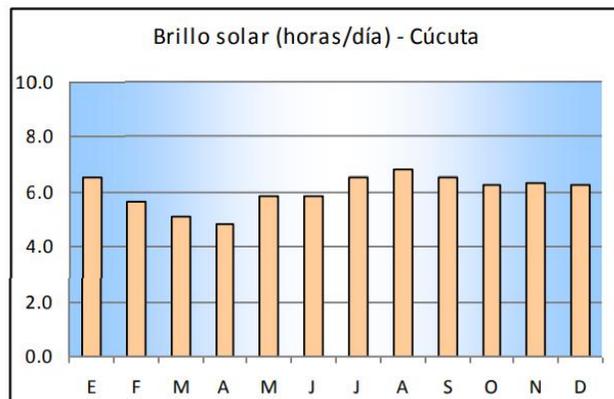


Figura 5. Brillo solar anual de Cúcuta. Fuente: IDEAM

Este mismo documento muestra la precipitación, con un promedio de lluvia total anual de 878 mm como se muestra en la figura 6. Durante el año, las lluvias se distribuyen en dos temporadas secas y dos temporadas lluviosas. Los meses de enero, febrero, junio, julio y agosto son predominantemente secos. Las temporadas de lluvia se extienden desde finales de marzo hasta principios de junio y desde finales de septiembre hasta principios de diciembre. En los meses secos llueve alrededor de 7 días/mes; en los meses de mayores lluvias del segundo semestre puede llover entre 13 y 15 días/mes. El promedio anual de lluvias es de 137 días.

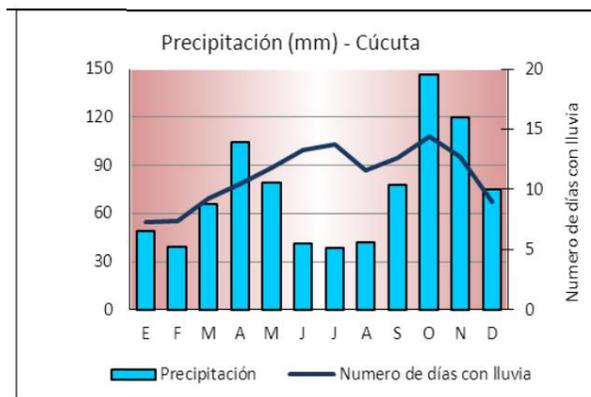


Figura 6. Precipitación promedio anual de Cúcuta. Fuente: IDEAM

El porcentaje de la humedad relativa del aire indicado en la figura 7, oscila durante el año entre 62 y 77 %, siendo mayor en los meses de noviembre y diciembre y la menor, hacia mitad de año.

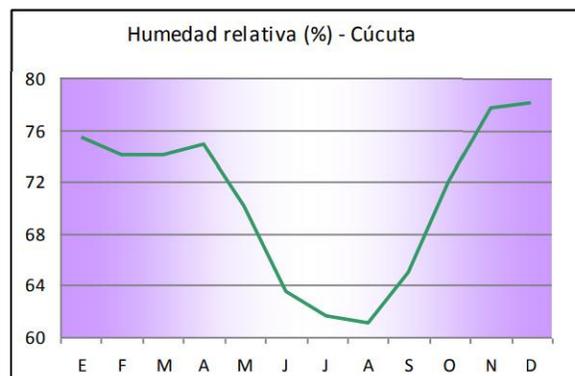


Figura 7. Humedad relativa Anual Cúcuta. Fuente: IDEAM

Por otra parte, en la Figura 8, revela los datos recolectados por la estación meteorológica del Aeropuerto Internacional Camilo Daza; estos fueron compilados y tabulados por el IDEAM para dar como resultado la Rosa de Vientos de la ciudad de Cúcuta. Allí se puede observar las direcciones Norte y Sur como ejes dominantes de los vientos con una frecuencia de 24% con Velocidades entre 0.5 y 5.5 m/s con un porcentaje de calma del 21.1% Anual. El promedio de velocidad de viento anual es de 3.1 m/seg como presenta la tabla 3.

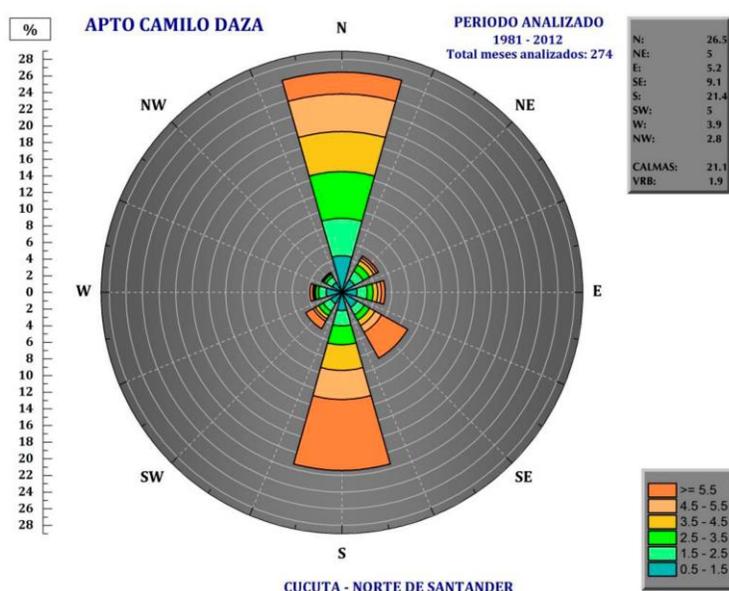


Figura 8. Rosa de Vientos Cúcuta Promedio Anual. Fuente: IDEAM

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Velocidad de viento m/seg	2,3	2,5	2,2	2,4	3,1	4,5	5,1	4,8	3,5	2,7	2,2	2,2	3,1

Tabla 3. Velocidad de viento. Fuente: IDEAM

Por otra parte, la tabla 4 muestra en resumen las medias anuales entre los años 1981 a 2010 de históricos climáticos recolectados por el Aeropuerto Camilo Daza y sistematizados por el IDEAM, presentando los promedios mes a mes durante este periodo y los resultados de los promedios anuales.

Parámetros climáticos promedio de Cúcuta 1981-2010													
Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Temp. máx. media (°C)	30.3	30.8	31.1	31.5	32.8	32.9	33.0	33.9	34.0	32.7	31.2	30.1	32.0
Temp. media (°C)	25.8	26.3	26.7	27.0	27.8	28.1	28.0	28.5	28.4	27.4	26.5	25.8	27.2
Temp. mín. media (°C)	21.3	21.8	22.3	22.7	23.4	23.9	23.6	23.7	23.3	22.7	22.4	21.7	22.7
Precipitación total (mm)	51.2	42.8	68.3	114.1	85.0	40.2	39.2	45.9	68.2	137.6	131.7	80.1	904.2
Días de precipitaciones (≥)	7	7	9	11	13	13	15	12	13	15	13	10	137
Brillo solar (Horas/día)	6.5	6.0	4.9	4.8	5.8	6.0	6.6	7.0	6.7	6.3	6.3	6.3	6.1
Humedad relativa (%)	76	74	75	76	71	64	62	61	65	72	78	79	71

Tabla 4. Parámetros climáticos promedio de Cúcuta 1981-201. Fuente: IDEAM - Aeropuerto Camilo Daza.

En base a estudios de campo realizados por Olgay, V. (1968) para el trópico, en la que se tuvieron en cuenta factores fisiológicos y climáticos, los límites aproximados de confort óptimo oscilan entre 21.1°C hasta 26.7°C. Estos rangos pueden descender y ascender 2.8°C. Es decir, que el nivel mínimo estará a 18.3°C y el máximo a 29.5°C. Por encima, o por debajo de esos límites uno se encuentra fuera de confort. (p. 129).

Según esto, la temperatura media de Cúcuta se encuentra por fuera del rango promedio, aproximándose al límite máximo; asimismo, la máxima anual se encuentra por encima de los límites por 2.5°C. Pues como muestra la tabla 4, los datos de temperatura son: máxima media anual de 32°C, temperatura media anual de 27.2°C, y mínima media de 22.7°C.

7.2 Estrategias de la Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía para la vivienda de interés social del clima cálido seco.

En el Anexo No. 2 de la Guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones figura el mapa de clasificación del clima en Colombia según la Temperatura y la Humedad Relativa y listado de municipios del IDEAM. Como muestra la figura 9 y la tabla 5, Cúcuta es clima cálido según la categorización Caldas por pisos, donde la altura sobre el nivel del

mar es el factor principal que caracteriza cada clima. (Minvivienda, 2015). De acuerdo con este documento, el mayor problema del clima cálido seco, es el exceso de calor, sumado al aire más seco. (p.4)

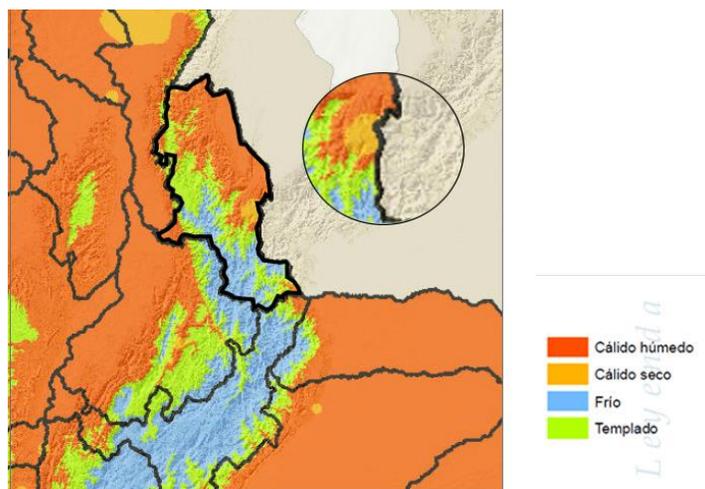


Figura 9. Mapa clima Norte de Santander, Cúcuta. Fuente: IDEAM

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	POBLACIÓN TOTAL			ALTITUD	CLIMA	% con respecto nacional	HOJA DE RUTA
		2012	2015	2020				
Bogotá, D.C.	Bogotá, D.C.	7,571,345	7,878,783	8,380,801	2,640	Frio	16.25%	28.89%
Antioquia	Medellín	2,393,011	2,464,322	2,569,007	1,405	Templado	5.14%	
Valle del Cauca	Cali	2,294,653	2,369,821	2,496,442	926	Cálido seco	4.93%	2.58%
Atlántico	Barranquilla	1,200,513	1,218,475	1,239,518	24	Cálido húmedo	2.58%	
Bolívar	Cartagena	967,103	1,001,755	1,057,445	1	Cálido húmedo	2.08%	7.96%
Norte de Santander	Cúcuta	630,971	650,011	680,568	297	Cálido seco	1.35%	
Atlántico	Soledad	566,784	615,492	701,047	5	Cálido húmedo	1.22%	1.15%
Tolima	Ibagué	537,467	553,524	579,807	1,168	Templado	1.15%	
Santander	Bucaramanga	526,056	527,913	528,480	950	Cálido seco	1.13%	1.03%
Cundinamarca	Soacha	477,918	511,262	567,546	2,554	Frio	1.03%	

Tabla 5. Sección Clasificación del clima. Fuente: Minvivienda (2015)

Por otra parte, la tabla 6 exponen las medidas de implementación, clasificándose según su potencial de ahorro de agua/energía, su costo de implementación, el periodo de retorno de la inversión, la disponibilidad en el mercado y la facilidad de inclusión. Se clasifican según su eficacia en: Altamente recomendable, moderadamente recomendable y poco recomendable. El potencial de ahorro de recursos es altamente recomendable si es mayor al 5% con un período de retorno de más de 3 años.

	Altamente recomendable	Moderadamente recomendable	Poco / no recomendable
Potencial de ahorro de recursos	> 5%	> 3% y < 5%	< 3%
Impacto en el costo	< 1%	> 1% y < 5%	> 5%
Periodo de retorno	< 3 años	> 3 años	> 5 años
Disponibilidad	Alta	Moderada / baja	Baja

Tabla 6. Criterios de selección de medidas. Fuente: Minvivienda (2015)

De acuerdo a los criterios dados para cada zona climática, el uso de edificación, bajo los parámetros de potencial de ahorro, impacto del costo y período de retorno, no aplica (N/A) ninguna medida para la vivienda de interés social en clima cálido seco. Como se observa en la tabla 7, en comparación con la vivienda no vis, no se evidencia un posible retorno para la vivienda VIS.

Clima cálido seco		Potencial de ahorro (Energía-Agua-Confort)	Impacto del costo	Periodo de retorno - payback	
No	Item	Tipo de edificio	%	(% del costo total)	(Años)
1	Relación ventana/pared	Vivienda VIS	N/A	N/A	N/A
		Vivienda no VIS	N/A	N/A	N/A
2	Sombreado horizontal	Vivienda VIS	N/A	N/A	N/A
		Vivienda no VIS	2,17%	0,52%	Sin retorno en 10 años
3	Sombreado vertical a 1200mm de intervalo	Vivienda VIS	N/A	N/A	N/A
		Vivienda no VIS	2,47%	0,44%	Sin retorno en 10 años
4	Sombreamiento vertical y horizontal combinado	Vivienda VIS	N/A	N/A	N/A
		Vivienda no VIS	3,39%	0,96%	Sin retorno en 10 años
5	Valor U vidrio	Vivienda VIS	N/A	N/A	N/A
		Vivienda no VIS	N/A	N/A	N/A
6	Coeficiente de ganancias solares del vidrio (SHGC)	Vivienda VIS	N/A	N/A	N/A
		Vivienda no VIS	N/A	N/A	N/A
7	Propiedades del sistema de acristalamiento (conjunto)	Vivienda VIS	N/A	N/A	N/A
		Vivienda no VIS	N/A	N/A	N/A
8	Valor U pared	Vivienda VIS	N/A	N/A	N/A
		Vivienda no VIS	0,00%	N/A	N/A
9	Valor U cubierta	Vivienda VIS	N/A	N/A	N/A
		Vivienda no VIS	N/A	N/A	N/A
10	Reflectividad de la pared	Vivienda VIS	N/A	N/A	N/A
		Vivienda no VIS	N/A	N/A	N/A
11	Reflectividad de la cubierta	Vivienda VIS	N/A	N/A	N/A
		Vivienda no VIS	N/A	N/A	N/A
12	Estanqueidad al aire	Vivienda VIS	N/A	N/A	N/A
		Vivienda no VIS	N/A	N/A	N/A
13	Ventilación natural	Vivienda VIS	N/A	N/A	N/A
		Vivienda no VIS	N/A	N/A	N/A

Tabla 7. Matriz de implementación (Sección). Fuente: Elaboración propia basado en Guía

Para el primer año de entrada en vigencia de la Resolución, se estableció para la vivienda VIS/VIP en clima cálido seco un porcentaje mínimo de 10% de ahorro en agua y

energía. Así mismo, se planteó la iluminación de energía eficiente para áreas comunes como medida activa; y la protección solar como medida pasiva.

A partir del segundo año de la entrada en vigencia, el porcentaje aumenta al 20% en ahorro mínimo de energía. Se recomienda una medida pasiva y dos activas. Como una única medida pasiva, la relación ventana pared; y las medidas activas, coeficiente de desempeño (COP) y la Corrección de Factor de Potencia (CFP).

Según la Resolución, en Colombia hay pocas estrategias que puedan ser usadas para reducir la dependencia de medios activos de energía. Para tal efecto, establece tres grupos principales: Iluminación, Envolvente y Ventilación. (p. 44)

Asimismo, propone objetivos de diseño por clima. En particular para el clima cálido seco, sugiere dos: el edificio debe volverse un buen disipador de calor y maximizar la sombra.

Posteriormente, de manera general en el capítulo 5, se exponen una guía de buenas prácticas, señalando los beneficios, estrategias, guías y recomendaciones para que puedan ser adoptadas por los diseñadores y con la intención de que se profundice en cada tema. Además, se subraya que las medidas son sugeridas, no obligatorias y estrictamente voluntarias. (p. 72)

Como medida pasiva, describe la ventilación natural, aconseja el análisis de la rosa de los vientos en conjunto con la temperatura y humedad del aire para garantizar la mejora en las condiciones de confort. Además, sugiere el estudio de la presión del viento y dirección. Mas adelante, considera la luz de día como un criterio que debe considerarse en etapa conceptual de diseño. (p. 84). La Tabla 8, resume la literatura que indica este capítulo con respecto a las medidas sugeridas en la primera y segunda etapa de implementación.

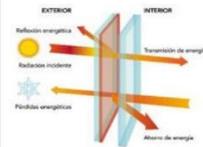
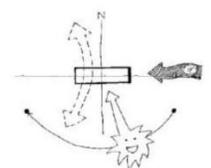
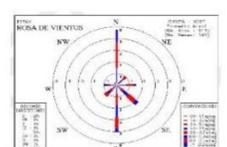
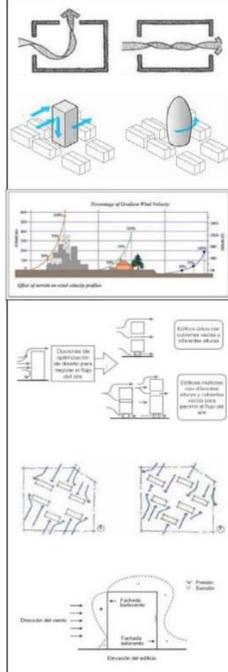
MEDIDAS PASIVAS			
Medida	Beneficios	Guía de cumplimiento y recomendaciones	Estrategias
Relación Ventana Pared (RVP)	Balance en los aportes de iluminación y ventilación de la luz día y el vidrioado contra los impactos de las ganancias de calor en las necesidades de enfriamiento	<p>Requerimiento mínimo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - En promedio, la proporción de ventana a pared no debe exceder el 40% <p>- Cuando RVP es mayor a 40%, el sombreado o el coeficiente de ganancia solar (SHGC) del vidrio deben ser consideradas para recompensar la pérdida de energía al aumentar el RVP</p>	<p>Forma de cálculo: $\text{área de vidrio} / \text{área bruta de pared exterior} = \text{RVP (\%)}$</p>  <p>Fuente: Certificados energéticos (2014)</p>  <p>Fuente: Serra (1999)</p>
Protección Solar: Elementos de protección solar y Vidrios de control solar	<ul style="list-style-type: none"> -Se ajusta a los requerimientos de los ocupantes. -Los elementos de sombreado alcanzan ahorros considerables de energía potencial. <p>Cuando sombreados combinados se incorporan, la reducción del consumo de energía está entre 11% y 17%.</p>	<p>Crterios:</p> <p>Los sistemas de sombreado no deben exceder los 70° de VSA O HSA a menos que sean usados en conjunto con buenos niveles de coeficiente de ganancias térmicas solares (SHGC)</p> <p>Recomendaciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Luz día para habitaciones 2. Sistemas de sombreado 3. Persianas externas 4. Control solar 	<p>Método de cálculo</p>  <ol style="list-style-type: none"> 1. Dibuje una línea a través del centro del diagrama solar, representando el plano del lado de la pared a considerar 2. Marque en el diagrama del recorrido del sol el período de sombra 3. Escoja una máscara de sombreado 4. Varias combinaciones de sombra vertical y horizontal pueden dar resultados satisfactorios <p>Fuente: Oleary (1963)</p>
Ventilación Natural	-Permite mejorar el confort y reduce la temperatura	<p>-Ventilación natural cruzada</p> <p>-Forma de la edificación para limitar el impacto en otras edificaciones vecinas</p> <p>-Conformación del viento a forma del edificio y volumen</p> <p>- Efecto del terreno y perfil de velocidad del viento</p> <p>- Mejorar el flujo del viento con optimización de diseño en planos y sección</p> <p>-Diseño escalonado en planos</p> <p>-Presión del viento: Es aconsejable no ubicar espacios habitables o ocupados de tiempo completo en el lado sotavento de la edificación ya que va debajo de la zona de sombreado del viento.</p>	<p>Método de cálculo</p> <p>-Análisis de la rosa de los vientos. debe ser hecho de manera conjunta con la temperatura y humedad del aire para así garantizar que la ventilación reduce la temperatura y mejora las condiciones de confort.</p>  

Tabla 8. Selección de Medidas pasivas para clima cálido seco. Fuente: Elaboración propia basado en Guía de construcción sostenible

7.3 Estudio de caso

Como estudio de caso, se selecciona el Conjunto residencial Los Arrayanes desarrollado por UT Ciudad Rodeo. El proyecto construido en el año 2016, tras año y medio de construcción e implementación de la guía, se encuentra ubicado en el sector del Anillo Vial Occidental del municipio de San José de Cúcuta, capital de Norte de Santander, junto a Ciudad Rodeo como se muestra en la figura 10. Se trata de un proyecto de apartamentos en conjunto cerrado el cual forma parte del programa de vivienda prioritario (VIP) y vivienda de interés social (VIS) que cuentan con beneficios de subsidio Mi Casa Ya del Ministerio de Vivienda de Colombia.

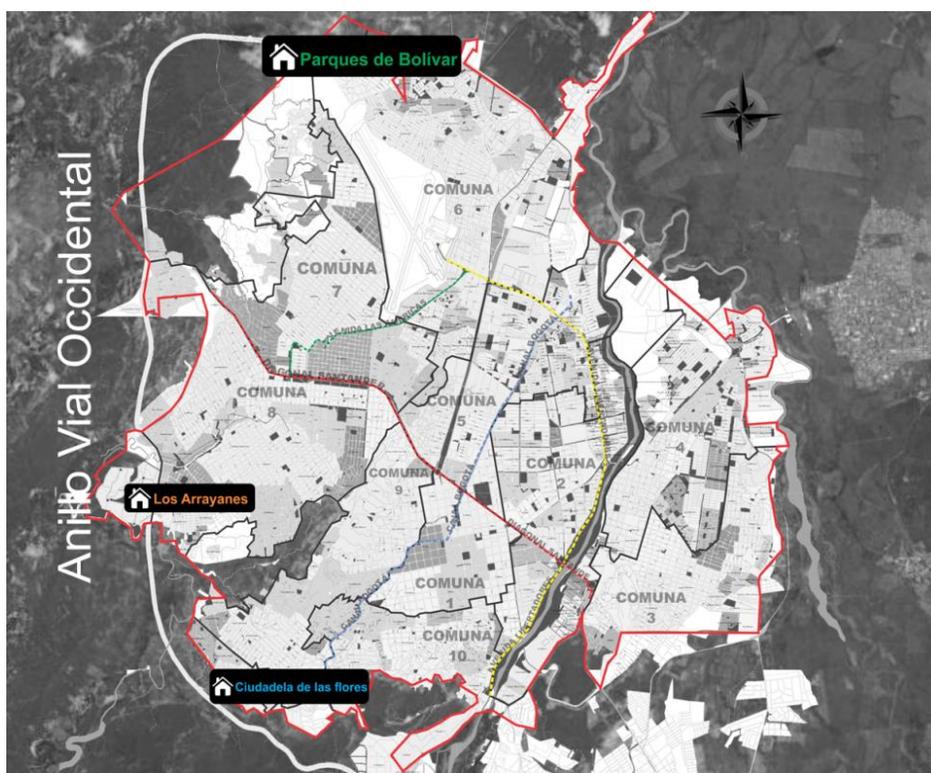


Figura 10. Localización Conjunto Cerrado Los Arrayanes. Fuente: Metrovivienda Cúcuta

Actualmente, es uno de los proyectos de este tipo con mayor número de viviendas. El área total urbanizada es de 40.259.95 m². Hacia el norte, se encuentra un lote sin construir; al sur, el mega Colegio Pedro Cuadro Hernández; al oeste, la ciudadela Los

Estoraques, un proyecto de 900 apartamentos en torres de 5 pisos; y al este, atravesando el anillo vial, la urbanización de viviendas de dos pisos San Fernando del Rodeo como representa la figura 11.



Figura 11. Localización y Limites Conjunto Cerrado Los Arrayanes.

Son 25 torres con 12 apartamentos por piso de 42 m². 60 apartamentos por torre para un total de 1500 unidades de vivienda como se representa en la figura 12 y 13. La distancia entre cada edificio en sentido Norte Sur y Este Oeste es de 6.0 m. El vacío donde se implanta el parqueadero y la zona social, tiene una distancia de 68.0 (Este-Oeste).



Figura 12. Vista urbana Conjunto Los Arrayanes Fuente: Findeter

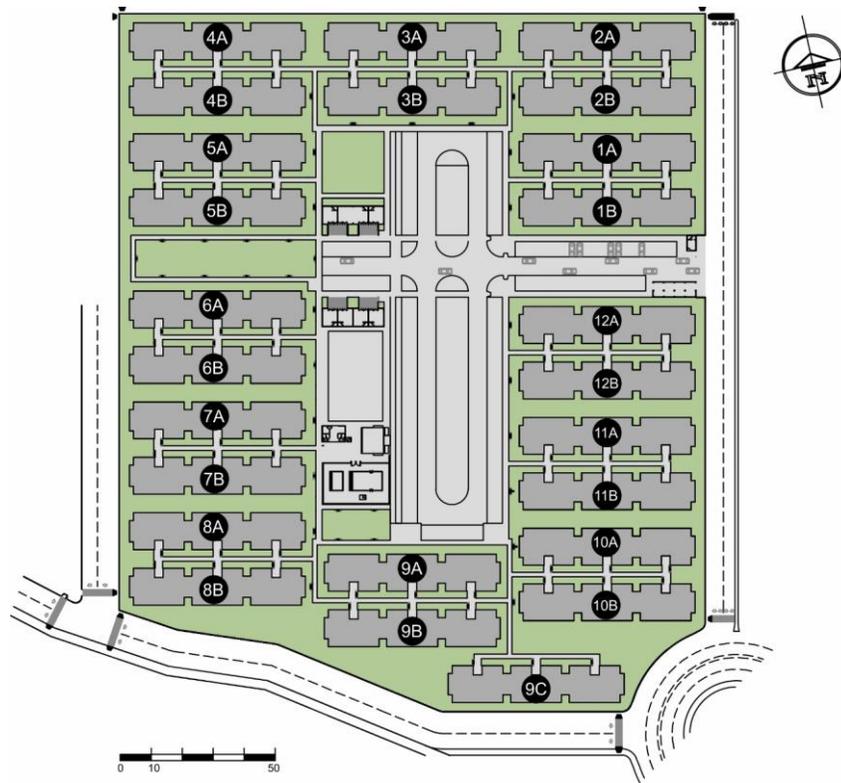


Figura 13. Planta urbana. Fuente: UT Ciudad Rodeo



Figura 14. Vista Norte Conjunto Los Arrayanes Fuente: Findeter

La implantación del proyecto respecto a la orientación solar se da con sus fachadas largas orientadas hacia el Norte y sur con una inclinación hacia el Oeste de 13°.

Por otra parte, la figura 14, muestra la materialidad de los edificios, construidos en sistema industrializado; el cual es el de mayor uso para este tipo de vivienda por el beneficio que representa en costos y rapidez en ejecución. Es decir, está compuesto principalmente de concreto, tanto en sus paredes externas como internas.

7.3.1 Análisis incidencia solar

Para el análisis del asoleamiento del conjunto, se utilizó el software Autodesk Ecotect Analysis Versión Estudiantil. Este programa ofrece una amplia gama de simulaciones y análisis de funcionamiento energético que permite visualizar el comportamiento del edificio en el contexto de su medio ambiente. Dentro de sus funciones está el análisis energético, comportamiento térmico, cálculo de niveles de luminosidad, sombras y reflejos, su posición solar y el recorrido relativo con respecto al modelo, en cualquier fecha, hora y ubicación.

La simulación del proyecto en solsticio de invierno (21 de diciembre), solsticio de verano (21 de junio) y equinoccio (marzo / septiembre), permitió evidenciar el edificio con las condiciones de asoleación menos favorables para continuar con el análisis de una de sus torres.

Cómo se observa en las figuras 16 y 17, en el solsticio de invierno (21 de diciembre) sobre la Fachada Nor – Oeste, se presentan intervalos entre 30 y 60 Wh/m² (vatios por metro cuadrado) siendo la máxima a las 13:00 p.m. de irradiancia solar. La misma situación se presenta sobre la Fachada Sur – Este. Así mismo, sobre las cubiertas, los intervalos están entre 210 y 400 + kw/m² en las dos Fachadas estudiadas.

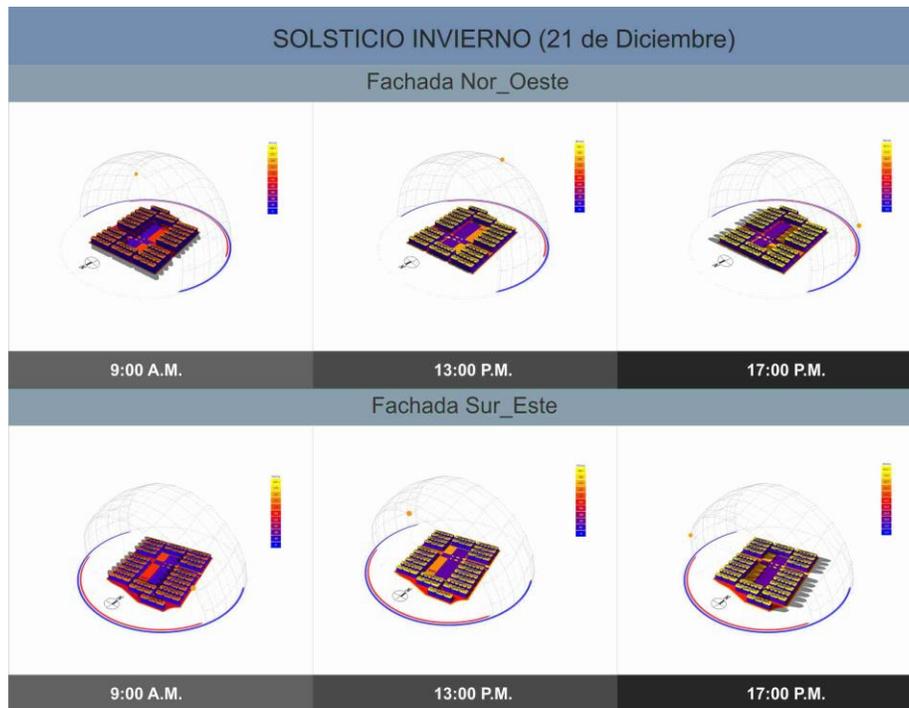


Figura 15. Solsticio Invierno Fachada Sur-Este y Nor-Oeste Conjunto Los Arrayanes Fuente: Elaboración propia

SOLSTICIO INVIERNO (21 de Diciembre)				
9:00 A.M.		13:00 P.M.		17:00 P.M.
Fachada Nor_Oeste				
210	360	400+	80.0+	
30	30	60	8.0	16.0
Fachada Sur_Este				
210	360	400+	80.0+	
30	30	60	8.0	16.0

Figura 16. Resumen irradiancia Solsticio Invierno Fachada Sur-Este y Nor-Oeste Conjunto Los Arrayanes

Durante el Solsticio de Verano (21 de junio) que muestra la Figura 17 y 18, los intervalos de irradiancia de la Fachada Nor - Oeste, no muestra incidencia, manteniéndose en 0 kw/m2 durante el día. Sin embargo, en la cubierta se presentan entre 300 y 1000+

kw/m². En cuanto a la Fachada Sur Este, se encuentran entre los 0 y 100 kw/m² durante las 13:00p.m. Sobre la cubierta, se presentan entre 420 y los 1000 + kw/m².

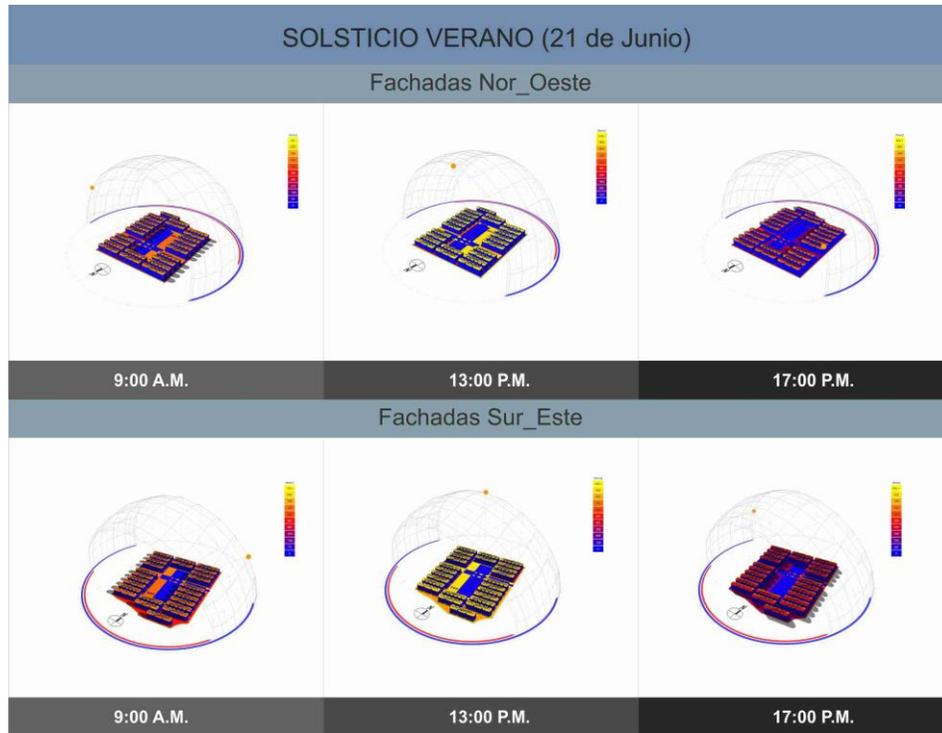


Figura 17. Solsticio Verano Fachada Sur-Este y Nor-Oeste Conjunto Los Arrayanes

SOLSTICIO VERANO (21 de Junio)					
9:00 A.M.		13:00 P.M.		17:00 P.M.	
Fachada Nor_Oeste					
490	560	900	1000+	300	420
0	0	0	0	0	0
Fachada Sur_Este					
490	560	900	1000+	300	420
70	0	100	0	60	60

Figura 18. Resumen irradiancia Solsticio Verano Fachada Sur-Este y Nor-Oeste Conjunto Los Arrayanes

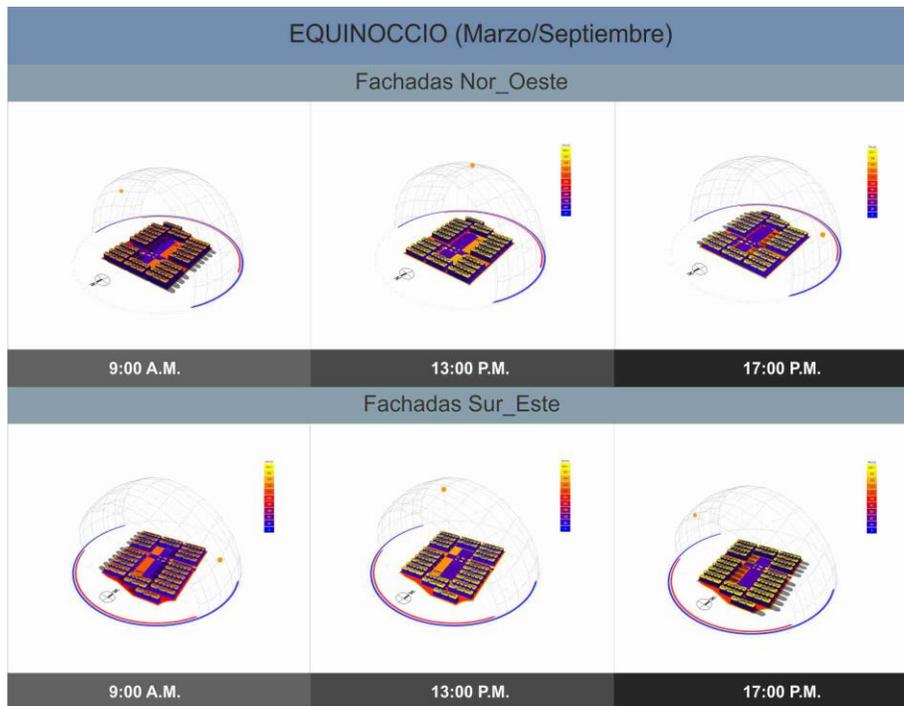


Figura 19. Equinoccio Fachada Sur-Este y Nor-Oeste Conjunto Los Arrayanes Fuente: Elaboración propia

EQUINOCCIO					
9:00 A.M.		13:00 P.M.		17:00 P.M.	
Fachada Sur_Este					
320		540	600+	200+	
0	40	0	60	0	20
Fachada Nor_Oeste					
320		540	600+	200+	
0	40	0	60	0	20

Figura 20. Resumen irradiancia Equinoccio Fachada Sur-Este y Nor-Oeste Conjunto Los Arrayanes Fuente: Elaboración propia

En equinoccio, el análisis de las Figura 19 y 20, muestran en la Fachada Nor Oeste y Sur Este, intervalos entre 0 y 60 kw/m². Sobre las cubiertas, la irradiancia se encuentra entre los 320 y los 600+kw/m².

En conclusión, este análisis del conjunto nos permite evidenciar que en Solsticio de verano sobre la Fachada Sur Este, se dan los mayores intervalos de incidencia solar.

7.3.2 Análisis de sombras

Mediante el plugin de Sketchup, Shadow Analysis, se analizó las condiciones de luz diurna en Solsticio de Invierno, Solsticio de Verano y Equinoccio sobre la Fachada Nor Oeste y Sur Este evidenciando la cantidad de horas de sombra durante el día.

Como se muestra en la Figura 21, durante el solsticio de invierno sobre la fachada Norte, se presentan 10 horas de sombra, mientras que en la Fachada Oeste, 6 horas.

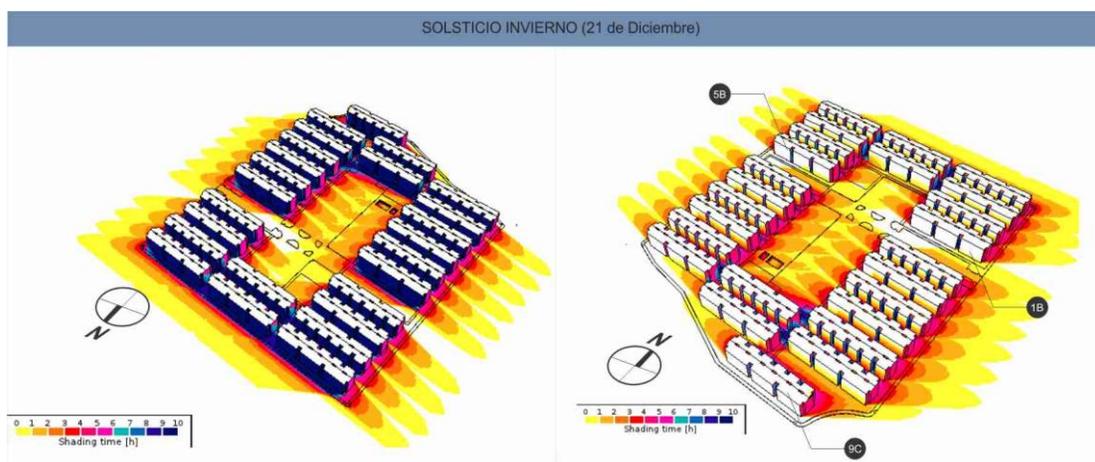


Figura 21. Análisis de sombras Solsticio Invierno Fachada Nor Oeste y Sur Este. Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la Fachada Sur, no se observa sombra en las torres 1B, 5B y 9C. Es decir, las que cuentan con mayor distancia entre ellas sobre la fachada más larga, ó están en el perímetro sin volumen que genere sombra. En la Fachada Este, son 6 horas en la mayoría de las torres, ya que las que se encuentran enfrentadas por la cara más corta, en una mínima proporción se genera sombra durante 8 horas.

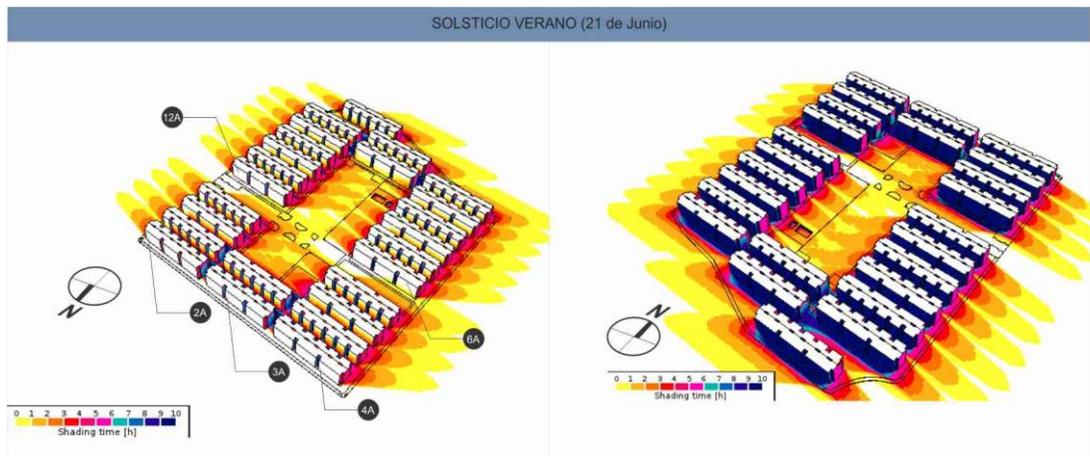


Figura 22. Análisis de sombras Solsticio Verano Fachada Nor Oeste y Sur Este. Fuente: Elaboración propia

En Solsticio de Verano que se expone en la Figura 22, las fachadas hacia el Norte, cuentan con un mínimo de 1 a 2 horas de sombra; a excepción de las torres sin volumen cercano con 0 horas. Es decir, las fachadas de las torres 2A, 3A, 4A, 6A y 12A. En la fachada Oeste, en su mayoría se presenta una cantidad de 6 horas. En cuanto a la fachada Sur, se presenta una cantidad de 10 horas en todas las torres. En la fachada Este, 6 horas de sombra.

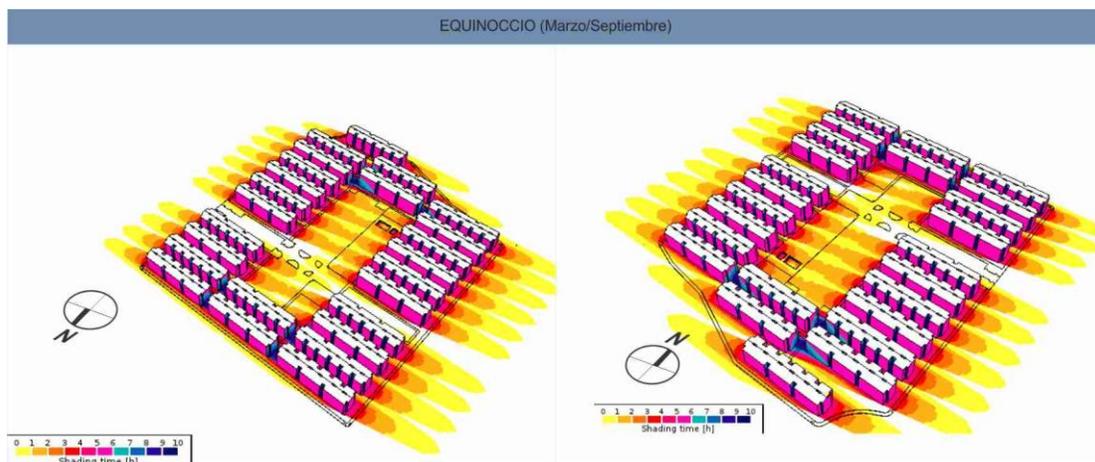


Figura 23. Análisis de sombras Equinoccio Fachada Nor Oeste y Sur Este. Fuente: Elaboración propia

Durante el equinoccio, tanto en fachada Nor Oeste, como en Sur Este, se presentan 6 horas de sombra en sus caras. Sin mayor influencia, se presenta un aumento de horas sobre la parte baja de algunas de las torres sobre las caras más corta.

Es conclusión, el análisis de cantidad de horas de sombra, muestra que en su mayoría de las torres no hay presencia de sombra en las fachadas Sur Este en Solsticio de Invierno y las fachadas Nor Oeste de Solsticio de Verano.

7.3.3 Comparativo de Incidencia solar y análisis de sombras

Se realiza un análisis comparativo de cada una de las torres de acuerdo a los resultados anteriores para evidenciar la torre con mayor incidencia solar y menor cantidad de sombras.

Del análisis de incidencia solar, se toman los resultados de la 1:00 p.m. debido a que, en esta hora, se observan los intervalos más altos durante el año. Del análisis de sombras, se toman los resultados de cada una de las caras.

Los resultados presentados en la tabla 9, indican que las torres 1B, 5B y 9C, presentan resultados similares durante el año. Su diferencia mínima se marca debido a la distancia de la torre 9C con la torre 10B de 14.5m sobre la Fachada Norte y su ubicación en el perímetro sobre la fachada Sur al no contar con un volumen cercano que le genere sombra. Las torres 1 B y 5B, tienen las torres más cercanas sobre la fachada Norte a 6.0 m y sobre la fachada Sur a 20.00m. Sobre las Fachadas Este y Oeste, presentan las mismas condiciones las tres torres.

Así mismo, se muestra que, en solsticio de invierno, sobre la Fachada Sur, la torre 9C, presenta horas de sombra 0. Mientras las torres 1B y 5B, de 0 a 1 horas. En solsticio

de verano, existe igualmente una mínima diferencia; en la torre 9C se muestra 1 hora de diferencia respecto a 1B y 5B.

En los resultados de incidencia solar, no se observa una diferencia significativa entre estas tres torres, presentando los mismos resultados durante el año en todas sus caras.

No.	Torre	ANÁLISIS INCIDENCIA SOLAR									ANÁLISIS DE SOMBRAS																						
		Solsticio Invierno				Solsticio Verano				Equinoccio				Solsticio Invierno				Solsticio Verano				Equinoccio											
		Nor	Oeste	Sur	Este	Nor	Oeste	Sur	Este	Nor	Oeste	Sur	Este	Norte	Oeste	Sur	Este	Norte	Oeste	Sur	Este	Norte	Oeste	Sur	Este								
1	1A	30	60	30	60	0	0	100	0	60	0	60	10	6	0	3	6	0	3	6	10	6	6	6	6	6							
2	1B	30	60	30	60	0	0	100	0	60	0	60	10	6	0	1	6	0	3	6	10	6	6	6	6	6							
3	2A	30	60	30	60	0	0	100	0	60	0	60	10	6	10	0	3	6	0	3	6	10	6	6	6	10	6	6					
4	2B	30	60	30	60	0	0	100	0	60	0	60	10	6	10	0	3	6	0	3	6	10	6	6	6	10	6	6					
5	3A	30	60	30	60	0	0	100	0	60	0	60	10	6	10	0	3	6	10	0	3	6	10	6	6	6	10	6	6				
6	3B	30	60	30	60	0	0	100	0	60	0	60	10	6	10	0	3	6	10	0	3	6	10	6	10	6	6	10	6	6			
7	4A	30	60	30	60	0	0	100	0	60	0	60	10	6	0	3	6	10	0	3	6	10	6	10	6	6	6	10	6	6			
8	4B	30	60	30	60	0	0	100	0	60	0	60	10	6	0	3	6	10	0	3	6	10	6	10	6	6	6	10	6	6			
9	5A	30	60	30	60	0	0	100	0	60	0	60	10	6	0	3	6	10	0	3	6	10	6	10	6	6	6	10	6	6			
10	5B	30	60	30	60	0	0	100	0	60	0	60	10	6	0	1	6	0	3	6	10	6	6	6	6	6	6	6	6				
11	6A	30	60	30	60	0	0	100	0	60	0	60	10	6	0	3	6	0	1	6	10	6	6	6	6	6	6	6	6				
12	6B	30	60	30	60	0	0	100	0	60	0	60	10	6	0	3	6	0	3	6	10	6	6	6	6	6	6	6	6				
13	7A	30	60	30	60	0	0	100	0	60	0	60	10	6	0	3	6	0	3	6	10	6	6	6	6	6	6	6	6				
14	7B	30	60	30	60	0	0	100	0	60	0	60	10	6	0	3	6	0	3	6	10	6	6	6	6	6	6	6	6				
15	8A	30	60	30	60	0	0	100	0	60	0	60	10	6	0	6	6	0	3	6	10	6	6	6	6	6	6	6	6				
16	8B	30	60	30	60	0	0	100	0	60	0	60	10	6	0	3	6	10	0	3	6	10	6	10	6	6	6	6	10	6	6		
17	9A	30	60	30	60	0	0	100	0	60	0	60	10	6	10	0	6	6	10	0	3	6	10	6	10	6	8	6	10	6	8	6	10
18	9B	30	60	30	60	0	0	100	0	60	0	60	10	6	0	1	6	0	3	6	10	6	10	6	6	6	6	6	10	6	6	10	
19	9C	30	60	30	60	0	0	100	0	60	0	60	10	6	0	6	0	2	6	10	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6		
20	10A	30	60	30	60	0	0	100	0	60	0	60	10	6	10	0	3	6	0	3	6	10	6	6	6	10	6	8	6	6	6		
21	10B	30	60	30	60	0	0	100	0	60	0	60	10	6	10	0	1	6	0	3	6	10	6	6	6	6	8	6	6	6	6		
22	11A	30	60	30	60	0	0	100	0	60	0	60	10	6	0	3	6	0	3	6	10	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6		
23	11B	30	60	30	60	0	0	100	0	60	0	60	10	6	0	3	6	0	3	6	10	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6		
24	12A	30	60	30	60	0	0	100	0	60	0	60	10	6	0	3	6	0	3	6	10	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6		
25	12B	30	60	30	60	0	0	100	0	60	0	60	10	6	0	3	6	0	3	6	10	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6		

Tabla 9. Resultados Análisis de Incidencia solar y Sombras de Torres de Conjunto Arrayanes. Fuente: Elaboración propia

En conclusión, al relacionar los dos resultados del análisis de la incidencia solar y análisis de sombra del conjunto, se determina que la torre 9C es objeto de estudio específico. Así mismo, para continuar con el análisis de la unidad de vivienda, se selecciona el apartamento con mayor incidencia solar en sus fachadas y cubierta durante el verano. Es decir, el apartamento 502 ubicado con fachada hacia el Norte y cara lateral Oeste.

7.4 Estrategias de diseño

Como se señala en la Guía de construcción sostenible, se implementa las medidas pasivas de implementación para el primer año y para el segundo año. Es decir, protección solar y relación ventana pared. Sumado a esto, se adopta como recomendación, la ventilación natural y la orientación solar del edificio.

Las estrategias de diseño son el resultado del análisis de la unidad de vivienda del edificio 9C y el apartamento 502, como se indica en la Figura 24 y 25.

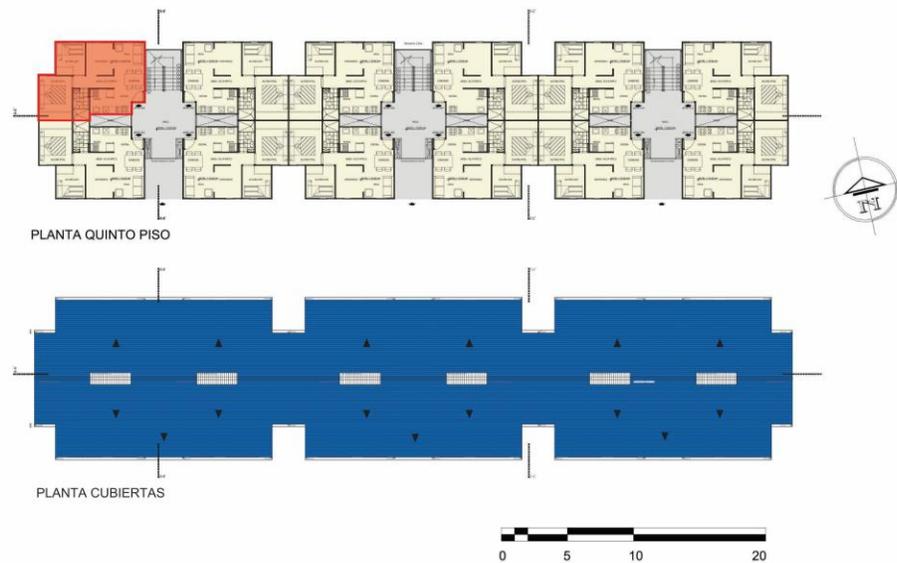


Figura 24. Planta arquitectónica de edificio y cubierta tipo. Fuente: UT Ciudad Rodeo



Figura 25. Planta arquitectónica apartamento tipo. Fuente: UT Ciudad Rodeo

7.4.1 Orientación del proyecto en relación al sol

La orientación correcta del edificio es una medida de alto beneficio ante el efecto térmico que se pueda generar sobre los diferentes lados expuestos al sol.

Se recomienda para la posición geográfica, la verificación de la posición del lote con respecto al norte. De ser factible, las fachadas de mayor extensión deben estar orientadas al eje norte-sur y evitar aberturas en el eje este-oeste.

Para la ciudad de Cúcuta, la óptima orientación se obtiene hacia el sur-este con un ángulo de inclinación de 9.5° como se indica en la Figura 26.

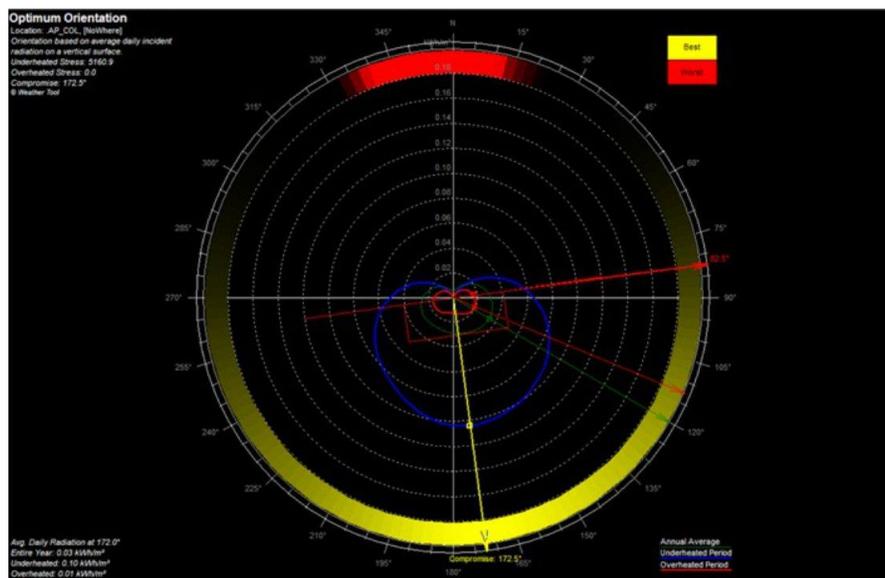


Figura 26. Estrategia de orientación de Cúcuta con software Ecotect. Fuente: Elaboración propia

7.4.2 Protección solar

Esta estrategia consiste en el uso de elementos fijos o móviles que impidan la incidencia solar sobre las aberturas o elementos translúcidos como las ventanas en la envolvente de la edificación. La radiación solar es una de las principales fuentes de ganancia de calor, por lo que la protección solar es usada con el fin de disminuir efectos negativos en el confort térmico de los usuarios.

En el caso de estudio, se analizan las ventanas de las habitaciones hacia la fachada norte con 13° de inclinación hacia el este. En el estado actual, cuentan con 0% de protección anual como se indica en la Figura 27.

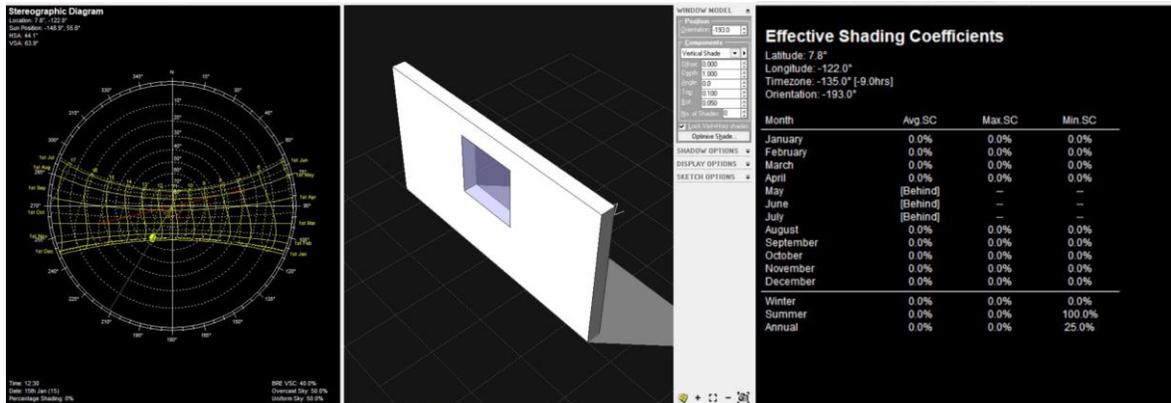


Figura 27. Simulación con Ecotect de protección solar ventana actual nor este. Fuente: Elaboración propia

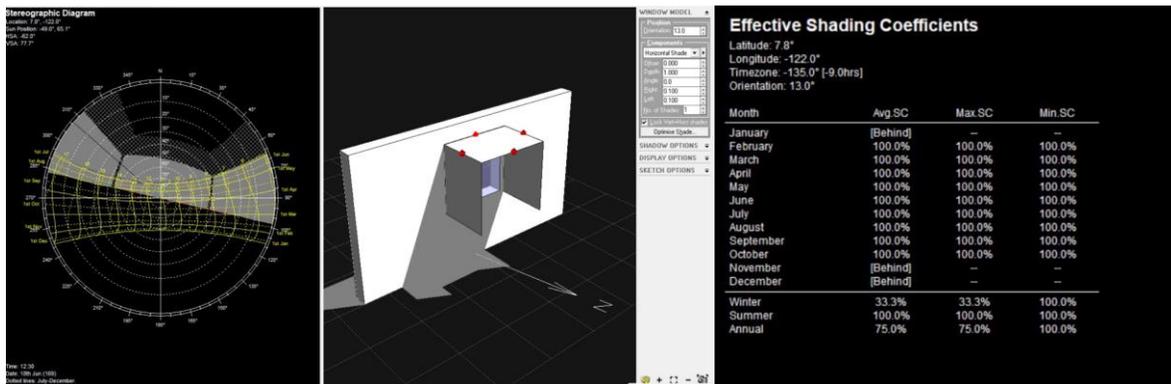


Figura 28. Simulación con Ecotect de estrategia de protección solar ventana nor este. Fuente: Elaboración propia

La estrategia de protección para esta abertura en condición óptima, protege en verano 100% y en invierno 33.3%, para un total del 75% anual como se indica en la Figura 28. La estrategia representada en la Figura 29 consiste en un elemento móvil o fijo horizontal tipo alero y vertical tipo partesoil de 1.0 m de ancho, como resultado del ángulo de sombra de 50° logrando proteger un 75% durante el año.

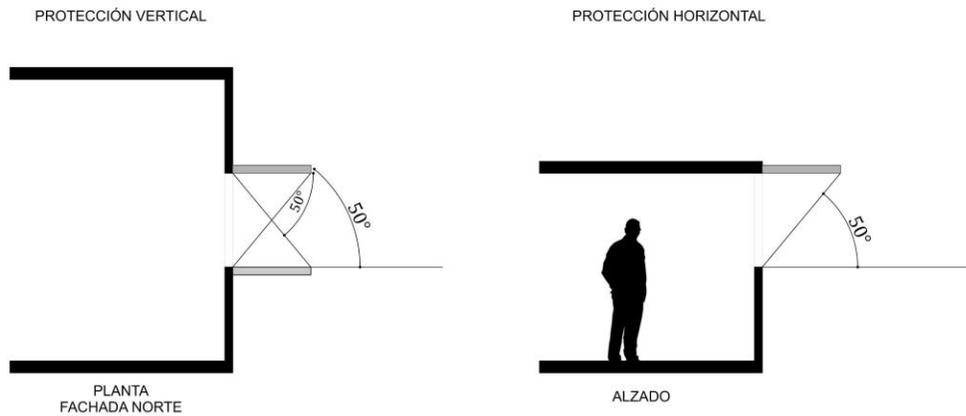


Figura 29. Estrategias de protección solar nor este. Fuente: Elaboración propia

Hacia la fachada sur con inclinación hacia el oeste, en la situación actual también cuenta con un 0% de protección como se muestra en la Figura 30.

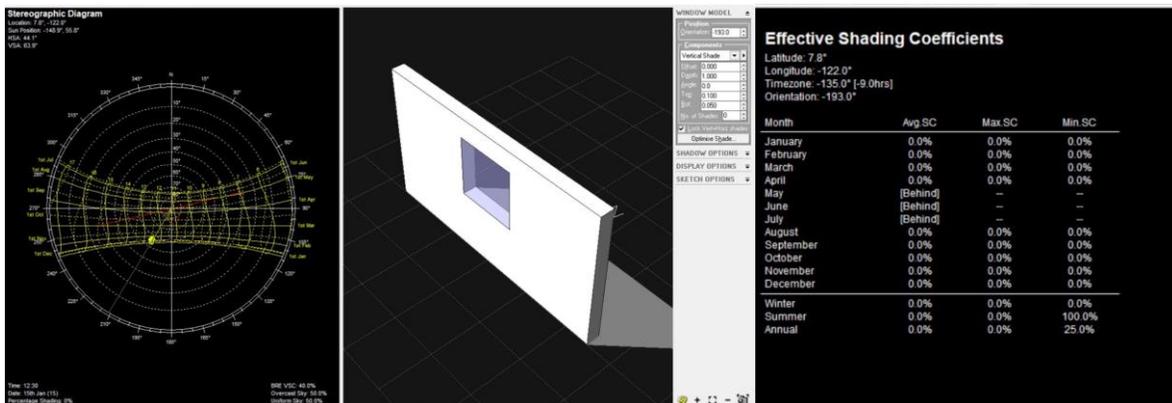


Figura 30. Simulación con Ecotect de protección solar ventana actual sur oeste. Fuente: Elaboración propia

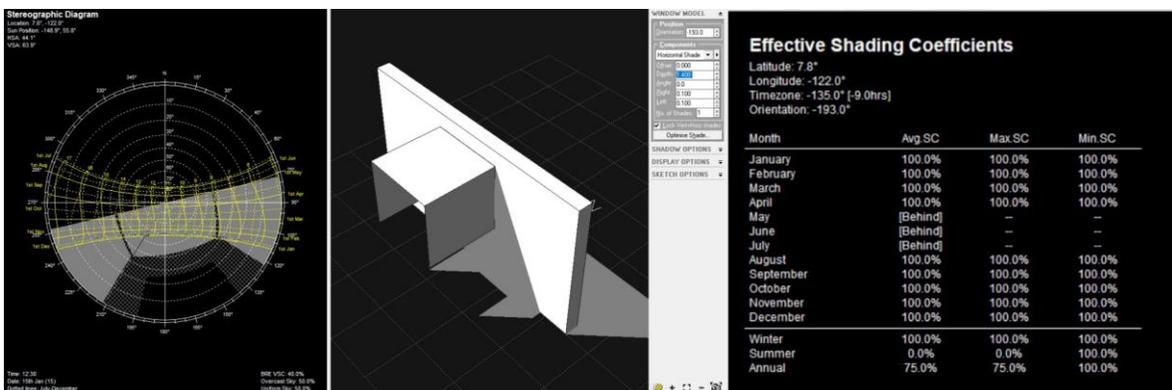


Figura 31. Simulación con Ecotect de estrategia de protección solar ventana sur oeste. Fuente: Elaboración propia

La estrategia consiste en un elemento móvil o fijo horizontal tipo alero y vertical tipo partesol de 1.4m. de ancho como resultado de ángulo de sombra de 41° , logrando proteger un 100% durante el invierno y un 75% durante el año como se muestra en la Figura 32.

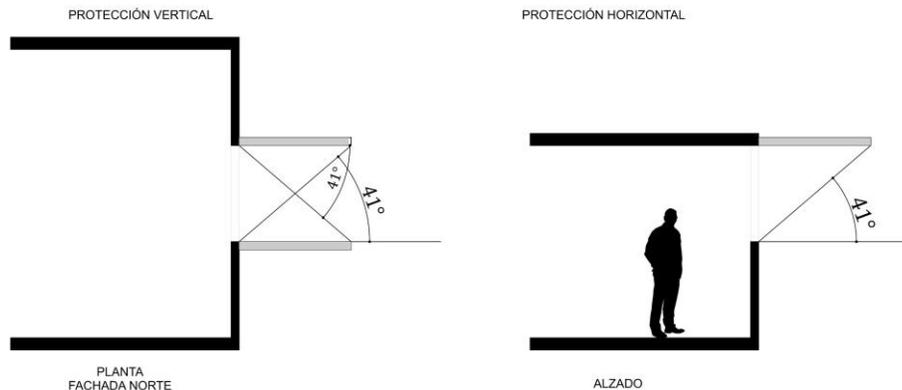


Figura 32. Estrategias de protección solar sur oeste. Fuente: Elaboración propia

7.4.3 Relación Ventana Pared

Esta estrategia analizada en el caso de estudio, la ventana representa un 21% sobre las fachadas tanto norte como sur en la unidad de vivienda. Es decir, cumple con el requerimiento mínimo expuesto en la guía de no exceder el 40%. En las fachadas este y oeste, no existen ventanas.

En los proyectos de vivienda de interés social, tienden a no exceder este porcentaje por los costos del vidrio versus pared. Esta estrategia se complementa para el clima de Cúcuta con la estrategia de protección solar, pues los espacios deben contar con condiciones de habitabilidad como lo es la iluminación natural.

7.4.4 Ventilación natural

El caso de estudio analizado, se encuentra orientado favorablemente al eje eólico

como se observa con la simulación en el software Wind Tunnel. de la Figura 33. Se evidencia que en la mayoría de los espacios cuentan con ventilación cruzada. Esta estrategia es el resultado de una orientación geográfica adecuada del proyecto.

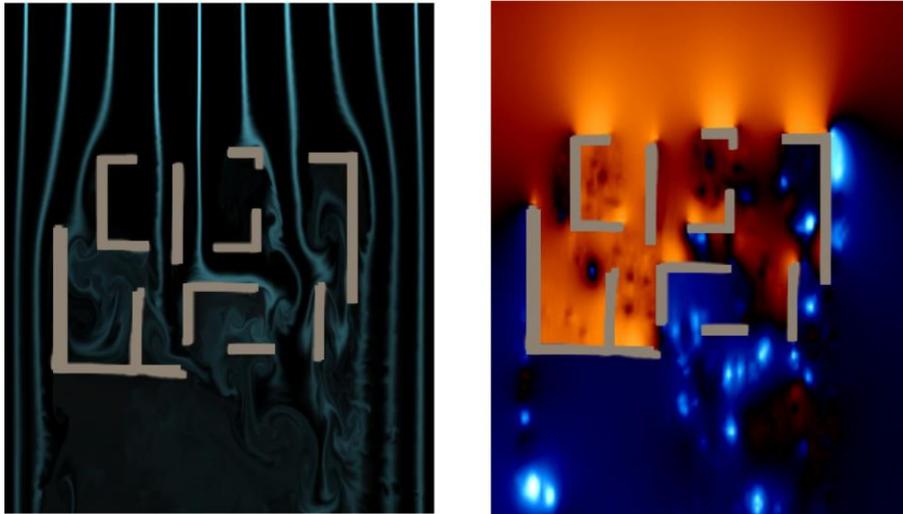


Figura 33. Esquema de ventilación natural de apartamento tipo. Fuente: Elaboración propia

7.4.5 Balance térmico

Por medio del balance térmico, se evidencia la favorabilidad de las condiciones térmicas de la edificación, mostrando las pérdidas y ganancias de calor, para evaluar las situaciones de confort interior.

Se analiza la zona social, el día 27 de agosto, como uno de los más calurosos del año. La Figura 34, se simula el escenario actual; es decir, sin protección solar. Y la Figura 35, el escenario optimizado con estrategia de protección solar.

La primera franja muestra las diferencias de temperatura; en la segunda, la línea amarilla señala las ganancias de calor y la tercera el comportamiento de la ventilación natural al interior del espacio seleccionado.

Esta comparación demuestra, la eficiencia de las estrategias. Se destaca, la

diferencia de temperatura máxima entre la 1:00 y 5:00 p.m. en donde el escenario actual sobrepasa los 34°C, mientras que el optimizado, llega hasta 34°C. Esto, se ve reflejado considerablemente en las ganancias de calor durante el día de 5.0 w/h. en el escenario sin protección solar; a diferencia del escenario optimizado, con una ganancia de 1.0 w/h.

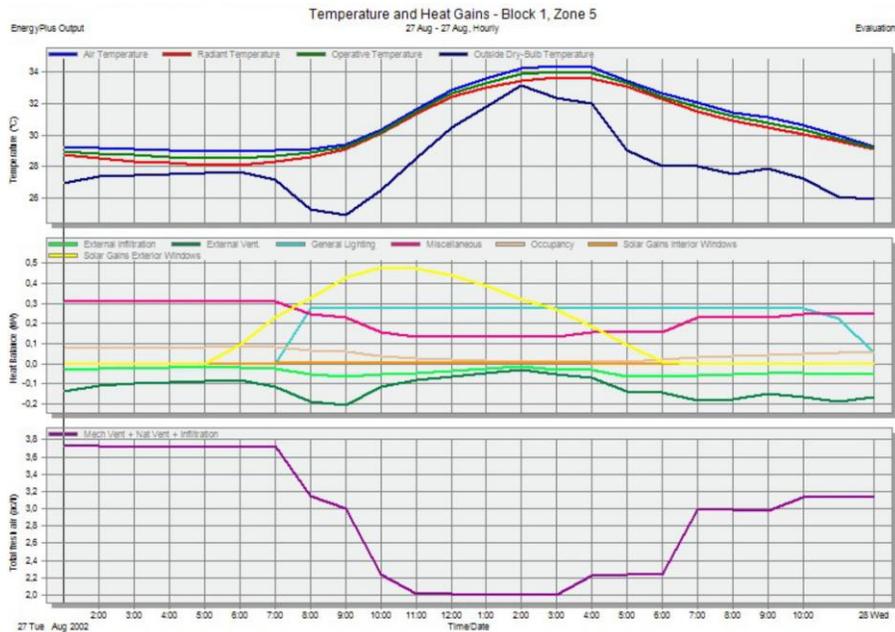


Figura 34. Escenario sin protección solar en Ecotect. Fuente: Elaboración propia

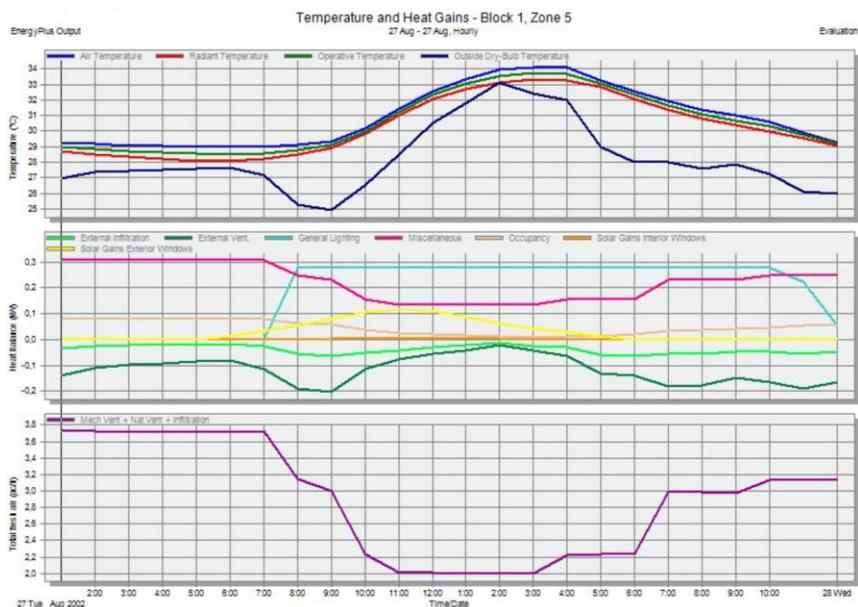


Figura 35. Escenario con protección solar en Ecotect. Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

El sector de la construcción y su sistema de producción, tiene una alta responsabilidad frente al cambio climático; por lo tanto, las estrategias de adaptación y mitigación cada vez deben ser tomadas con mayor responsabilidad por los diferentes actores involucrados sin subestimar acciones que a largo plazo, se conviertan en una problemática como lo es la flexibilización en medidas normativas para la vivienda de interés social ya que representa una alta demanda en la construcción de vivienda nueva.

La mitad de la población mundial vive hoy en zonas urbanas, esto demanda el abastecimiento de bienes y servicios de la vida de la actual sociedad, teniendo como consecuencia altas emisiones globales. En el caso de los edificios residenciales, llegaron a representar un 70% de la demanda energética, cifra que tiende a seguir en aumento al si no se implementan con mayor rigor las acciones para disminuir el consumo y mitigar sus efectos en el clima.

A nivel país, la reglamentación para la construcción sostenible es flexible en la implementación de medidas en la vivienda de interés social. Sumado a esto, en ciudades pequeñas como Cúcuta, hasta el día de hoy la incorporación de estas medidas a otro tipo de edificaciones son de baja exigencia. Es decir, hay una dilación en la aplicación de este instrumento normativo en la ciudad.

La Resolución 549 de 2015, como medida de construcción sostenible, propone para los proyectos de vivienda de interés social (VIS) y de interés prioritario (VIPA), porcentajes de ahorro indicativos y de optativo cumplimiento, lo que se considera una problemática si el país quiere disminuir la demanda energética y aportar desde el sector de la construcción en la adaptación y mitigación del cambio climático. Por lo tanto, no deben ser optativa, al subestimar la demanda energética que en este tipo de vivienda se consume y lo que

representa como parte de la solución para la eficiencia de los recursos.

Las variables climatológicas son el primer instrumento para los diseñadores en el estudio del lugar y su contexto, influyendo en las primeras tomas de decisiones del proyecto arquitectónico. Ya que, corregir una mala orientación impulsa un alto consumo del servicio energético para minimizar los efectos negativos de la incidencia solar directa en el confort térmico y la habitabilidad.

En el caso de la vivienda de interés social, el uso de sistemas activos como los son los sistemas de aire acondicionado o ventilación mecánica para mitigar estas ganancias térmicas, representan un alto costo en la adquisición y en la operación. No obstante, los estratos 1,2 y 3 cuentan con subsidios del servicio de energía; situación que se considera una desventaja si no estimula el consumo consciente.

En el caso de estudio analizado, se evidenció la ausencia de protección solar en vanos. Las medidas analizadas, permiten verificar la eficiencia de los elementos de diseño en el mejoramiento de las condiciones de confort térmico. Así mismo, se evidencia que las mejores soluciones desde los puntos de vista económico y sostenible son las estrategias pasivas, las cuales requieren baja inversión adicional.

La elección de un sistema que regule la entrada de calor y promueva una aislación térmica debe ser acorde al clima, la ubicación geográfica y la orientación del edificio, buscando aprovechar al máximo la entrada de luz natural. Por lo tanto, cada caso debe ser analizado según sus condiciones particulares.

Finalmente, en Colombia, la guía de construcción sostenible, es un instrumento que debe ser complementado y adaptado por cada municipio de acuerdo a sus variables climatológicas y contexto, para que sirva como herramienta facilitadora en la evaluación de su aplicación en los diferentes tipos de proyectos.

REFERENCIAS

Camacol (2022). *Indicadores ventas de vivienda primer semestre 2022*. <https://camacol.co/actualidad/noticias/indicadores-ventas-de-vivienda-primer-semester-2022>

Camacho, M., López, M. & Millicua, S. (2009). *Pautas de diseño bioclimático para optimizar condiciones de confort y uso de energía en el sector residencial financiado por organismos públicos, para Uruguay, caso de clima complejo*. Uruguay: Udelar. Recuperado de: http://www.farq.edu.uy/ic/files/2012/03/documento-final_proyPDT06.pdf

CEHAP, Centros de Estudios del Hábitat Popular (1998). *Vivienda y hábitat, claves en el tejido de las ciudades: diagnóstico, líneas estratégicas y proyectos estratégicos*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Arquitectura, CEHAP. Recuperado de: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/7003/CIM04-Relaciones.PDF?sequence=1&isAllowed=y>

Carrillo-Fajardo, Merly, Rivera-Díaz, Orlando, & Sánchez-Montaño, Roberto. (2007). *Caracterización florística y estructural del bosque seco tropical del cerro tasajero, San José de Cúcuta (Norte de Santander), Colombia*. *Actualidades Biológicas*, 29(86), 55-73. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-35842007000100005

CONPES 3819 (2014). *Política Nacional para Consolidar el Sistema de Ciudades en Colombia*. Departamento de Planeación, República de Colombia. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3819.pdf>

CONPES 3919 (2018). *Política Nacional de Edificaciones Sostenibles*. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3919.pdf>

CONPES 4023 (2021). *Política para la Reactivación, la Repotenciación y el Crecimiento Sostenible e Incluyente: Nuevo Compromiso por el Futuro de Colombia*. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/4023.pdf>

Cortés, S. (2010). *Condiciones de aplicación de las estrategias bioclimáticas*. Cuaderno de investigación urbanística No. 69. (P. 88 – 101)

Ferreiro, H. (1991). *Hombre, el hábitat, el medio de la energía y el método*. Cap 1. Manual de Arquitectura Solar. Lacomba, R. Editorial Trillas: México, D.F.

Giraldo, W. y Herrera A. (2017). *Ventilación pasiva y confort térmico en vivienda de interés social en clima ecuatorial*. *Ingeniería y Desarrollo*. Volumen 35 No. 1. de: <http://www.scielo.org.co/pdf/inde/v35n1/2145-9371-inde-35-01-00077.pdf>

Guzowsky, M. (2010). *Towards Zero Energy Architecture*. Solarsiedlung am Schlierberg. Barcelona: Blume.

Guerra, M. (2012). *Arquitectura bioclimática como parte fundamental para el ahorro de energía en edificaciones*. Ing-novación.

<http://www.redicces.org.sv/jspui/bitstream/10972/1986/1/arquitectura%20bioclimatica.pdf>

IPCC (2015). *Cambio Climático: Mitigación. Guía resumida del Quinto Informe de Evaluación del IPCC, Grupo de Trabajo III*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/recursos/mini-portales-tematicos/guia-sintesis-resumida_tcm30-376937.pdf

IPCC (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>

IDEAM (2010). *Características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos*. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Caracter%C3%ADsticas+de+Ciudades+Principales+y+Municipios+Tur%C3%ADsticos.pdf/c3ca90c8-1072-434a-a235-91baee8c73fc>

IDEAM. *Promedios climatológicos 1981-2010*. <https://web.archive.org/web/20160815030620/http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima>

IDEAM. *Atlas climatológico de Colombia*. <https://web.archive.org/web/20170529213943/http://atlas.ideam.gov.co/cclimatologicas/>

Lamberts, R., Dutra, L., & Pereira, F. O. R. (2004). *Eficiencia Energética na Arquitetura* (2da Edição). São Paulo, Brasil: PRO Livros

Ley 1844 de 2017. Por medio de la cual se aprueba el “Acuerdo de París”, adoptado el 12 de diciembre de 2015, en París, Francia. 14 de Julio de 2017.

Ley 1931 del 2018. Por la cual se establecen directrices para la gestión del cambio climático. 27 de Julio de 2018.

Minvivienda (2015). *Anexo No. 1. Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones*. https://camacol.co/sites/default/files/descargables/ANEXO%201%20Gu%C3%ADa%20de%20Construcci%C3%B3n%20Sostenible%20del%2008062015_0.pdf

Minvivienda (2015). *Anexo No. 2. Mapa de Clasificación del Clima en Colombia según la Temperatura y la Humedad Relativa y listado de municipios*. <http://ismd.com.co/wp-content/uploads/2017/03/Anexo-No-2-Mapa-de-Clasificaci%C3%B3n-del-Clima-en-Colombia.pdf>

Minvivienda (2015). *Decreto 1077*. <https://minvivienda.gov.co/normativa/decreto-unico-reglamentario-sector-vivienda-ciudad-y-territorio-decreto-1077-de-2015>

Moreno, S. (2008). *La habitabilidad urbana como condición de calidad de vida*. Palapa, vol. iii, núm. ii. México: Universidad de Colima, 47-54

ONU HABITAT. (2010) *El derecho a una vivienda adecuada*. https://www.ohchr.org/sites/default/files/Documents/Publications/FS21_rev_1_Housing_sp.pdf

Olgay, V. (1968). *Clima y arquitectura en Colombia*. Universidad del Valle. Cali: Carvajal & Cia.

Organización de Naciones Unidas (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>

Organización de Naciones Unidas (2015). *El acuerdo de París*. <https://www.un.org/es/climatechange/paris-agreement>

Organización de Naciones Unidas (2017). *La Nueva Agenda Urbana*. <https://onuhabitat.org.mx/index.php/la-nueva-agenda-urbana-en-espanol>

Organización de Naciones Unidas (2021). *COP 26: Juntos por el planeta*. <https://www.un.org/es/climatechange/cop26>

Organización Mundial de la Salud (1948). *Constitución de la Organización Mundial de la Salud*. <https://apps.who.int/gb/bd/PDF/bd48/basic-documents-48th-edition-sp.pdf?ua=1#page=7>

Oyoke, P. Ogbuagu, O., Ohaedeghasi C. y Ngwu Ch. (2020). *Bioclimatic practices in modern residential building design and construction in South-Eastern Nigeria*. *Journal of Construction Engineering, Management & Innovation*. 2020 Volume 3 Issue 3 Pages 158-178. https://www.goldenlightpublish.com/dosyalar/baski/JCEMI_2020_202.pdf

Rodríguez P. (2018). *Comportamiento y variación del confort térmico de la vivienda de interés social en clima cálido húmedo, a partir del proceso de transformación y adecuación de la morfología y envolvente de la edificación. Estudio de caso: Proyecto Villa María Etapa I – Guamal, Meta*. <https://repository.ucatolica.edu.co/items/25655f41-b228-4ce5-9749-46eb1b69eeb9>

Serra, F. (2005). *Arquitectura y clima*. (1° ed.). GG Básicos: Barcelona

Van Hoof, J., Mazej, M., y Hensen, J. (2010) *Thermal comfort: Research and practice*. *Frontiers in Bioscience (Landmark edition)*, 15. 765 -788. <https://www.imrpress.com/journal/FBL/15/2/10.2741/3645>