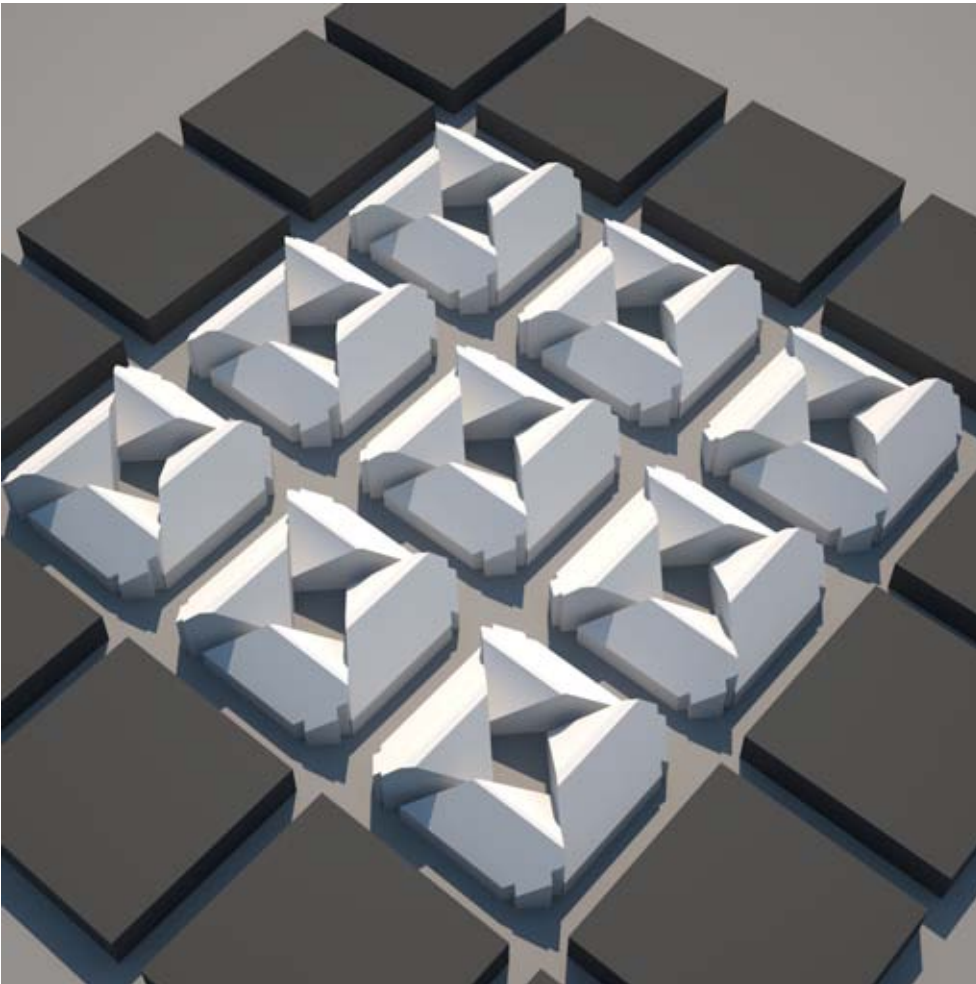


# ACCESO SOLAR:

Estudio comparativo de acceso solar por el método descriptivo entre las ciudades: Jerusalén, Israel (31,8° Norte) y Bogotá, Colombia (4,5° Norte)

Máster: Arquitectura, Energía y Medioambiente 2013-2014  
Universitat Politècnica de Catalunya – ETSAB



## Autor:

Ricardo Franco

## Tutores:

Isabel Crespo y Jaume Roset

Universitat Politècnica de Catalunya - ETSAB, Barcelona, España.

“Casa sin sol, no hay casa peor.”  
anónimo

## **Agradecimientos:**

Al Absoluto, al Eterno Femenino

A mi Madre, que reina y reinará en mi corazón  
A mi Padre, a toda mi familia, por su todo su apoyo y respaldo  
A Laura Vargas por compartir y vivir esta experiencia  
A Amparo Botero por su apoyo, sus palabras y su confianza  
A mis amigos que han estado allí siempre: Alex, Gregorio y Víctor



UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ  
JORGE TADEO LOZANO

Gratitudes totales a la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, por el apoyo y respaldo académico, económico e institucional.

A la Doctora Cecilia María Vélez White, Rectora de Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano

Al Doctor Alberto Saldarriaga, Decano de la Facultad de Artes y Diseño de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

A Carlos Hernández, Director de Innovación Educativa y Apoyo Académico, por sus consejos, su liderazgo y el decidido respaldo.

A Oscar Salamanca, Director del Programa de Arquitectura, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, por compartir su experiencia, su amistad y el gran apoyo brindado

A Pablo Insuasty, por su amistad y lealtad durante todos estos años.

A todos y cada uno de los integrantes y compañeros del Programa de Arquitectura:, Adriana Varela, Alfredo Montaña, Ricardo Rojas, Darío Vanegas, Victoria Mena, Pedro Brigh, Luz Nidia Velandia y David Cárdenas.

Muchas gracias:

A todos mis compañeros del Máster, por el compañerismo, el respeto y la amistad.

A mis tutores: Isabel Crespo y Jaeme Roset por su guía en el desarrollo de esta tesina

A Helena Coch por sus clases, ejemplos y su experiencia pedagógica.

A Benoit Beckers, por sus charlas, su dedicación y la invitación a reclamar el conocimiento científico para la arquitectura.

A todos cada uno de los profesores del Máster de Arquitectura, Energía y Medio ambiente, por brindar y compartir su conocimiento y experiencia.

A la ciudad de Barcelona, por acogernos y brindarnos la experiencia

# Índice

Resumen

Introducción

## **Primera parte**

### **Energía solar, su importancia y antecedentes del concepto de acceso solar**

1. Energía solar, radiación, luz visible
- 1.2 Acceso solar, del por qué su importancia energética para las personas y edificaciones
- 1.3 El concepto de acceso solar
- 1.4 Determinantes del acceso solar para una edificación y un entorno urbano
- 1.5 Descripción del acceso solar
- 1.6 Los dos grandes enfoques de las reglamentaciones
- 1.7 Antecedentes:
  - 1.7.1. Grecia (orientación y aprovechamiento pasivo)
  - 1.7.2. Roma (orientación y aprovechamiento pasivo)
  - 1.7.3. Norteamérica (orientación y aprovechamiento pasivo)
  - 1.7.4. Periodo postindustrial (salud y disfrute del sol)
  - 1.7.5 La ley precursora de mil novecientos:  
THE ANCIENT LIGHTS DECLARATORY ACT, 1906
  - 1.7.6. El periodo geométrico como respuesta a la crisis energética (el concepto de la envolvente solar y la calidad de vida)
  - 1.7.7. La geometría de la envolvente solar
  - 1.7.8. Cuantificación del acceso solar (radiación acumulada, factor de cielo visible)
- 1.8. Conclusiones de la primera parte

## **Segunda parte**

### **Estudio comparativo de acceso solar por el método descriptivo entre las ciudades: Jerusalén, Israel (32° Norte) y Bogotá, Colombia (4,5° Norte)**

Introducción

2. Estudio comparativo de acceso solar por el método descriptivo
  - 2.1 Breve descripción del clima y localización de las ciudades de estudio:
    - 2.1.1 Jerusalén, Israel (31,8° Norte)
    - 2.1.2 Bogotá (4,5° Norte)
  - 2.2. Líneas de sección
  - 2.3. Garantizar el acceso solar y los derechos solares a edificios residenciales
  - 2.4. Garantizar el acceso solar y los derechos solares para aceras
  - 2.5. Descripción del tejido urbano examinado para la ciudad de Jerusalén (31,8° Norte)
  - 2.6. Descripción del tejido urbano examinado para la ciudad de Bogotá (4,5° Norte)
  - 2.7. Estudio de acceso solar y derechos solares con el programa Heliodon para la ciudad de Bogotá (4,5° Norte)
  - 2.8. Conclusiones de la segunda parte
3. Bibliografía

## **Resumen:**

Fue en la década de los años de 1970, del siglo XX, donde surgió el interés por investigar y explotar la energía solar como una fuente alternativa, limpia, segura e ilimitada, frente a la energía nuclear, el carbón, el petróleo y sus derivados químicos, sus consecuencias medioambientales y la especulación de su precio en los mercados internacionales. El concepto de acceso solar nace en los Estados Unidos, como una manera de proteger legalmente la disponibilidad de luz, la captación y uso de la energía solar por parte de los dueños de un edificio, con el objeto de garantizar así el acceso a la energía y la luz solar tanto en el tiempo presente, como en el futuro.

Este trabajo está constituido por dos partes, la primera parte expone la importancia de la energía solar y antecedentes del concepto de acceso solar. La segunda parte presenta el estudio comparativo de acceso solar por el método descriptivo entre las ciudades: Jerusalén, Israel (31,8° Norte) y Bogotá, Colombia (4,5° Norte), este capítulo expone la vinculación entre forma urbana, perfiles viales, obstrucciones y acceso solar para la ciudades en mención.

Palabras claves: acceso solar, morfología urbana, derechos solares, energía y sol.

## **Abstract**

It was during the decade of 1970's when the interest for searching and exploit the solar energy came up as an alternative, clean safe and unlimited source in contrast with the nuclear energy, coal, oil and its chemical byproducts, their environmental impact and the price speculation in international markets. This concept of solar access is born in the USA as an effective way to legally protect the availability of light, the capture and the proper use of the solar energy by the owners of a building in order to guarantee free access to energy and sunlight not only in the present time but also in the future.

This work is made up of two parts; the first one presents the importance of solar energy and precedents of the concept of solar access. The second part presents a comparative study of the solar access by using the descriptive method between Jerusalem, Israel (31.8° North) and Bogota, Colombia (4.5 ° North); this chapter discusses the link between urban form, road profiles, obstructions and solar access in the mentioned cities.

Keywords: solar access, urban morphology, solar rights, energy and sun.

## Introducción:

Actualmente la demanda energética en los centros urbanos no para de crecer, así como sus consecuencias medioambientales (contaminación, altas cifras de emisiones de CO<sub>2</sub>, calentamiento global, agotamiento de los recursos, daños al medio ambiente, entre otros) dada esta problemática las investigaciones de fuentes energéticas renovables no contaminantes (geotérmica, eólica, **solar**, undimotriz, hidroeléctrica y mareomotriz), son cada vez más apremiantes en el planeta. Entre esta lista se destaca la energía solar, cuyo aprovechamiento y disfrute mejora la calidad de vida de las personas que habitan en grandes ciudades, asimismo, esta energía solar representa un recurso energético limpio, seguro, no contaminante y disponible a perpetuidad para todos (5000 millones de años). El acceso, la captación, uso y aprovechamiento de la energía solar cada día adquiere una importancia vital en los centros urbanos, sin embargo la dinámica inmobiliaria ha generado algunas veces la presencia de obstrucciones al sol a pequeñas edificaciones y espacios públicos, todo esto producto de los nuevos perfiles urbanos, que a su vez, son consecuencia de la dinámica inmobiliaria y la gestión del suelo urbano.

Después de la década de 1970 del siglo XX, el concepto de acceso a la luz solar ha derivado en una cuestión de estrictas regulaciones urbanas: estatutos, normas y leyes, tales como las llevadas a cabo en la planificación de las ciudades de Nueva York, Toronto, San Francisco, Tel Aviv entre otras ciudades densas en el mundo, estas regulaciones tienden a garantizar el acceso a la energía solar y a luz del día para las personas y edificaciones a través de la idea inmediata de los "ángulos de obstrucción solar" Littlefair, P. (1998).

Esta vinculación entre forma urbana, obstrucciones y acceso solar no ha sido abordada por las normativas urbanas para el desarrollo de las ciudades en Colombia. Este trabajo pretende, reflexionar sobre el concepto de acceso solar y del por qué es un bien vital, preciado e imprescindible para las personas y edificaciones que necesita ser estudiado y contemplado por las normas urbanas para el bienestar común, en cualquier lugar del planeta.

## PRIMERA PARTE

Energía solar, su importancia y antecedentes del concepto de acceso solar

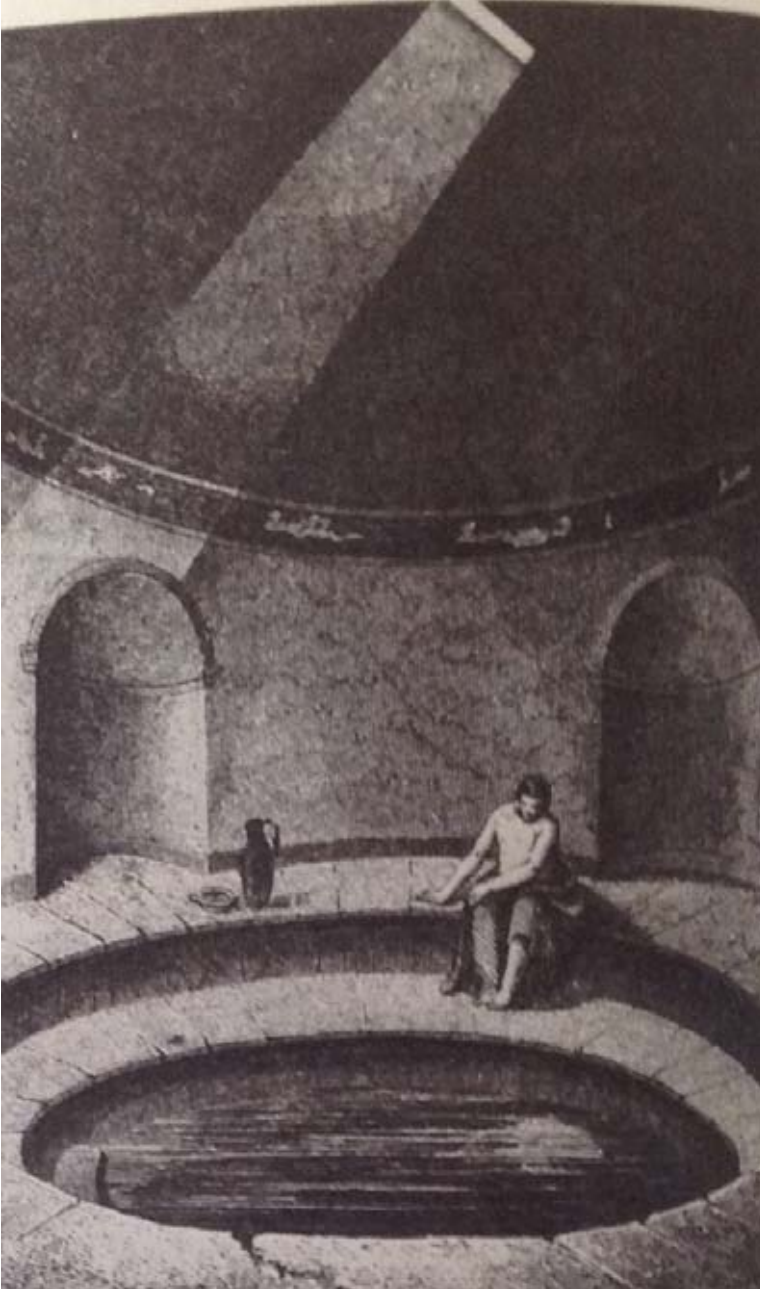


Figura 1. Baño Romano. Fuente Butti, K. (1980, pág 20).

# 1. Energía solar, radiación, luz visible

## Energía solar

La cantidad de energía que emite el Sol hacia la Tierra diariamente es astronómica (se calcula que en total los rayos solares transfieren a la Tierra cada segundo cincuenta mil millones de kWh), se conjetura que el Sol ha estado desprendiendo luz y energía desde hace más de 5.000 millones de años.

Hasta el siglo pasado nadie sabía explicar ¿Cómo lograba el Sol producir tanta energía durante miles de millones de años? Fue hasta 1939, que Bethe y Von Weizsäcker explicaron que el Sol actúa como un gigantesco reactor nuclear, y que la energía solar se crea al interior del astro. Se calcula que cada segundo el Sol transforma cerca de 564 millones de toneladas de hidrógeno en 560 millones de toneladas de helio. El restante, cuatro millones de toneladas se transforma en energía de acuerdo a la relación establecida por Einstein  $E = mc^2$ . Este proceso de producción de energía, millones de veces más eficiente que la combustión del petróleo, ha conservado al Sol irradiando por casi 5000 millones de años y puede conservarlo de esta manera por lo menos una cantidad equivalente de millones de años más.

De acuerdo con Bethe y Von Weizsäcker la temperatura del Sol aumenta con relación a su profundidad, se dice que en la superficie del globo solar la temperatura puede oscilar entre los 5500°C y los 6000°C, pero en el centro la temperatura puede alcanzar unos 15.000.000°C y es allí donde se llevan a cabo inmensas reacciones nucleares.

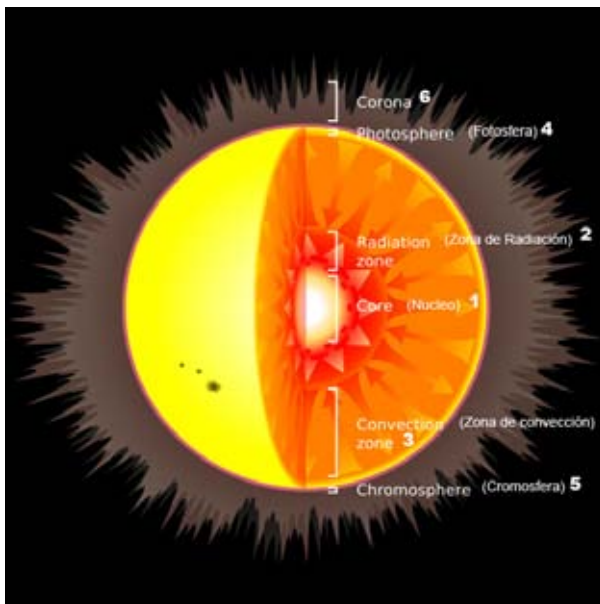


Figura 2. Las diferentes capas de Sol. Fuente: <http://vistasaluniverso.blogspot.com/2011/10/el-solla-luz-de-la-vida-y-sus-manchas.html>

Nuestro Sol, en consonancia con todas las estrellas del Universo, es una enorme esfera gaseosa compuesta principalmente por átomos de hidrógeno que en condiciones de intensa gravedad y altas temperaturas se funden para producir Helio, en este proceso se liberan grandes cantidades de energía, las cuales brotan desde el centro del Sol y se propagan en todas las direcciones por el espacio por miles de millones de años.



## Radiación

La Tierra pertenece al grupo de planetas más cercanos al Astro Rey, junto a Mercurio y Venus. La luz del Sol y toda su radiación tardan aproximadamente 8 minutos en llegar a la superficie de la Tierra. Recordemos que el Sol emite radiación en casi todo el espectro electromagnético, (la radiación solar es simplemente la energía que recibimos del Sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (infrarrojas, luz visible, y ultravioletas). La superficie exterior del planeta: la magnetósfera y la atmósfera filtran gran parte de la radiación solar más letal para los seres vivos (rayos gamma, rayos X y rayos ultravioletas), pero dejan pasar las longitudes de onda correspondiente a la luz visible (400nm -700nm) e infrarrojo. Por esta razón, los humanos percibimos la energía de Sol mayoritariamente como: luz y calor.

Esta radiación ha sido (durante millones de años) y seguirá siendo una fuente directa de energía para la vida en la Tierra. Asimismo origina los más variados efectos sobre la superficie y la temperatura del planeta: suscita las grandes corrientes atmosféricas y oceánicas, evapora millones de litros de agua, que luego caen en forma de lluvia, granizo y nieve, genera los grandes cambios climáticos alrededor del globo, pero también promueve la fotosíntesis en las plantas, que proporcionan alimento, fibras y combustible.

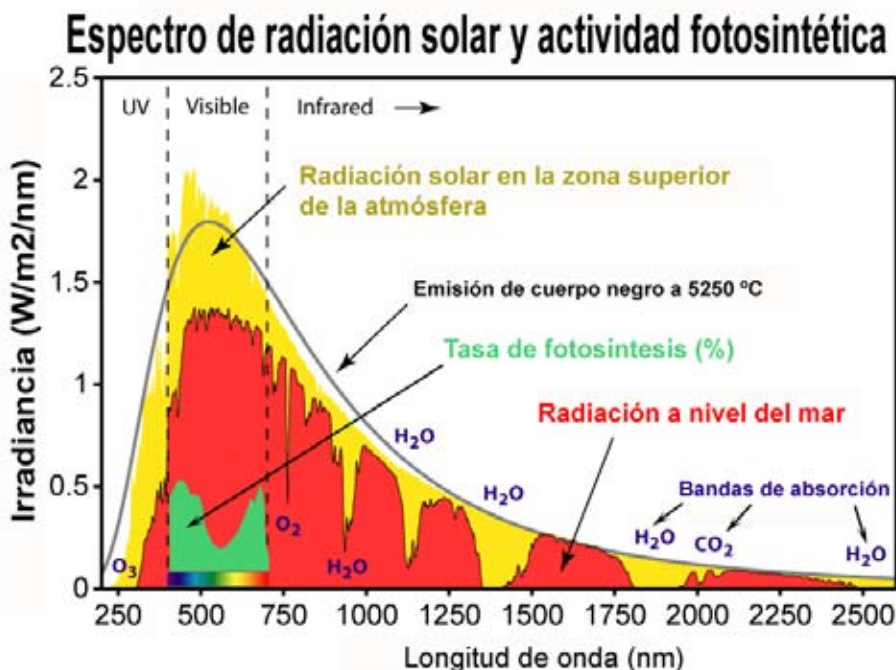


Figura 3. Espectro de radiación solar. Fuente: <http://naturalmenteciencias.wordpress.com/2011/11/14/por-que-la-clorofila-no-absorbe-el-color-verde/>

*“La potencia de flujo de energía solar recibida en un plano perpendicular a los rayos del Sol antes de su entrada a la atmósfera terrestre es del  $1.373\text{ kW}/m^2$ , de esta energía recibida en la superficie superior de la atmósfera una gran parte se pierde antes de llegar a la superficie terrestre, alrededor del 50%, de este porcentaje un 25% es reflejada, otro 25% es absorbida en la atmósfera e irradiada al infrarrojo, el 50% restante atraviesa la atmósfera y llega directamente a la superficie de la Tierra sin haber sufrido ningún cambio de dirección, esta es la radiación directa”.* Zambrano, P. (2013).

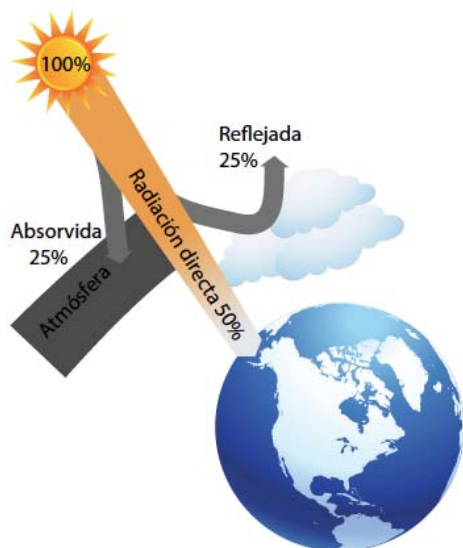


Figura 4. Desglose de las pérdidas de energía solar antes impactar la superficie terrestre. Fuente: Zambrano, P. (2013, pág 25).

### Tipos de radiaciones:

- Radiación directa: Es aquella que nos llega directamente del Sol sin haber sufrido un cambio de dirección en su recorrido. Este tipo de radiación proyecta una sombra definida de cualquier objeto que la intercepte.
- Radiación difusa. El sol irradia la atmósfera y todo su contenido, parte de esta radiación es reflejada por el cielo y las nubes. Esta radiación, se llama difusa, se caracteriza porque va en todas las direcciones, como resultado de las múltiples reflexiones y absorciones, no sólo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, las montañas, los árboles, los edificios, y el propio terreno. Este tipo de radiación no proyecta sombra alguna respecto a objetos opacos que la llegasen a interceptar.
- Radiación global: Es la cantidad total de energía solar que recibe un plano, está formada por la suma de la radiación difusa y directa

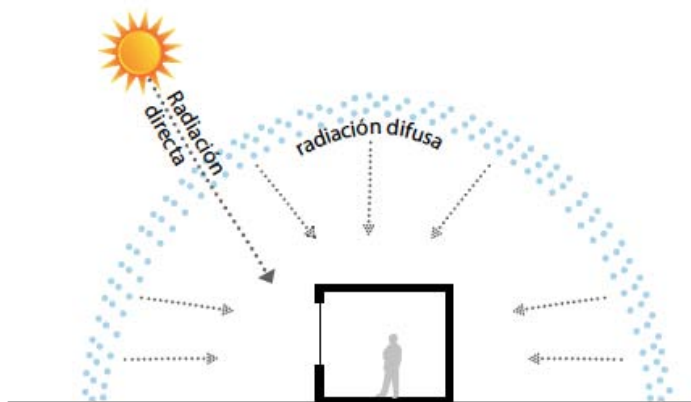


Figura 5. Radiación Global, que se descompone en radiación difusa y directa. Fuente: Zambrano, P. (2013, pág 25).

## La luz visible

La luz visible es una pequeña parte de las radiaciones electromagnéticas que es percibida por el ojo humano. El ojo humano es sensible a la radiación electromagnética con longitudes de onda comprendidas entre los 380 y 780 nanómetros, esta pequeña fracción del espectro es lo que se ha denominado luz visible. En la Física, el término luz se utiliza en un sentido más amplio ya que incorpora el estudio de todo el campo de la radiación, conocido como el espectro electromagnético.

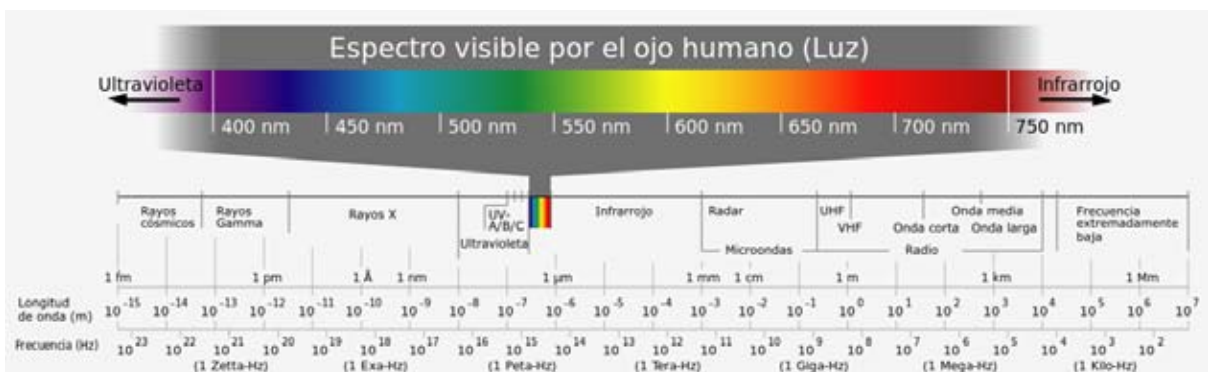


Figura 6. Espectro visible por el ojo humano. Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro\\_visible](http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_visible)

En el espectro electromagnético encontramos en orden ascendente: Rayos C3smicos, Rayos Gamma, Rayos X, Radiaci3n Ultravioleta, Luz Visible, Rayos Infrarrojos, Microondas, Ondas de Radar, Ondas de Radio y otras radiaciones. Las longitudes de onda m3s cortas del espectro visible corresponden a la luz violeta y las m3s largas a la luz roja, entre estos dos extremos encontramos la luz visible que se descompone en todos los colores del arco iris.

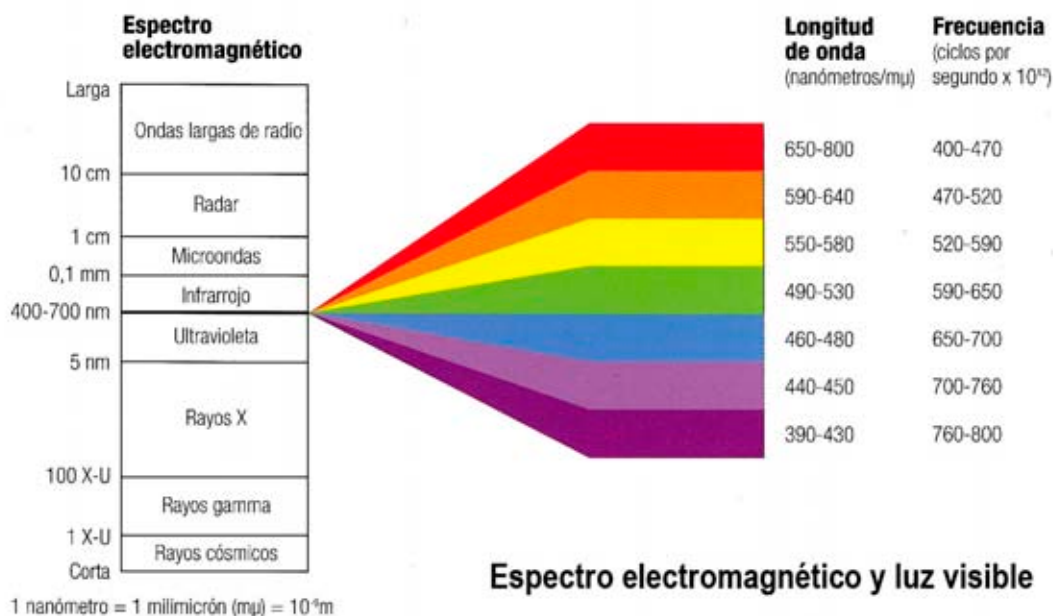


Figura 7. Espectro electromagn3tico y luz visible por el ojo humano. Fuente: <http://www.legiophotos.com/2011/12/mejorando-nuestras-fotos-vii-la-luz.html>

## 1.2 Acceso solar, del por qué su importancia:

La energía solar es esencial para la subsistencia de la vida en el planeta Tierra. La energía que desprende el sol es la fuente de luz para nuestra visión, es la fuente constante y gratuita de radiación y calor que mantiene la vida en nuestro planeta. La luz que atraviesa la atmosfera y llega a la corteza terrestre provee un ritmo a nuestras vidas, sus movimientos informan a nuestra percepción el transcurrir del tiempo en el espacio, la alternancia día-noche, el cambio de estaciones, las épocas de siembra y cosecha, entre otros cambios.

De acuerdo a Partonen, T. & Pandi-Perumal, S.R. (2010) muchas de las funciones endocrinas del cuerpo humano están guiadas por el ritmo circadiano, es decir el ciclo: día (luz), noche (oscuridad). La alteración a este ritmo perturba el funcionamiento normal del organismo, existen dos efectos muy conocidos de la afectación al ritmo circadiano: el jet lag y la alteración del sueño. Este ritmo es el encargado de regular en el cuerpo humano el ciclo sueño-vigilia, las secreciones hormonales, la temperatura del cuerpo, la actividad cardiovascular y el metabolismo en general. En la actualidad existe un aumento de enfermedades que están relacionadas con alteraciones al ritmo circadiano: obesidad, migrañas, depresión, cáncer, dificultades locomotoras, ceguera, fallas en la memoria, ataxia cerebral, entre otras.

El acceso garantizado a la energía solar es por lo tanto primordial para el sostenimiento y la salud de nuestras vidas. Sin este acceso, nos enfrentaríamos a la incertidumbre y desorientación; nuestro metabolismo se perturbaría, nos enfrentaríamos a un desequilibrio hormonal y psíquico.

En la naturaleza abundan ejemplos de plantas y animales que acuerdan su supervivencia en gran medida a la exposición al sol. El concepto de acceso solar es una abstracción generalizada Knowles, R. (1999), si observamos detenidamente nuestro mundo construido nos daríamos cuenta que nuestras ciudades no siguen el ejemplo de la naturaleza en este sentido (el de la búsqueda de sol para sobrevivir). Algunas de nuestras edificaciones contemporáneas son indiferentes al medio, a la orientación y exposición al sol, las torres de cristal en cada ciudad del mundo son un ejemplo evidente de esta despreocupación, están erigidas allí sin responder a los ritmos de su entorno.

Nuestras ciudades modernas, puntos focales del desarrollo e interacción social, cultural, política y económica son las responsables de altos consumos energéticos de acuerdo con Edwards, B. (2008) el 75% de la demanda total de energía es consumida en centros urbanos. Según el Banco Mundial, hoy día las ciudades son el hogar del casi el 50% de la población mundial (en la Unión Europea está cifra supera el 80%). Junto con esta concentración y la emigración de la zonas rurales llegó el creciente consumo energético y en consecuencia las altas cifras de emisiones de CO<sub>2</sub>, actualmente las ciudades son responsables del 75-80% del total de emisiones de CO<sub>2</sub> que produce el hombre y constituyen la principal causa del calentamiento global. Edwards, B. (2008). El desarrollo urbano está directamente relacionado con la sostenibilidad energética de las ciudades, por esta razón es imprescindible la necesidad de legislar y reglamentar el acceso y aprovechamiento de la radiación solar de manera estable y sin incertidumbres.

*“El empleo de la energía solar como fuente primaria para la vida humana en las ciudades, requiere de una condición espacial: el acceso solar, pues sin ella no es viable alcanzar una dimensión de la sostenibilidad urbana”.* Cárdenas, L., & Uribe, P. (2012, pág 25).

La energía solar, más que otra energía renovable, tiene una relación directa con la forma, la habitabilidad, el confort, la ordenación volumétrica de nuestros edificios, sus separaciones, alturas y retrocesos. Por lo tanto, si un edificio cuenta con acceso solar esta energía se puede aprovechar e integrar en la edificación a través de sistemas activos o pasivos con el objetivo de reducir sus emisiones de CO2 y su demanda energética .

El acceso solar ha estado como tema de discusión desde 1970 en Norteamérica, fue con la crisis energética de esta década, que nos fijamos en el Sol como fuente de energía primaria para solventar la crisis, esta mirada pretendía desarrollar una alternativa a los suministros inciertos de combustibles fósiles y sus consecuencias como la contaminación y el calentamiento global. Recientemente con el deterioro del medio ambiente urbano, el acceso solar cobró importancia ya que un acceso garantizado al Sol mejora la calidad de vida de las personas que habitan grandes centros urbanos, y a su vez, contribuye a la reducción de las emisiones de CO2 provenientes del funcionamiento de las edificaciones.

Ya sea, para la generación de energía limpia o para mejorar la calidad de vida de las personas, *“el acceso solar sigue siendo un ámbito de la política pública en la que el objetivo primordial es regular cómo y cuando los vecinos pueden dar sombra unos a otros”* Knowles, R. (1999).

### **1.3 El concepto de acceso solar:**

McCann, C. (2008) define el acceso solar como: la continua disponibilidad de luz solar directa que posee una edificación y sin obstrucción de otra de propiedad (edificios, vegetación u otro impedimento). Este acceso solar se calcula con el diagrama de trayectoria solar para cada edificación.

Inicialmente este concepto estaba circunscrito a la academia y la investigación en Norteamérica, pero posteriormente al finalizar la década (en 1978) se convirtió en un mecanismo legal que protege a los propietarios de una edificación al acceso solar y su aprovechamiento. Actualmente, en los Estados Unidos 34 de los 50 estados que conforman la Unión poseen reglamentaciones sobre servidumbres y derechos solares, los otros 16 estados tienen políticas energéticas favorables a la captación y aprovechamiento de la energía solar, como por ejemplo, Illinois, Texas, Vermont, Pennsylvania y Connecticut.

### **1.4 Determinantes del acceso solar para una edificación y un entorno urbano**

Según De Decker, K. (2012) el acceso solar a un edificio en particular está determinado por cuatro factores: la latitud, la pendiente del terreno donde está asentado, su forma y la orientación.

El acceso solar para una ciudad (o cualquier otro entorno urbano) se encuentra determinado por siete factores: los cuatro anteriores, además de la altura de las edificaciones, la proporción de las calles, y la orientación de las mismas.

## 1.5 Descripción del acceso solar:

Según Muller, H. (2009) con el objeto de aprovechar la energía del sol, el dueño de una propiedad debe tener acceso a la luz solar, y el derecho a instalar un sistema captador de energía solar que convierta la luz solar en energía utilizable. En consecuencia, la consideración del acceso solar en los Estados Unidos está dividida en dos categorías: las servidumbres solares (**Solar Easement Law**), que se ocupa del acceso a la luz solar, y los derechos de solares (**Solar Rights Act of 1978**), que se refieren al derecho a instalar un sistema captador de energía solar.

La servidumbre solar es una ordenanza que proporciona a los propietarios de un edificio la oportunidad de proteger el acceso solar tanto en el momento presente como en el futuro a través de una servidumbre negociada previamente con los vecinos y demás propietarios. Tal servidumbre vincula al espacio de aire que existe por encima de una edificación o un terreno con un derecho de propiedad, mediante el cual el propietario o propietarios pueden disfrutar de la luz solar. Con este derecho de propiedad se controlan la obstrucciones que provengan de edificaciones vecinas, todo esto a través de una escritura que especifica alturas máximas, ángulos de incidencia y los diferentes acuerdos a los que lleguen la partes, así como indemnizaciones en caso de incumplimientos.

La ley de derechos solares es el complemento práctico a la ley de servidumbres solares ya que reconoce el derecho a los propietarios de una edificación a instalar sistemas captadores de energía solar, así como hacer uso y aprovechamiento de esta energía. Los sistemas captadores pueden estar integrados a la arquitectura o no.

## 1.6 Los dos grandes enfoques de las reglamentaciones:

En el mundo muchas ciudades ya han comenzado a reglamentar los lineamientos para proteger los derechos de solares tanto para las personas, las edificaciones, como para el espacio público. Es así, como en Nueva York, Toronto, San Francisco y Tel Aviv la reglamentación posee un claro sesgo público, la cual en primera medida defiende el acceso solar para los espacios públicos, parques, pasajes y calles.

En otras ciudades, se han definido normas para garantizar el pleno uso y aprovechamiento de la energía solar en las propiedades privadas (de manera activa o pasiva). La aplicación de las normativas varía de enfoque de una ciudad a otra. Según Capeluto, G. et al. (2006) existen dos grandes enfoques:

- El método de actuación, define unos requisitos básicos que deben ser cumplidos, como por ejemplo: el número de horas mínimas de asoleación necesarias para el 21 de diciembre para latitudes superiores a 30° localizadas el hemisferio norte.
- El otro método es descriptivo, en este, la geometría y la proyección de sombras buscan establecer las alturas máximas de los edificios para que estos no obstruyan el acceso solar a otras edificaciones existentes o no.

## 1.7 Antecedentes

### 1.7.1. Grecia (orientación y aprovechamiento pasivo)

La idea de acceso solar es mucho más antigua que las investigaciones y leyes del siglo pasado, en la antigua Grecia, Sócrates explicaba que: *“En las casas orientas al sur, el sol penetra el pórtico en invierno, mientras que en verano el arco del sol descrito se eleva justo sobre nuestras cabezas y por encima del techo, de manera que allí está la sombra”*. Butti, K. (1980, pág 5).

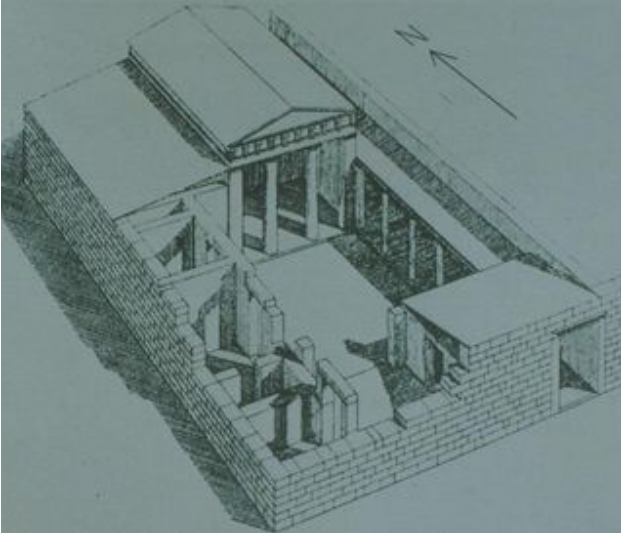


Figura 8. Casa griega clásica, orientada a Sur. Fuente: Butti, K. (1980, pág 5).

Este principio de diseño sirvió de base a la arquitectura Griega para sacar la mayor ventaja del recurso solar de forma pasiva, a través de una correcta orientación y una correcta disposición de las habitaciones detrás del pórtico, el cual deja pasar la energía solar en invierno gracias al patio orientado a sur, pero en verano, este pórtico da sombra y refresca la casa.

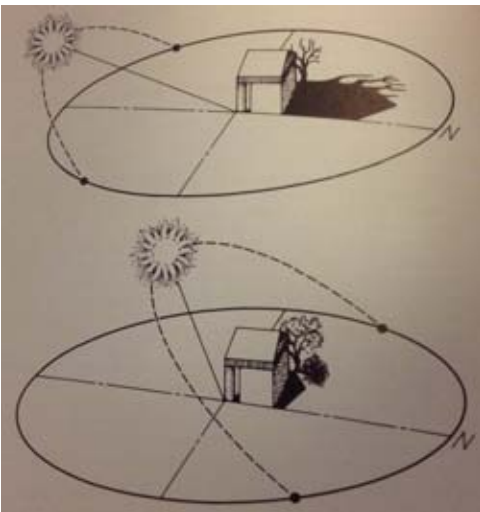


Figura 8. Arcos descritos por el sol para el 21 de diciembre solsticio de invierno (arriba) y 21 de junio solsticio de verano (abajo), 37° Norte. Fuente: Butti, K. (1980, pág 4).



La ciudad de Olynthus, es un ejemplo de cómo se puso en práctica este principio socrático en una comunidad densamente poblada, aproximadamente unas 2500 personas vivieron allí con recursos limitados, la leña empleada para calentar los hogares escaseaba y los Griegos en ese entonces, no contaban con el vidrio para cubrir sus ventanas, esto conllevó a sacar la mayor ventaja del recurso solar. El resultado del trazado de la ciudad, son calles perpendiculares unas a otras, dispuestas de norte a sur y oriente a occidente, con el objeto que todas las casas puedan ser construidas con exposición al Sur, recibiendo así, la mayor cantidad de luz y calor del Sol en los periodos de invierno, cumpliendo así un ideal democrático y de igualdad.

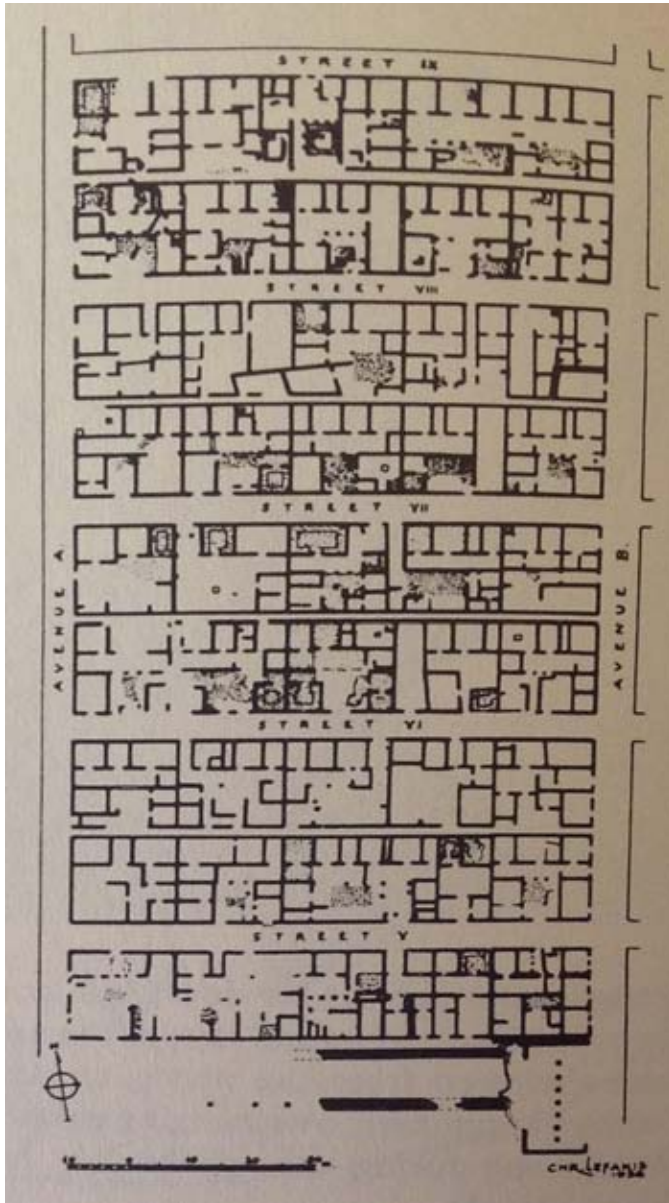


Figura 9. Trazado de las calles de Olinto, con todas sus edificaciones orientas a Sur. Fuente: Butti, K. (1980, pág 6).



### 1.7.2. Roma (orientación y aprovechamiento pasivo)

Desde el mandato de Augusto en el siglo I d.C. hasta la caída del Imperio Romano, el uso de la energía solar para calentar casas, termas e invernaderos fue bastante extendido en todo el Imperio, pero a diferencia de Grecia el recurso solar lo aprovecharon solo los más pudientes, Roma no planificaba para los ciudadanos más pobres. *En agudo contraste con el espíritu griego de democracia e igualdad social, la ideología dominante en Roma favorecía a lo más privilegiados de clase (y, así, únicamente los ricos podían construir sus casas con la orientación adecuada).* Butti, K. (1980).

Sin embargo, Roma aportó significativos avances en el manejo del recurso solar, constructivamente el empleo del vidrio para cubrir los vanos de las ventanas, representó la retención del calor en habitaciones, baños o invernaderos. Según Cortés, F (2001) el uso de pequeñas láminas de vidrio como cerramiento de ventanas era una práctica muy común en el mundo romano. En cuestiones legislativas, por primera vez en la historia, se establecieron leyes protegiendo los derechos de accesibilidad solar.

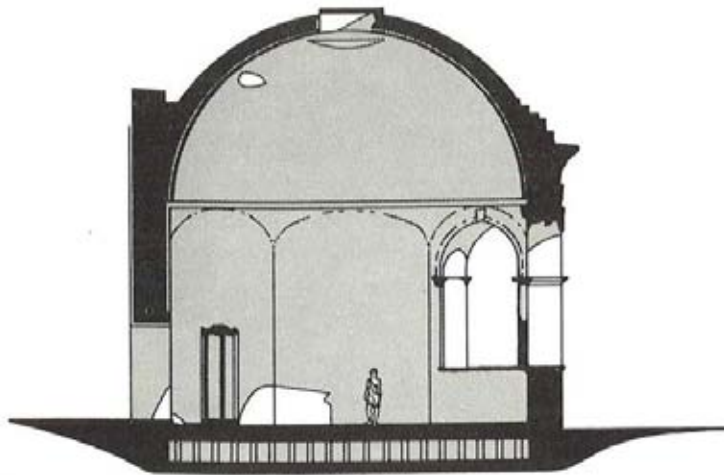


Figura 10. Sección transversal de un Heliocaminus romano en los baños de Ostia. Los ventanales de vidrio permitían en invierno el ingreso de gran cantidad de sol. Fuente: Butti, K. (1980, pág 18)

El Heliocaminus (horno solar) era una habitación orientada al sur o suroeste, la cual se calentaba mucho más que el resto de la casa, ya que recibía luz directa a través de sus ventanas recubiertas de vidrio. En el día el calor se acumulaba en su interior, en la noche este calor calentaba al resto de la casa. Pero, a medida que la población crecía, las nuevas edificaciones y otros objetos bloqueaban el acceso solar a algunos de estos hornos solares (Heliocaminus), y por supuesto sus dueños demandaban. Ulpian (jurista del siglo II d.C.) falló a favor de los dueños, declarando que el acceso solar para el Heliocaminus no puede ser violado. Esta sentencia fue incorporada al Código Justiniano dos siglos después:

*Si un objeto está colocado en manera de ocultar el sol a un heliocaminus, debe afirmarse que tal objeto crea sombra en un lugar donde la luz solar constituye una absoluta necesidad. Esto es así en violación del derecho del Heliocaminus al sol.* Butti, K. (1980, pág 27).

### 1.7.3. Norteamérica (orientación y aprovechamiento pasivo)

En Norteamérica, al oeste de Albuquerque, en Nuevo México, se localiza, Acoma (35° Norte) un asentamiento indígena que parece haber sido habitado desde el siglo XI hasta nuestros días. Las filas de sus casas están escalonadas con una clara orientación hacia el sur, esto con el objetivo de no proyectar sombra entre ellas. Las paredes son de mampostería de un gran espesor. Los tejados y terrazas son de madera y cañas, cubiertas de una mezcla de arcilla y pasto Knowles, R. (1974).

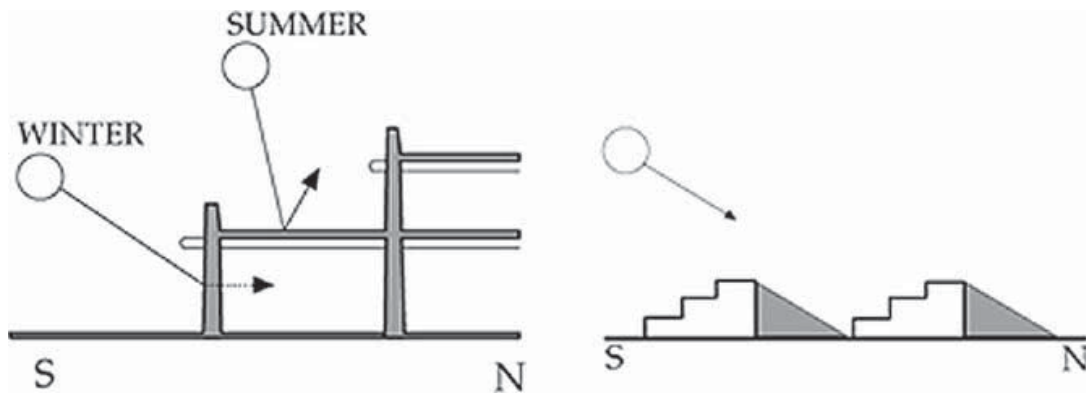


Figura 11. Los gruesos muros de mampostería y las terrazas de madera y cañas responden eficientemente a los cambios estacionales de los periodos más críticos (invierno, verano). El escalonamiento de las filas de casas es una estrategia de orientación y disposición lo suficientemente hábil para evitar las sombras de unas casas sobre otras y de unas filas sobre las otras filas. Fuente: Knowles, R. (1999)

Las casas de Acoma claramente se adaptan al clima desértico de esta región, en invierno los rayos solares bajos bañan directamente los gruesos muros de mampostería donde la energía se almacena durante el día, para luego ser liberada cuando el sol ya se ha retirado, calentado los espacios interiores de la casa por toda la noche que es particularmente fría. En verano, el sol se levanta en lo alto del cielo y golpea más directamente los tejados y terrazas donde la energía solar ya no se almacena, la madera y las cañas transfieren la energía solar con menos eficacia.



Figura 12. Una vista de las filas de casas escalonadas hasta tres niveles y separadas para evitar la sombra en invierno sobre las demás filas de casas y sus muros de almacenamiento de calor. Fuente: Knowles, R. (1974).

#### **1.7.4. Periodo postindustrial (salud y disfrute del sol)**

La revolución industrial del siglo XVIII trajo energía y mano de obra barata a las grandes ciudades europeas, pero también trajo enfermedades y millones de personas hacinadas que fueron a parar a edificios malsanos, sin acceso al sol localizados en calles estrechas y sucias. Muchos barrios ingleses fueron asolados por epidemias como la tuberculosis, la viruela, el cólera y la fiebre tifoidea. La preocupación europea por el acceso al sol en centros urbanos es originada por los problemas de salud, de hacinamiento, mala higiene y enfermedades al interior de las viviendas de los trabajadores durante la Revolución Industrial.



Figura 13. Tugurios típicos de Londres, estas viviendas estaban construidas espalda contra espalda, e hilera sobre hilera algunas de ellas carecían por completo de acceso solar en invierno. Fuente: Butti, K. (1980, pág 161).

A esta problemática de salud pública de los grandes centros industriales se le sumó el hecho, que sobre la vivienda recaían todavía los efectos de las leyes de impuestos medievales que desestimulan el uso del cristal en la ventana. Los médicos atribuían las pestes y enfermedades a la falta de aire fresco y de asoleamiento directo, esto derivó en el refrán comúnmente mencionado en la época: “A donde el sol no entra, el médico lo hace”. Butti, K. (1980). Este aforismo más tarde fue comprobado por Sir Arthur Davies cuando demostró que los rayos ultravioletas destruyen las bacterias.

En consecuencia, los médicos europeos y norteamericanos comenzaron a promover al acceso a la luz del sol y de aire fresco para ayudar a prevenir y curar algunas dolencias y enfermedades. Un ejemplo del empleo de la luz del sol para mejorar la salud de las personas, se dio con la erradicación del raquitismo (caracterizado por deformidades esqueléticas debido a la deficiencia de vitamina D, la cual se fabrica en el cuerpo humano gracias a la exposición a la luz solar), esta enfermedad fue una epidemia que azotó a los niños de las ciudades industriales del siglo XIX y que prácticamente desapareció en Europa en el siglo XX.

Esta visión higienista trajo consigo un compromiso fulminante y enfático en Europa: el acceso garantizado a la luz del sol en el interior de las viviendas de los trabajadores. Las primeras propuestas establecieron reglas geométricas relativamente sencillas en relación con el espacio entre edificios y la altura de los mismos. Concretamente, Augustin Rey (funcionario francés de la vivienda) comprobó que en latitud de París (48° Norte) los edificios construidos uno detrás del otro con orientación sur debían guardar una separación no inferior a  $2\frac{1}{2}$  su altura para no generar sombra sobre la siguiente fila en el periodo de invierno, mientras que para edificios análogos con orientación este u oeste esta separación podía reducirse al  $1\frac{1}{2}$  veces la altura sin problemas de sombra arrojada. En conclusión, la separación entre edificios con orientación sur requiere casi el doble de separación que los orientados a este u oeste. Butti, K. (1980).

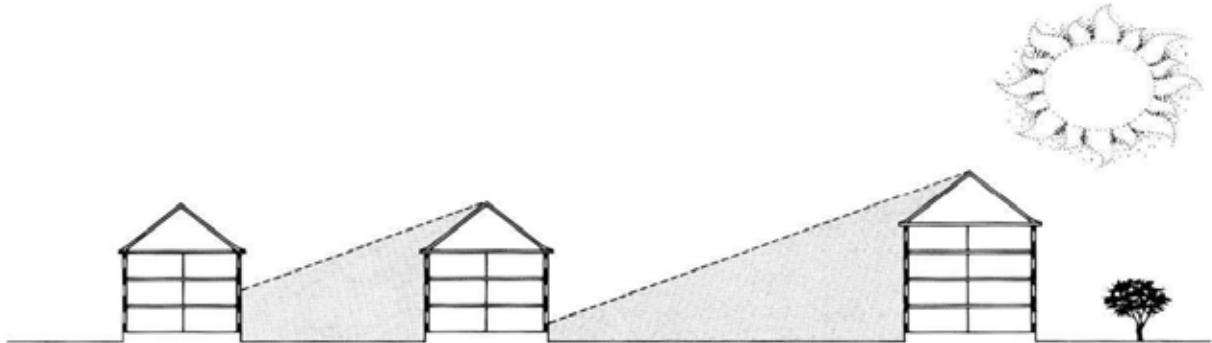


Figura 14. Según las investigaciones realizadas por Augustin Rey, para la latitud de París (48° Norte) las filas alargadas de viviendas debían separarse  $2\frac{1}{2}$  veces su altura para evitar la sombra sobre las otras filas de viviendas. Fuente: Butti, K. (1980, pág 163)

Hacia 1860 se erigieron en Inglaterra comunidades obreras emplazadas en los suburbios y el campo, los diversos proyectos empezaron aplicar los principios de separación entre bloques y la regulación de las alturas a los edificios. Los nuevos planteamientos ofrecían abundante asoleamiento, espacios verdes, así como mejores condiciones higiénicas en contraste con lo que ofrecía la ciudad industrial, a estos nuevas propuestas se les denominó: las ciudades jardín.

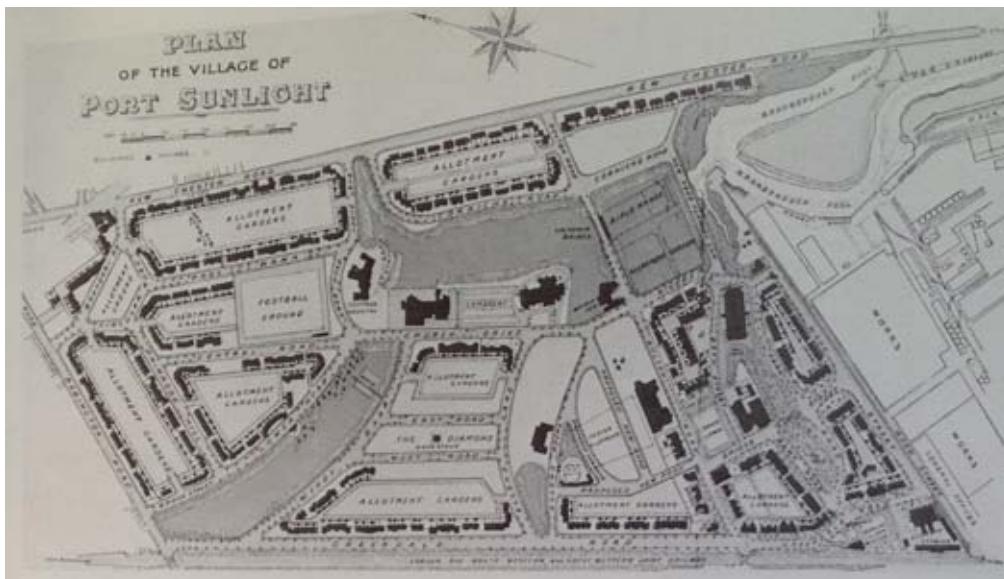


Figura 15. Plano de la comunidad obrera de Port Sunlight, la separación entre edificaciones garantizaba el acceso solar a cada vivienda. Fuente: Butti, K. (1980, pág 162).

Quizás Port Sunlight, figura como la primera ciudad jardín en Inglaterra, en un principio fue un proyecto construido para los trabajadores de la fábrica de jabón Sunlight (la más famosa en Inglaterra), pero podía albergar a otros y diversos inquilinos. Su propietario Lord Leverhulme expuso: «Desde que mis obreros habitan viviendas dignas de hombres, y desde que aumenté cada vez más los salarios y acorté la jornada, dando así ocasión a mis trabajadores de solazarse en sus jardines, mi producción aumenta de día a día».

Según el planteamiento urbano los bloques de vivienda estaban separados por calles de anchura variable entre los 12 y 36 metros, de modo que el aire y la luz del sol podían ingresar a las viviendas por todos lados, sin embargo la cuestión de la orientación solar no era un principio vital para su emplazamiento. Solo cuando las comunidades obreras planificadas adquirieron mayor difusión y reconocimiento en Inglaterra y otros países en Europa, los planificadores, arquitectos y urbanistas fijaron su atención en estudiar científicamente la cuestión de la orientación solar Butti, K. (1980). Fue así como Raymond Unwin (urbanista inglés) estudió los movimientos anuales del sol para Inglaterra y llegó a la misma conclusión que los griegos establecieron hace más de dos mil años antes: considerando el movimiento del sol en la latitud Norte no hay pie de duda que la orientación sur, puede considerarse la más deseable para las habitaciones.

#### **1.7.5. La ley protectora de acceso solar de mil novecientos: THE ANCIENT LIGHTS DECLARATORY ACT, 1906**

La problemática de salud pública de las ciudades inglesas del siglo XVIII se reprodujo por casi toda Europa. La industrialización creó condiciones de vida malsanas e intolerables para la nueva clase trabajadora, esto derivó en demandas sociales por una intervención gubernamental para mejorar las condiciones de vida de miles de trabajadores. Con el fin de mejorar la calidad de la salud pública y garantizar el acceso al sol a todos sus habitantes a través de una correcta planificación urbana, muchas ciudades en Europa y en los Estados Unidos establecieron una serie de códigos de construcción entre los años de 1850 y 1930. La mayoría de estos códigos establecieron límites a la altura de las edificaciones en proporción con la anchura de las calles.

Sin embargo, adicional a estos códigos, se establece en Inglaterra en 1906, una nueva legislación con el objeto de proteger la disponibilidad continua y sin interrupciones a este acceso a la luz del sol desde las ventanas, denominada: Doctrina Inglesa de Antiguas Luces (THE ANCIENT LIGHTS DECLARATORY ACT, 1906). Esta ley le otorga al propietario de una edificación (de más de veinte años de propiedad) a mantener la continua disponibilidad de luz solar sobre sus ventanas que ha recibido constantemente durante los últimos años, de esta manera, el dueño tiene el recurso para impedir cualquier construcción u otro tipo de obstrucción (vallas, vegetación u otro impedimento) a la luz solar.



### 1.7.6. El periodo geométrico como respuesta a la crisis energética (el concepto de la envolvente solar y la calidad de vida)

Los edificios modernos se han hecho dependientes cada vez más del suministro masivo de combustibles fósiles para la calefactar, enfriar e iluminar los espacios interiores. Sin este suministro de combustibles, la mayoría de las edificaciones se tornarían completamente inhabitables la mayor parte del año, o bien, porque son demasiado frías o calientes, o demasiado oscuras o insalubres. La crisis energética de la década de 1970 derivó en una búsqueda alternativa a esta dependencia de suministros fósiles, fue así como nos fijamos en el sol como fuente de energía para calentar nuestros edificios de forma activa o pasiva, o para la generación de energía limpia aprovechando las superficies disponibles de las cubiertas y fachadas o simplemente para mejorar la calidad de vida de las personas dentro y fuera de las edificaciones.

Según De Decker, K. (2012) en esta década (1970) la mayor parte de la investigación en el diseño solar pasivo estaba dirigida a los edificios individuales, sin embargo, Ralph Knowles, profesor emérito de la Escuela de Arquitectura de la USC comenzó una carrera de cuarenta años de investigación acerca de las ciudades orientadas por el Sol.

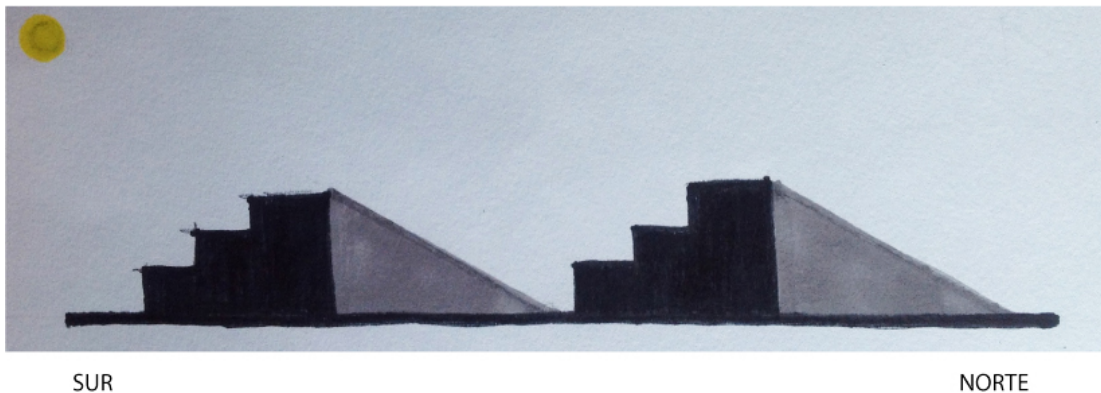


Figura 16. Relación geométrica en Acoma, la cual dio origen al concepto de: envolvente solar. Fuente: Elaboración propia

Knowles es el autor del concepto de *la envolvente solar*, Knowles se apoyó en las conclusiones a las que había llegado luego de estudiar Acoma,. Recordemos que en este asentamiento las filas de viviendas están separadas para evitar dar sombra en invierno sobre las demás terrazas y muros de almacenamiento de calor. Fue en esta relación geométrica entre la posición del sol más crítica del año, la altura de un primer edificio, la zona de sombra generada y la siguiente edificación, la cual continúa irrestrictamente con acceso solar la que, en 1976, dio lugar al concepto de *la envolvente solar*.

Según explica Knowles, R. (1999) la envolvente solar tiene como objeto establecer las alturas máximas de los edificios para que estos no obstruyan el acceso solar de las edificaciones existentes. La envolvente solar es una forma de asegurar el acceso solar urbano, tanto para la energía como, la calidad de vida de las personas. La envolvente solar puede ayudar a regular el desarrollo urbano dentro de los límites que establece la trayectoria solar.

No obstante, la envolvente solar propuesta por Knowles no tiene en cuenta las consideraciones energéticas. La envolvente solar se define básicamente en términos de números de horas de sol o de sombra, hace muy poca referencia a los niveles de radiación o de iluminación reales Morello, E. & Ratti, C. (2008).

Curiosamente, Knowles inició su investigación sobre la ponderación energética de la envolvente solar, pero más tarde abandonó esta línea por problemas computacionales, redirigió la investigación de la envolvente solar con el objetivo de mejorar la calidad de vida de las personas en los grandes centros urbanos, fue así como desarrolló y perfeccionó una metodología que logra un equilibrio entre la densidad de población y el acceso solar De Decker, K. (2012). Knowles y sus estudiantes han realizado propuestas urbanas con densidades que están muy por encima de la media en las ciudades de Europa y América, todo esto sin restringir el acceso solar a ninguna edificación.

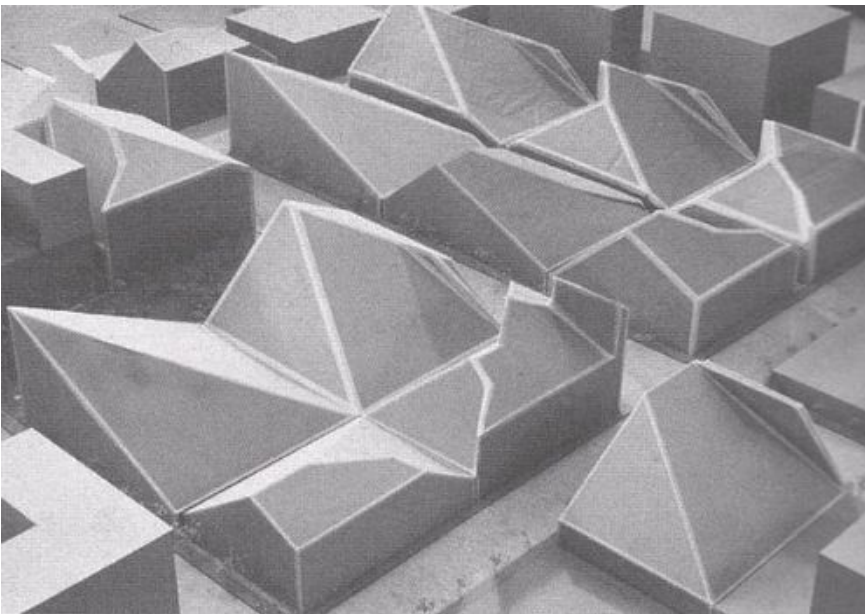


Figura 17. El concepto de envolvente solar produce una geometría urbana diferente, este concepto ofrece nuevas posibilidades estéticas a la arquitectura y el diseño urbano. Ejercicio sobre la malla de los Ángeles, California 34° Norte. Fuente: Knowles, R. (1999)

Knowles, R. (1999) explica que si la envolvente solar se aplicara como un instrumento de zonificación, la envolvente solar no sólo proporcionará criterios para el crecimiento sostenible de la ciudad, sino que abrirá nuevas posibilidades estéticas para la arquitectura y el diseño urbano.

La idea de la envolvente solar de 1976 se extendió y se complementó, Capeluto y Shaviv (1997) distingue otros dos conceptos adicionales de la envolvente solar, ellos exponen: "los derechos solares de la envolvente" y "la envolvente para los colectores solares". Los derechos de la envolvente solar son definidos como las alturas máximas de los edificios para que estos no violen los derechos solares de ninguno de los edificios existentes durante un determinado período del año. La envolvente para los colectores solares presenta la posición más baja posible de ventanas y colectores solares pasivos en la fachada de un edificio, de tal manera que estarán expuestos al sol durante un período determinado en invierno, pero pasaran a la sombra en verano.

### 1.7.7. La geometría de la envolvente solar



Figura 18. Diseño de edificaciones bajo el concepto de la envolvente solar, caracterizado por las terrazas, patios y claraboyas. Fuente: <http://www.resilience.org/stories/2012-03-26/solar-envelope-how-heat-and-cool-cities-without-fossil-fuels>

En comparación con los ejercicios convencionales de zonificación, la envolvente solar produce una geometría dictada por el sol y sus movimientos en el cielo. En estas nuevas formas los límites de las edificaciones derivan sus dimensiones verticales de los movimientos diarios y estacionales del sol De Decker, K. (2012). Como resultado de la geometría solar, los edificios y bloques de la ciudad son más propensos a tener formas únicas. Haciendo uso de la envolvente solar en el diseño arquitectónico no es posible estandarizar una respuesta formal, cada edificio es único e irrepetible.

Sin embargo, en el diseño ciertos elementos arquitectónicos cobran un gran protagonismo, por ejemplo, las terrazas aparecen para permitir el paso de la luz a pisos más bajos y a otras edificaciones. Los patios son otro elemento fundamental, ya que introducen la luz del sol y el calor en los espacios interiores. Los protectores solares y porches aparecen en todas partes, generando sombra en verano, pero dejando pasar los rayos del sol en invierno.



### 1.7.8. Cuantificación del acceso solar (radiación solar directa y factor de cielo visible)

Según Mardaljevic, J. (2005) existen dos métodos comúnmente empleados para intentar medir el acceso solar en entornos urbanos. El primero, está basado en los patrones de sombra proyectada por el sol en diferentes momentos del año, por ejemplo en el gráfico observamos el 1 de junio cuando se acerca el solsticio de verano en la ciudad de San Francisco de 11:00 am a 14:00pm. Esta primera aproximación es esencialmente cualitativa: la irradiación del sol no juegan ningún papel y la luz del cielo no es considerada. El segundo método está basado en la iluminación proporcionada por un cielo nublado sin sol (radiación difusa). Aunque cuantitativo, este segundo método no tiene en cuenta las contribuciones de radiación directa sobre las edificaciones.

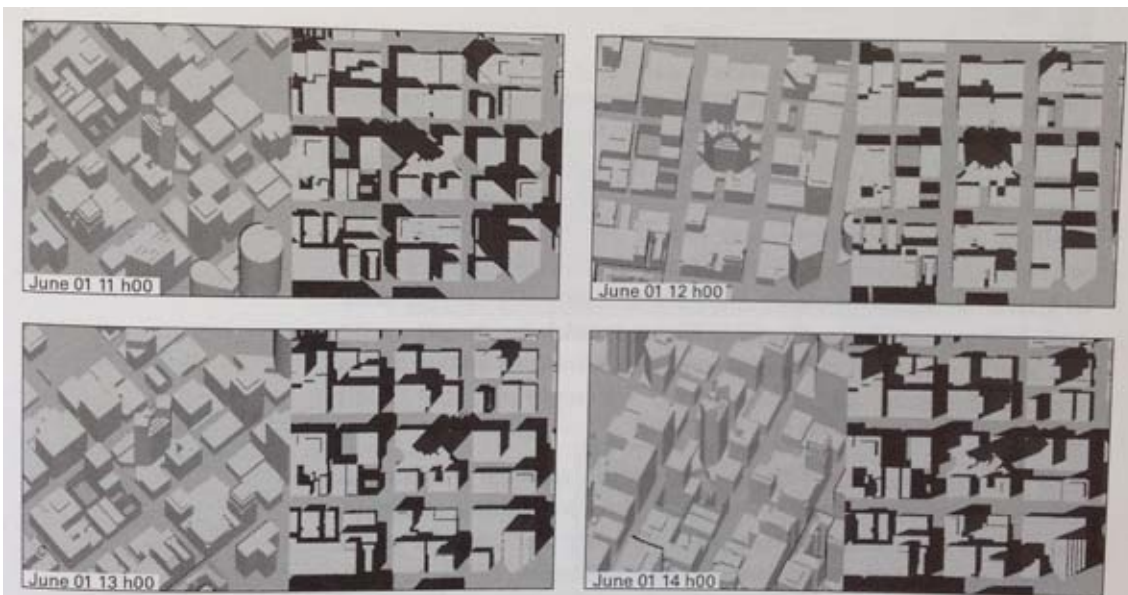


Figura 19. Patrones de sombra para San Francisco 1 de Junio de 11:00 am a 14:00pm. Fuente: Mardaljevic, J. (2005, pág 373).

Cuando se trata de accesibilidad solar no solo los haces de radiación directos provenientes del sol son importantes. En la mayoría de ciudades también la radiación difusa juega un papel vital para iluminar los espacios y las edificaciones. Esta radiación difusa proviene del cielo, el cual es irradiado por el sol, y en consecuencia el cielo reemite una luz mas suave, más fría (su espectro se desplaza hacia los azules) y difusa (no proyecta sombras) Beckers, B.(2007). Esta radiación difusa se puede medir gracias a las formulas de geometría solar o calcularse a través del factor de cielo visible (Sky View Factor)

*Por lo tanto, el nivel de iluminación por efecto del cielo en un punto cualquiera del espacio está manifiestamente relacionado con la cantidad de cielo que se ve desde este punto, es decir con el ángulo sólido que abarca el cielo desde este punto (el cual, normalizado como un porcentaje de la bóveda celeste completa se llama: factor de cielo visible). Beckers, B.(2007).*

Una de las características fundamentales del factor del cielo visible (Sky View Factor) a diferencia de la radiación solar directa, es que para su cálculo y medición no depende de la hora del día, ni de la época del año, ni de la latitud o altitud, este factor depende exclusivamente de la geometría.

Dada esta disyuntiva de los métodos para cuantificar el acceso al sol Mardaljevic, J. (2005) proponen cuantificar el acceso solar bajo un nuevo esquema, mucho más sencillo: basado en la medida del efecto acumulativo de la iluminación que resulta de un único cielo y las condiciones del sol. Es decir, en la medida de toda la luz-energía del sol y del cielo que incide en una superficie en el periodo de un año. La luz-energía acumulada en el periodo de un año se denomina: irradiación total anual, sus unidades son Watts-horas por m<sup>2</sup> (año), su equivalente visual se llama: iluminación total anual, siendo sus unidades lux-horas (año).

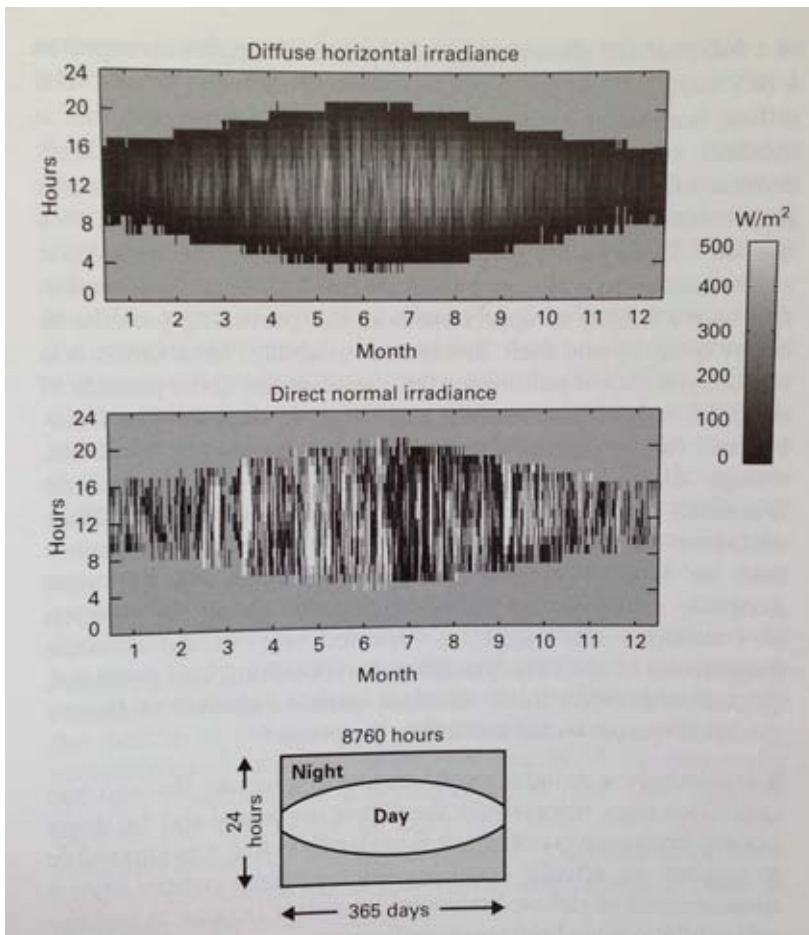


Figura 20. Gráfico donde se visualiza el comportamiento anual de la radiación difusa que incide sobre un plano horizontal (arriba) y la radiación directa (abajo) en la ciudad de San Francisco 37° Norte. Fuente: Mardaljevic, J. (2005, pág 375).

En resumidas palabras, este enfoque propone sumar la radiación directa generada por el sol y la radiación difusa (reemitida por el cielo) como una medida total del acceso solar para una ventana, fachada o cubierta durante todo un año, esto permitiría evaluar la arquitectura y su acceso al sol sobre una base cuantitativa.

Este nuevo enfoque permite:

- Realizar estimaciones de la irradiación/iluminación total anual incidente en una superficie
- Determinar la ubicación óptima para el sistema fotovoltaico (integrado o no a la edificación).
- Diseñar fachadas que respondan al acceso solar, con lo cual se optimizará la eficiencia energética de los edificios.
- Cuantificar el impacto de una nueva construcción sobre el acceso solar de antiguos edificios.
- Evaluar la relación entre forma urbana, obstrucciones y captación solar.

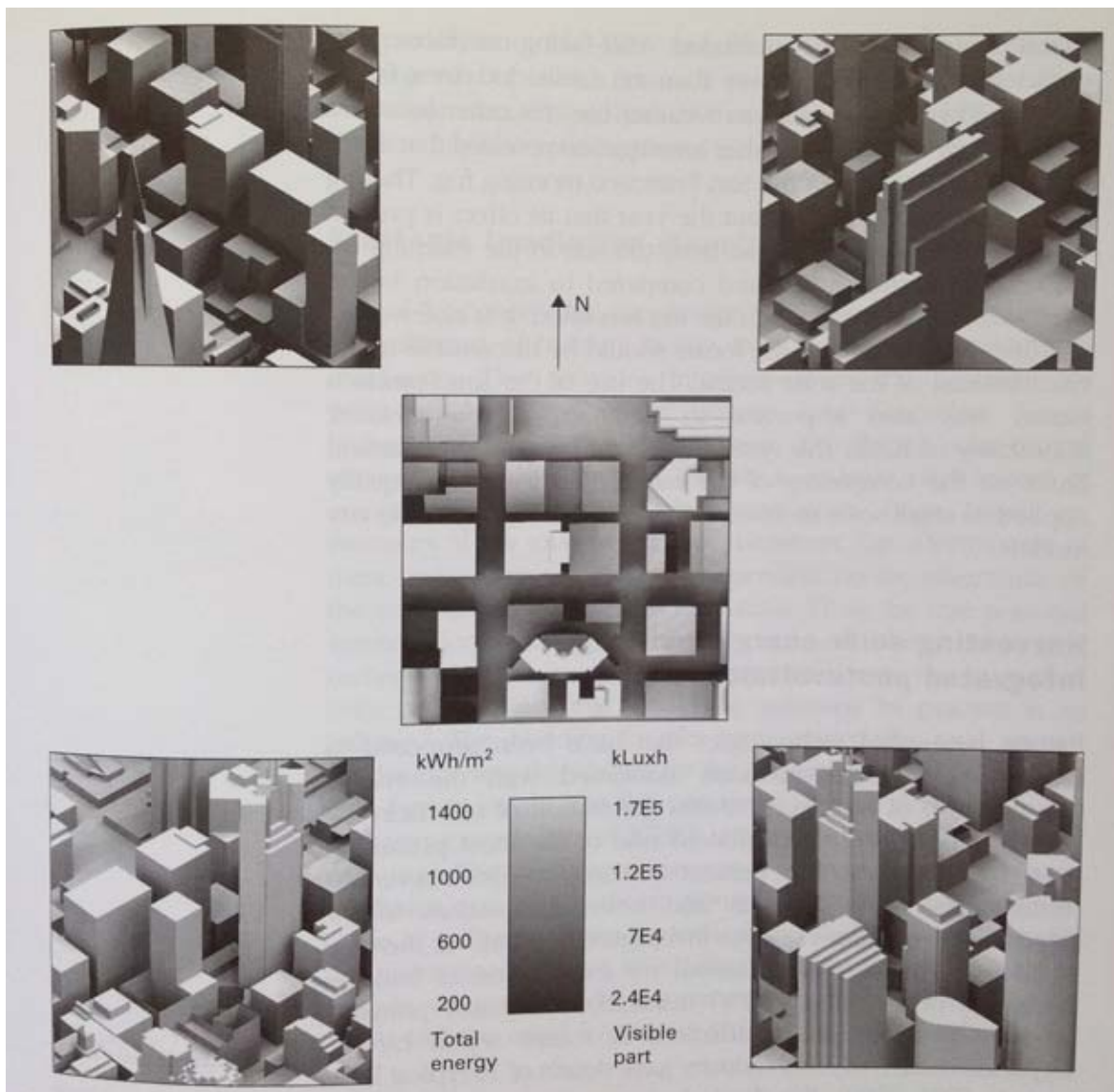


Figura 21. Estimaciones de acceso solar en un modelo 3D para algunas edificaciones en la ciudad de San Francisco. Fuente: Mardaljevic, J. (2005, pág 381).

## 1.8. Conclusiones de la primera parte:

La energía solar es esencial para la subsistencia de la vida en el planeta Tierra. La energía que desprende el sol es la fuente de luz para nuestra visión, es la fuente constante y gratuita de radiación y calor que mantiene la vida en nuestro planeta.

En relación con la morfología urbana, es innegable la importancia del acceso a la energía solar para su aprovechamiento (pasivo o activo), de hecho la morfología y tipología urbana, son la plataforma para la aplicación del concepto de acceso solar a gran escala.

La energía solar, más que otra energía renovable, tiene una relación directa con la forma, la habitabilidad, el confort, la ordenación volumétrica de nuestros edificios, sus separaciones, alturas y retrocesos. Por lo tanto, si un edificio cuenta con acceso solar esta energía se puede aprovechar e integrar en la edificación a través de sistemas activos o pasivos con el objetivo de reducir sus emisiones de CO<sub>2</sub> y su demanda energética .

El desarrollo urbano está directamente relacionado con la sostenibilidad energética de las ciudades, por esta razón es imprescindible la necesidad de legislar y reglamentar el acceso y aprovechamiento de la radiación (luz) solar de manera estable y sin incertidumbres. Existen dos grandes enfoques para reglamentar el acceso al sol, el primero define unos requisitos básicos que deben ser cumplidos, como por ejemplo: el número de horas mínimas de asoleación necesarias en un periodo crítico (invierno), este enfoque es denominado de *actuación*, el segundo es *descriptivo*, en este, la geometría y la proyección de sombras buscan establecer las alturas máximas de los edificios para que estos no obstruyan el acceso solar a otras edificaciones.

La idea de acceso solar es mucho más antigua que las investigaciones y leyes del siglo pasado, para esclarecer este concepto hemos distinguido cuatro grandes periodos del concepto de acceso solar, el primero, el periodo antiguo está estrechamente relacionado con la orientación y el aprovechamiento pasivo de la energía solar, el periodo postindustrial vincula la salud de las personas con el disfrute del sol, el tercer periodo, la crisis energética y las aproximaciones geométricas, reúne las primeras consideraciones energéticas y el concepto de calidad de vida, y por último, el periodo de cuantificación del acceso solar, el cual reúne dos parámetros: la radiación directa y la difusa.

## SEGUNDA PARTE

Estudio comparativo de acceso solar por el método descriptivo entre las ciudades: Jerusalén, Israel (31,8° Norte) y Bogotá, Colombia (4,5° Norte)

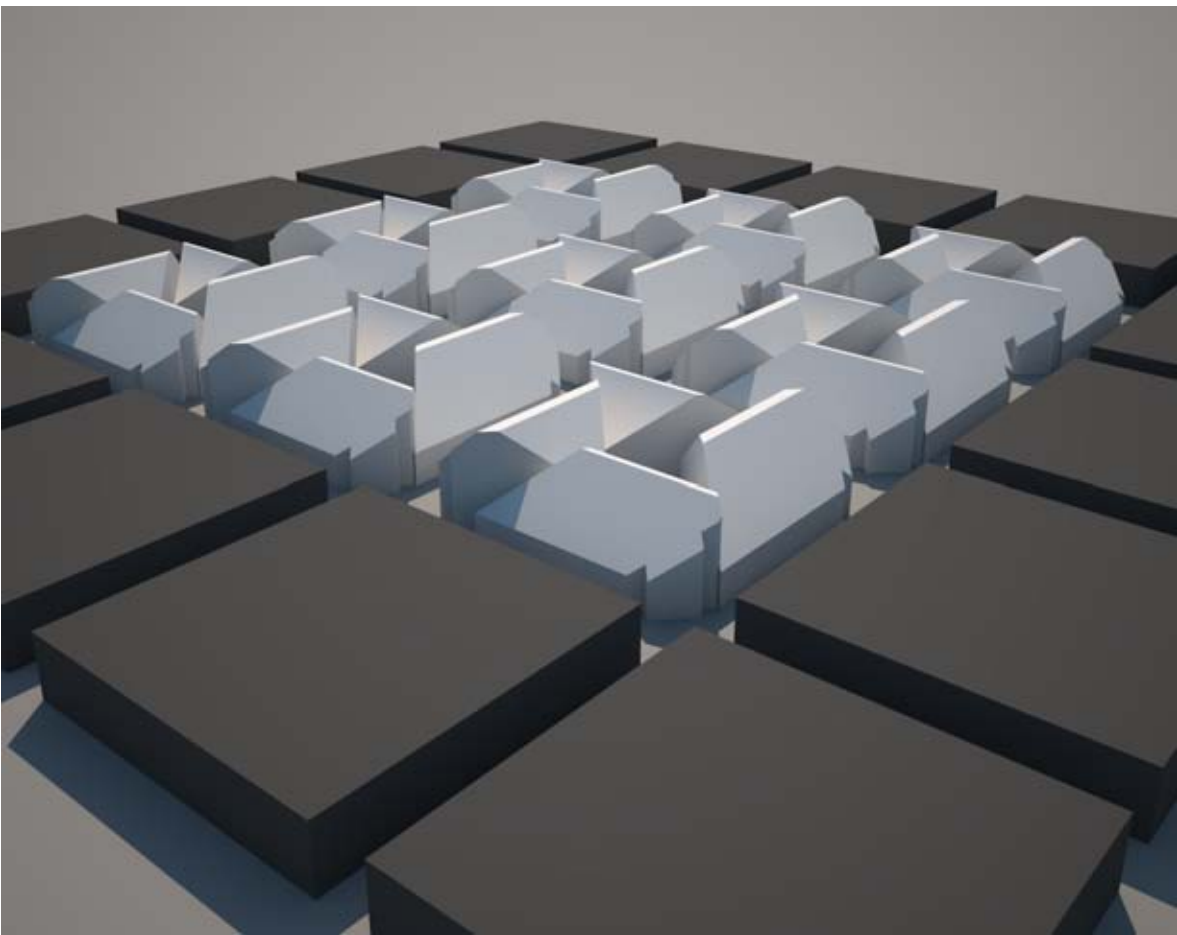


Figura 22. Propuesta urbana para la ciudad de Bogotá, la cual garantiza el acceso solar a edificaciones y andenes. Fuente: Elaboración propia

## Introducción

En el capítulo anterior se evidenció la importancia del acceso solar en la planificación urbana, puesto que este acceso permite el calentamiento pasivo de las edificaciones en el periodo de invierno, reduciendo así las emisiones de CO<sub>2</sub> y la demanda energética en las edificaciones, a su vez el acceso solar en espacios públicos mejora las condiciones de confort en plazas, calles y aceras.

Una planificación urbana que no tenga en cuenta el acceso solar para las edificaciones y espacios públicos puede causar enfermedades y situaciones incómodas tanto dentro como fuera de las edificaciones. Las características geométricas, morfológicas de los edificios y el espacio público, es decir, su proporción, forma, altura, distancias entre sí, tienen una influencia decisiva en el confort, rendimiento energético futuro y la calidad del entorno construido. Estos parámetros están relacionadas con el perfil, las dimensiones, la orientación de las calles y la proporción de los espacios abiertos Capeluto, G. et al. (2005).

La importancia de la radiación solar que pueda recibir una edificación en invierno se ha estudiado en varios trabajos de investigación: Thermal Performance of Buildings and the Development of Guidelines for Energy Concious Design & Climatic and Energy Aspects of Urban Design in a Hot-Humid Region of Israel. La conclusión principal a la que han llegado estas investigaciones es que se puede reducir el consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> del edificio si la radiación es introducida de forma directa al interior de las edificaciones. Mientras que la insolación de espacios exteriores puede crear áreas climáticamente confortables que pueden ser aprovechables en invierno según Bosselmann, P et al. (1995). Sin embargo, lo que garantiza un acceso solar y una cantidad adecuada de radiación no es una tarea fácil, este capítulo pretende exponer un método sencillo para implementar las regulaciones de acceso solar en cualquier ciudad del planeta.

Recordemos que actualmente existen dos grandes enfoques para las reglamentaciones de acceso solar: el método de actuación (horas mínimas de asoleación) y el método descriptivo (proyección de sombras que buscan establecer las alturas máximas para las edificaciones). Según Capeluto, G. et al. (2005) la regulación de acceso solar y los derechos solares se puede aplicar en tres niveles sobre la base de los dos enfoques mencionados anteriormente:

1. El nivel básico, basado en el enfoque de rendimiento, define la cantidad requerida de radiación solar para cada orientación, ubicación urbana y zona climática.
2. El segundo nivel, también se basa en el enfoque de rendimiento, indica las horas de insolación que cumplan los requisitos de captación de radiación solar
3. El tercer nivel es el método descriptivo, en este se presenta el empleo de las líneas de sección solares como una herramienta simple para garantizar el acceso solar y los derechos solares.

Sobre la base de estos dos grandes enfoques y los tres niveles de aplicación, procedemos a presentar el método escogido para la realización de nuestro estudio.

## 2. Estudio comparativo de acceso solar por el método descriptivo

Con el objeto de realizar un estudio comparativo entre las ciudades de Jerusalén, Israel (31,8° Norte) y Bogotá, Colombia (4,5° Norte), se ha escogido el método descriptivo, ya que éste es uno de los grandes enfoques de las reglamentaciones y está en sintonía con el concepto de envolvente solar de Knowles, R. (1999). En este enfoque la geometría y la proyección de sombras buscan establecer las alturas máximas de los edificios para que estos no obstruyan el acceso solar a otras edificaciones existentes o no.

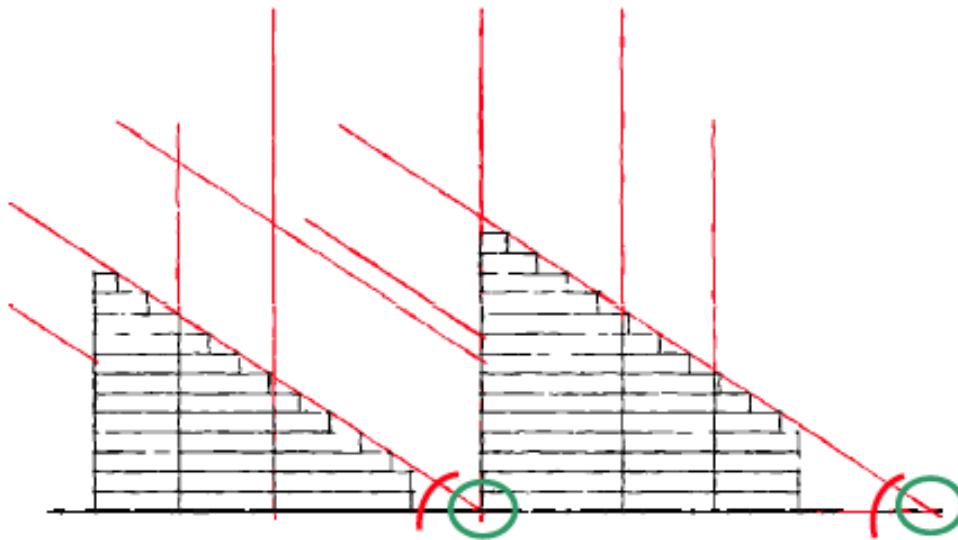


Figura 23. Ejemplo del método descriptivo, en el cual se establecen las alturas máximas a los edificios con el objeto de no causar obstrucciones a otras edificaciones o espacio público, este método está basado en el ángulo del sol en el periodo más crítico: el invierno. Fuente: Capeluto, G. et al. (2006)

De acuerdo con la metodología empleada por Capeluto, G. et al. (2005) se hace uso de las líneas de sección solares como una herramienta sencilla para determinar el acceso solar a las edificaciones y espacios públicos. El diseño de las edificaciones y espacios abiertos de acuerdo con estas líneas de sección garantiza el acceso solar y los derechos solares tanto a los edificios, sus alrededores, como a los espacios públicos, todo esto sin la necesidad de demostrar más requisitos para cumplir con las reglamentaciones. Las líneas de sección representan el ángulo del sol en el periodo más crítico: el invierno.



## 2.1 Breve descripción del clima y localización de las ciudades de estudio:

### 2.1.1 Jerusalén, Israel (31,8° Norte)

La ciudad de Jerusalén es la capital del Estado de Israel, se sitúa en los montes de Judea, entre el Mar Mediterráneo y la ribera norte del Mar Muerto, se localiza en las siguientes coordenadas: 31,8° latitud Norte, longitud: 35.2 Este y una altitud de 757 metros sobre el nivel del mar.



Figura 24. Localización del Estado de Israel.

Fuente: <http://cala.unex.es/cala/epistemowikia/index.php?title=Israel>

Jerusalén posee un clima mediterráneo y cuatro estaciones, generalmente con un período de calor seco (los meses de junio, julio y agosto) y uno fresco, con lluvias (los meses de abril y mayo). El promedio de temperatura media anual es de 17 °C. En los meses de invierno pueden caer ligeras nevadas, sin embargo cada tres o cuatro años suele nevar muy fuerte. Los meses más fríos son: enero y febrero con temperaturas mínimas de 6 °C y los más calurosos son: julio y agosto con temperaturas máximas de 29 °C.

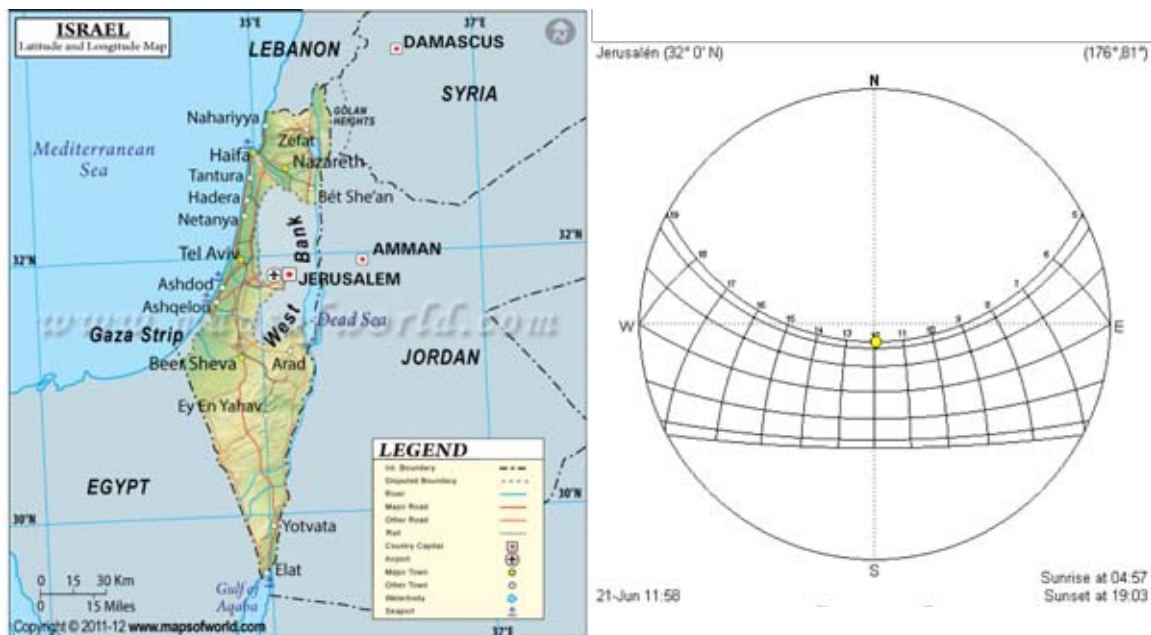


Figura 25. Localización de la ciudad de Jerusalén y su correspondiente proyección estereográfica solar. Fuente: [http://www.mapsofworld.com/lat\\_long/israel-lat-long.html](http://www.mapsofworld.com/lat_long/israel-lat-long.html), la proyección fue obtenida a partir del Programa Heliodon



## 2.1.2 Bogotá, Colombia (4,5° Norte)

La ciudad de Bogotá es la capital de la República de Colombia, se emplaza en la meseta Cundiboyacense, en el centro del país, sobre la ramificación oriental de la cordillera de los Andes, se localiza en las siguientes coordenadas: 4,5° latitud Norte, longitud 74° Oeste y una altitud 2650 metros sobre el nivel del mar.



Figura 26. Localización de la República de Colombia. Fuente <http://www.marketoracle.co.uk/Article23198.html>

Bogotá posee un clima moderadamente frío, esto debido a la altitud. El promedio de temperatura media anual es de 14° C, no hay cambios de estaciones debido a su localización geográfica. Existen dos periodos de lluvia, que comprenden los meses que van de marzo a mayo, y de septiembre a noviembre, con bajas temperaturas en las noches de: diciembre y enero de hasta -4° C. En días despejados la temperatura hacia el medio día en el centro de la ciudad puede alcanzar los 24° C. Con variaciones térmicas diarias de hasta 12° C.

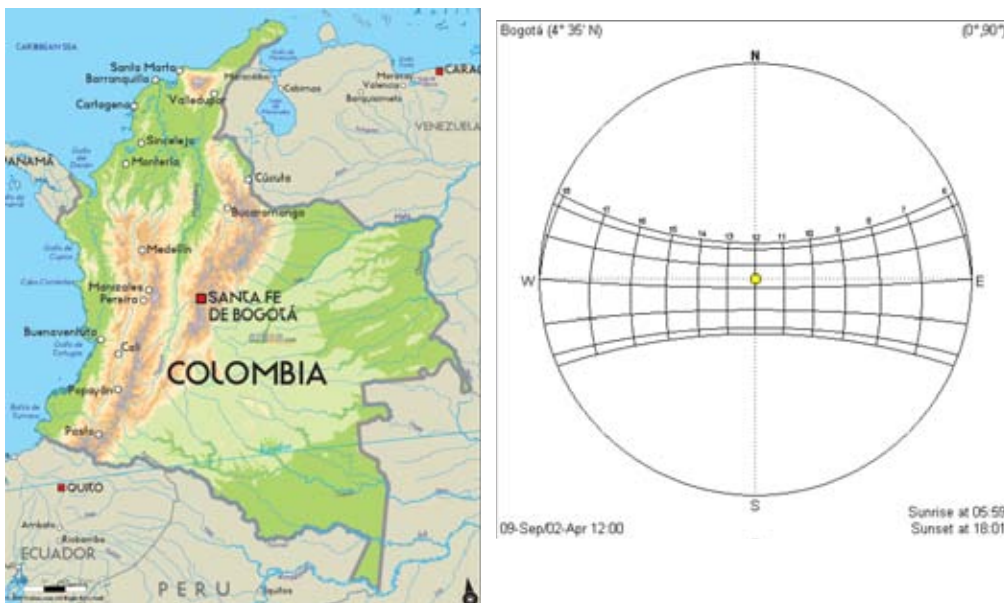


Figura 27. Localización de la ciudad de Bogotá y su correspondiente proyección estereográfica solar. Fuente: <http://images.sodahead.com/profiles/0/0/2/4/1/7/1/2/3/Lumbo-78301215764.jpeg#Lumbo>, la proyección fue obtenida a partir del Programa Heliodon

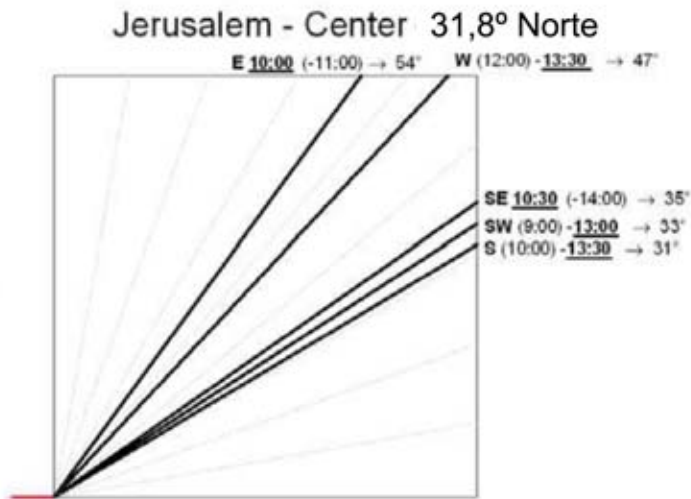


Figura 28. Las líneas de sección sirven como una herramienta sencilla para el diseño de los derechos solares. Líneas propuestas para el centro de Jerusalén Fuente: Capeluto, G. et al. (2005, pág 134)

## 2.2. Líneas de sección

Las líneas de sección definidas por Capeluto, G. et al. (2005) para el método descriptivo se basan en el concepto de la envolvente solar descrito en el capítulo anterior. La envolvente solar presentada fue creada para mantener las horas de insolación requeridos para cada orientación, zona climática y ubicación urbana (centro) en Jerusalén. Cada línea de sección representa el ángulo del sol en el periodo más crítico: el invierno.

A continuación se presentan las líneas de sección para la ciudad de Bogotá, esta ciudad se localiza en la zona tórrida y como tal no presenta una estación de invierno, pero si dos periodo de lluvias.

### Bogotá - Centro (4,5° Norte)

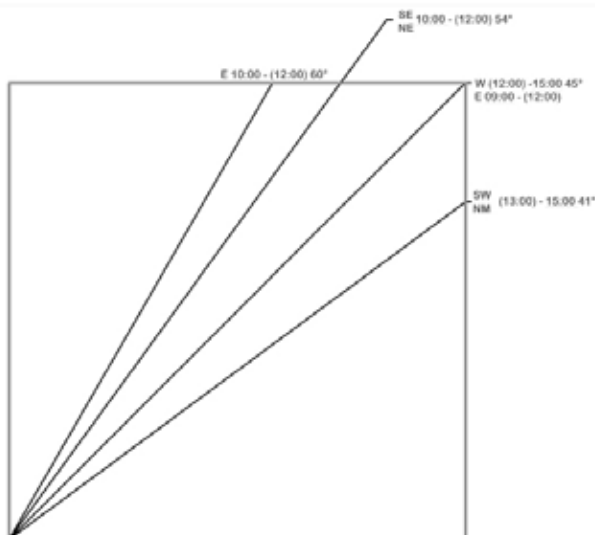


Figura 29. Fuente: Elaboración propia

Según Capeluto, G. et al. (2005) las líneas de sección se utilizan para:

- Para conservar el acceso solar y los derechos solares para edificios mediante la definición de un punto base en la parte inferior de la primera planta residencial con el objeto de usarlo para trazar las líneas de sección para limitar la altura del edificio que se encuentra justo enfrente.
- Para garantizar el acceso solar de las aceras mediante la exposición de al menos 1 a 2 metros de acera en un lado de la calle.
- Para mantener el acceso solar y los derechos solares para espacios públicos: aceras, calles, plazas y parques.

### 2.3. Garantizar el acceso solar y los derechos solares a edificios residenciales

De acuerdo con Capeluto, G. et al. (2005) las líneas de sección para cada orientación permiten establecer las alturas máximas de los edificios con el objeto de no causar obstrucciones a otras edificaciones o al espacio público. El punto base de las líneas de sección se ubica en la parte inferior de la primera planta residencial. Esto significa que en las zonas centrales de Jerusalén o el centro de Bogotá, donde los pisos inferiores pueden ser utilizados con fines comerciales el punto base de las líneas de sección se levantará, permitiendo que los edificios sean más altos.

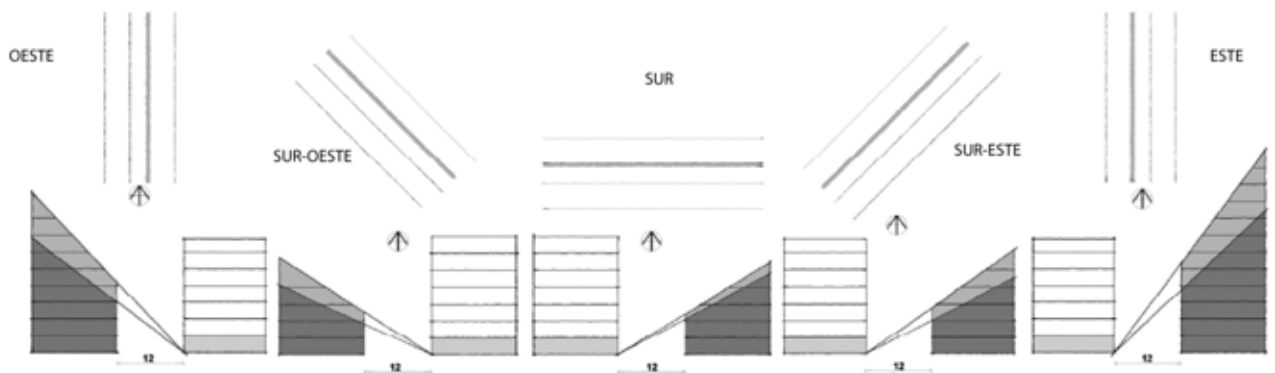


Figura 30. Perfiles que garantizan el acceso solar y los derechos solares a través de las líneas de sección para cada orientación, Jerusalén, centro (31,8° Norte). Recordemos una de las conclusiones de Raymond Unwin que para latitudes Norte, la orientación más benéfica y con mayores ganancias solares es la orientación Sur. Fuente: Capeluto, G. et al. (2005, pág 135)

Para la ciudad de Bogotá, según el siguiente cuadro de irradiación anual, las orientaciones más adecuadas son: Este y Oeste. Es por esta razón, que los perfiles construidos con las líneas de sección propuestas no presentan la orientación Sur, ya que la fachada Sur solo recibe irradiación seis meses, al igual que la Norte, estas dos se alternan durante el periodo de un año. En esta latitud la mayor ganancia de radiación se produce por la cubierta.

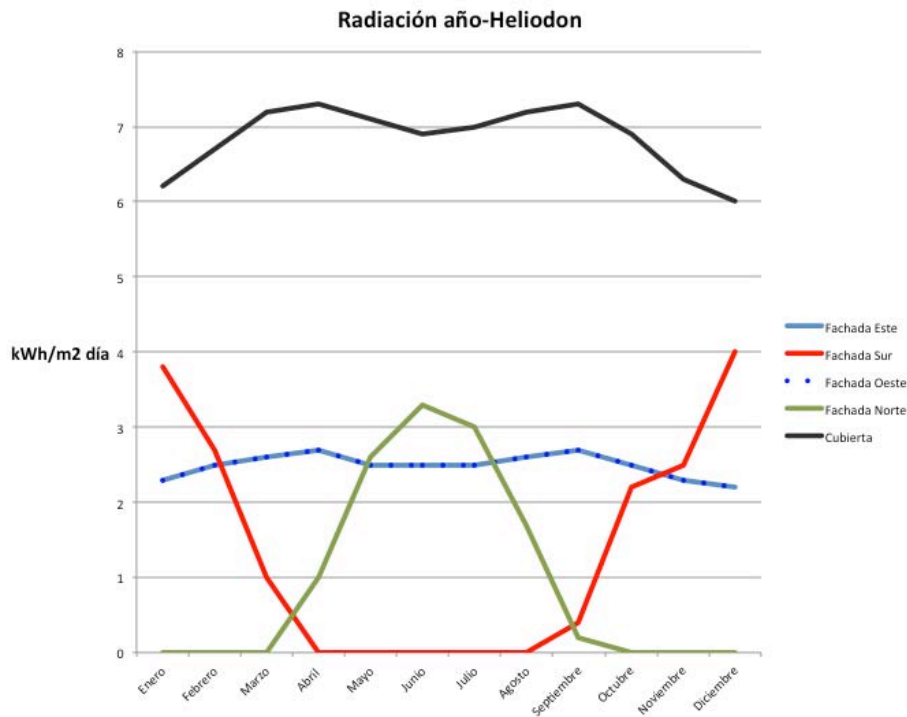


Figura 31. Cuadro de irradiación KWh/m2-anual por fachadas para la ciudad de Bogotá, centro (4,5° Norte), construido con los datos suministrados por el programa Heliodon. Fuente: Elaboración propia



Figura 32. Perfiles que garantizan el acceso solar y los derechos solares a través de las líneas de sección para cada orientación, Bogotá, centro (4,5° Norte). Fuente: Elaboración propia

Para la construcción de este perfil se trabajó con el perfil V7 (denominado así según las zonas viales para la ciudad de Bogotá) el cual por sus dimensiones es el más cercano al perfil trabajado por Capeluto, G. et al. (2005) para la ciudad de Jerusalén.

## 2.4. Garantizar el acceso solar y los derechos solares para aceras

Capeluto, G. et al. (2005) sostiene que la insolación de una acera es de por lo menos de 1 a 2 metros de su anchura, a esta porción de la acera le debe dar el sol durante unas horas determinadas en el periodo más crítico: el invierno. El requisito es sólo para una acera de las dos que tienen una calle. Se recomienda mantener 2 metros expuestas al sol. Sin embargo, en las zonas centrales, en la cual se requiere una mayor densidad, es posible, dentro de los límites de la normativa urbana local, asegurar la insolación de un (1) sólo metro.

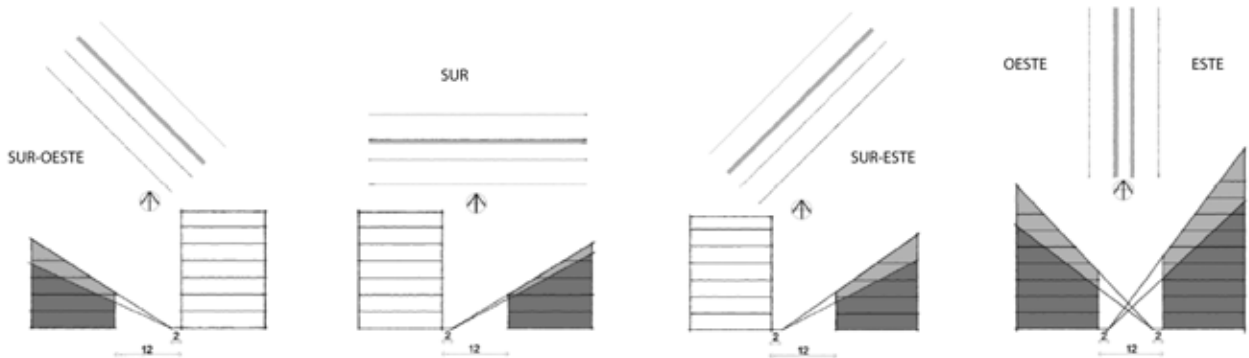


Figura 33. Para la aplicación de las líneas de sección para aceras se utiliza el mismo método que para los edificios, excepto que el punto de base se debe colocar a 1 o 2 metros del edificio. Aquí se presentan los perfiles que garantizan el acceso solar y los derechos solares a través de las líneas de sección para aceras, Jerusalén, centro (31,8° Norte). Fuente: Capeluto, G. et al. (2005, pág 135)

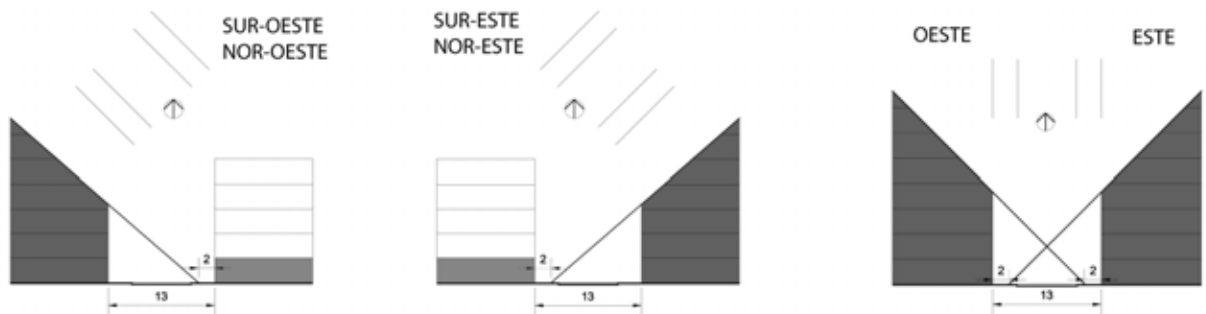


Figura 34. Construcción de los perfiles que garantizan el acceso solar y los derechos solares a través de las líneas de sección para aceras para la ciudad de Bogotá, centro (4,5° Norte). Fuente: Elaboración propia

## 2.5. Descripción del tejido urbano examinado para la ciudad de Jerusalén (31,8° Norte)

El caso examinado para Jerusalén define un tejido urbano simple: dos calles que se cruzan conformando manzanas alargadas:

- Una calle de 20 metros de ancha, que incluye la calzada, andenes y aparcamiento a lado y lado.
- Una calle de 12 metros de ancha que incluye la calzada, andenes, pero sin aparcamientos.

Este cruce conforma ocho manzanas de tamaño de: 30 metros por 67 metros con edificios situados a lo largo de estas calles de la siguiente manera:

- Grupo A - dos manzanas perpendiculares a una calle de 20 metros (una en cada lado).
- Grupo B - dos manzanas paralelas a la calle de 12 metros (una en cada lado)
- Grupo C - cuatro lotes en la intersección de las dos calles: de 20 metros y de 12 metros. (una manzana en cada esquina).

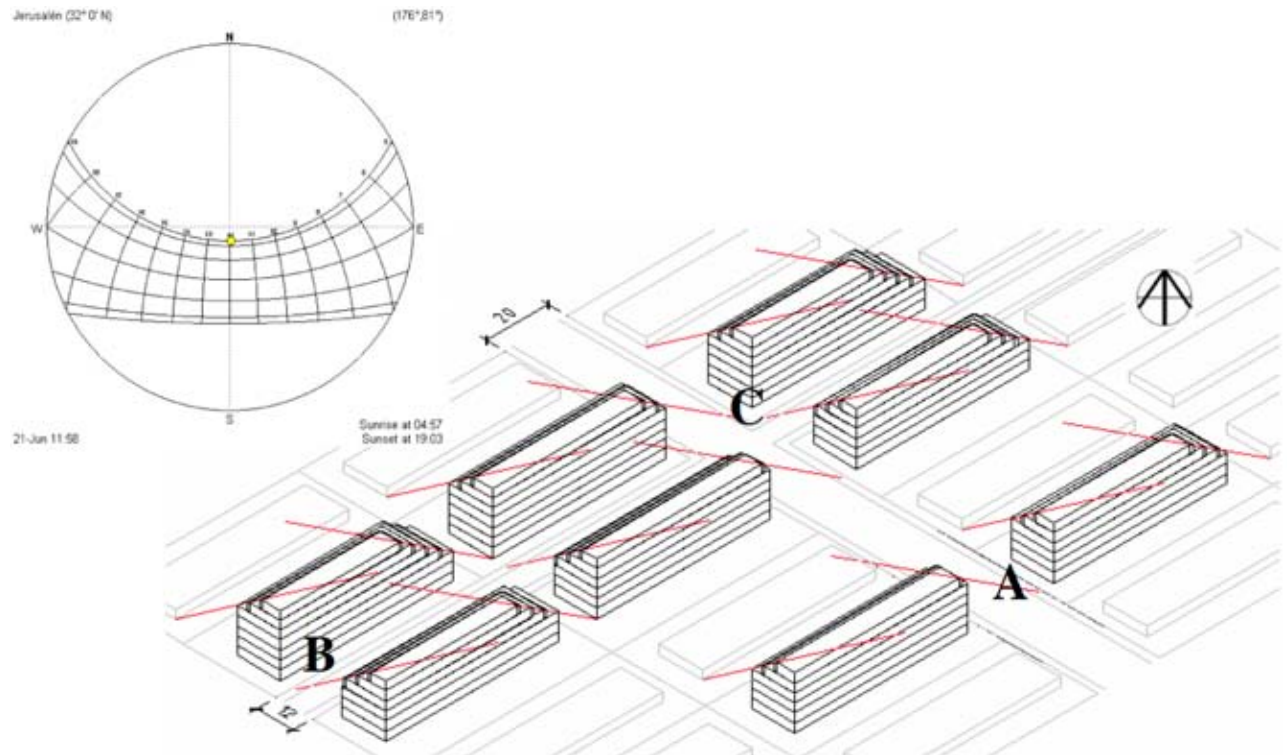


Figura 35. Tejido urbano (con su gráfica solar estereográfica) examinado para la ciudad de Jerusalén: disposición de edificios en fila colocados con orientación al noroeste-sureste, con una calle de 20 metros perpendicular a ellos, que va al noroeste-sureste. Fuente: Capeluto, G. et al. (2005, pág 135), la proyección fue obtenida a partir del Programa Heliodon

Los requisitos de exposición aseguran el acceso solar y los derechos solares de todas las fachadas residenciales con orientación de este a oeste a través del sur, y la exposición de al menos 1 metro de andén (en un lado de la calle en el periodo más crítico del año).

## 2.6. Descripción del tejido urbano examinado para la ciudad de Bogotá (4,5° Norte)

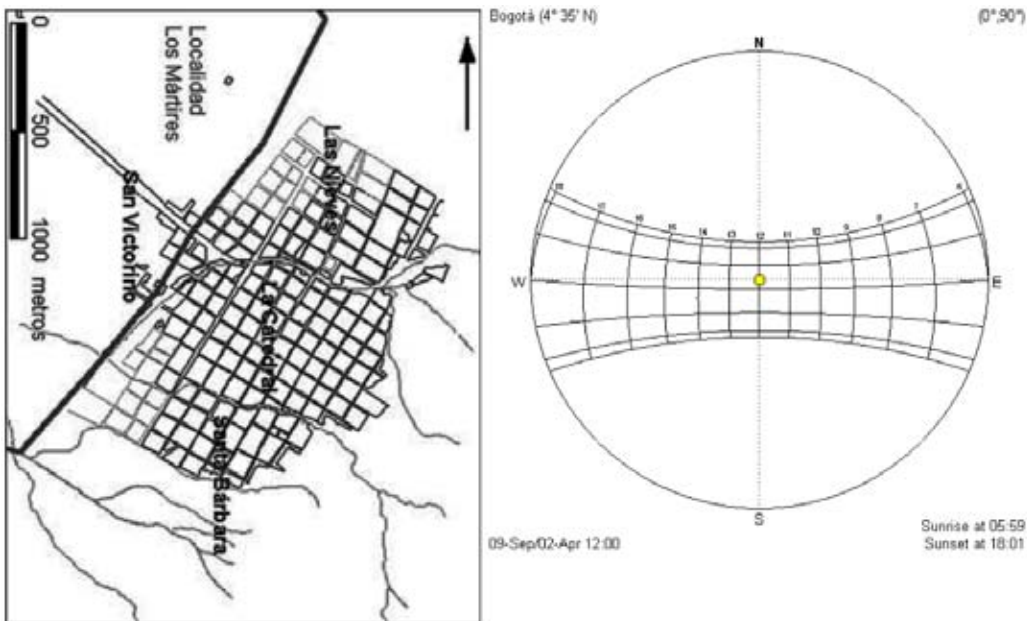


Figura 36. Tejido original de la ciudad de Bogotá, siglo XVIII, con su gráfica solar estereográfica. Fuente: <http://institutoestudiosurbanos.info/endatos/0100/0140/01411.htm>, la proyección fue obtenida a partir del Programa Heliodon

El tejido urbano analizado para la ciudad de Bogotá define un trazado regular conformado con un solo tipo de vía, perfil V7 (denominada así según las zonas viales de la ciudad de Bogotá): Una calle de 13 metros de ancha que incluye la calzada, andenes, pero sin aparcamientos y para nuestro análisis sin antejardín.

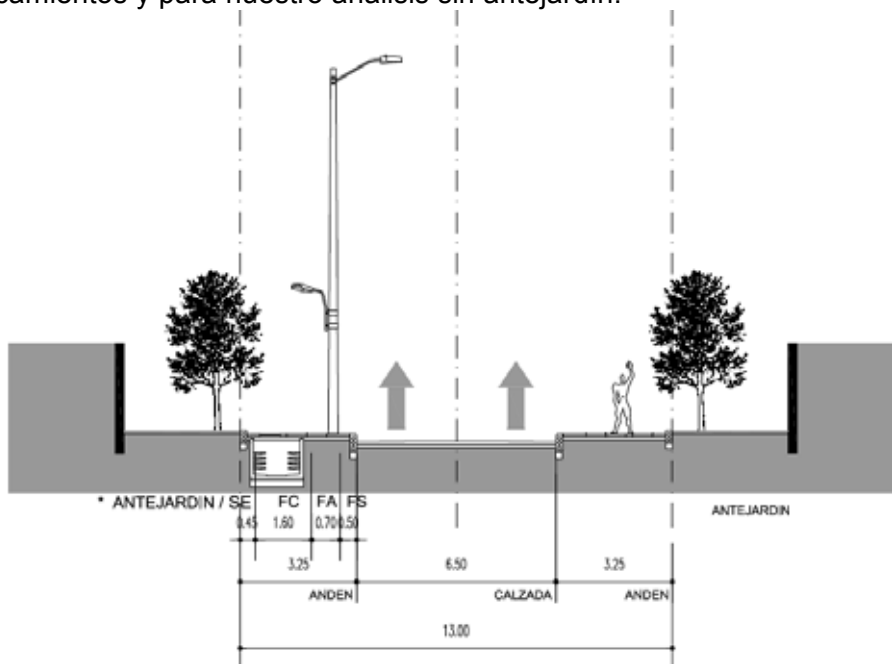


Figura 37. Perfil V7. Calle de 13 metros de ancha. Fuente: <http://www.empresavirgiliobarco.gov.co/concurso/Documents/ANEXO%206%20Secciones%20Viales.pdf>



Para este estudio se ha conservado la orientación del trazado del centro histórico, la disposición original de las calles, las cuales se ordenan como un sistema de coordenadas cartesianas. Las vías van en dirección noroeste-sureste y nordeste-suroeste su cruce conforma una malla regular de 100 metros por 100 metros.

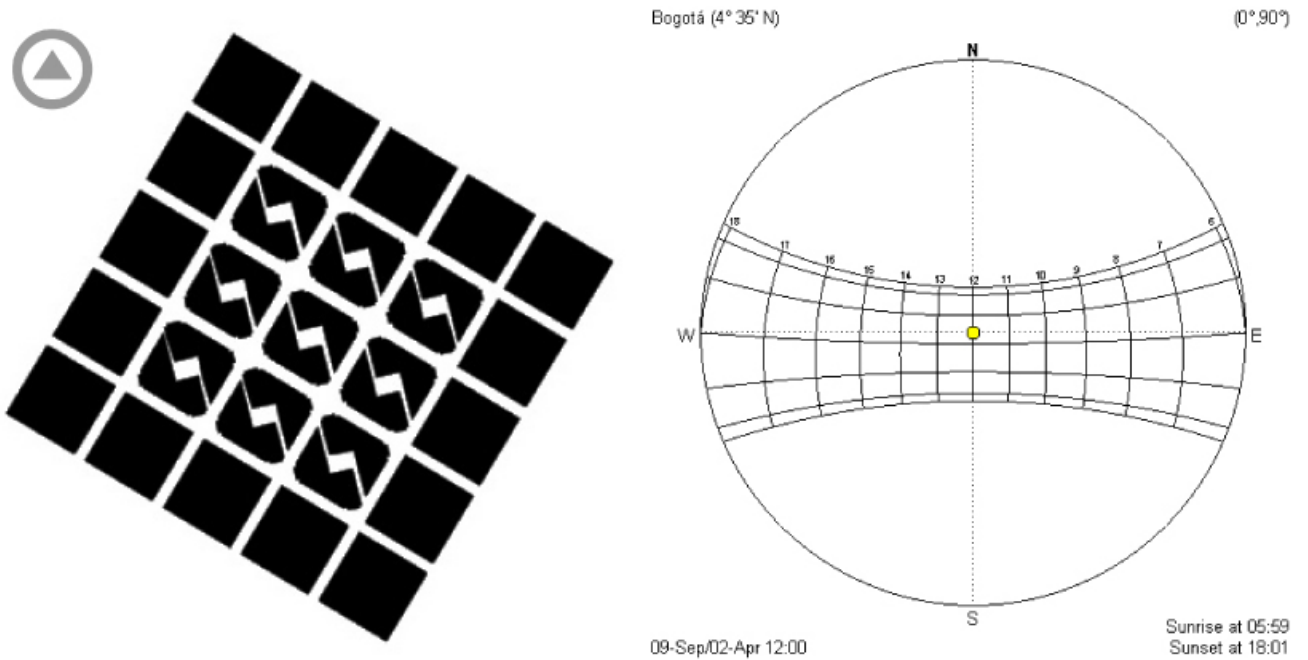


Figura 38. Propuesta de tejido urbano, basada en la propuesta del Estudio de Normas Mínimas para la Urbanización. Fuente: Elaboración propia, la proyección fue obtenida a partir del Programa Heliodon

Para el diseño de la propuesta urbana se utilizó una de las plantas de distribución de manzana propuesta por el Estudio de Normas Mínimas para la Urbanización (1971), publicado en la revista Escala N° 65, página 13.

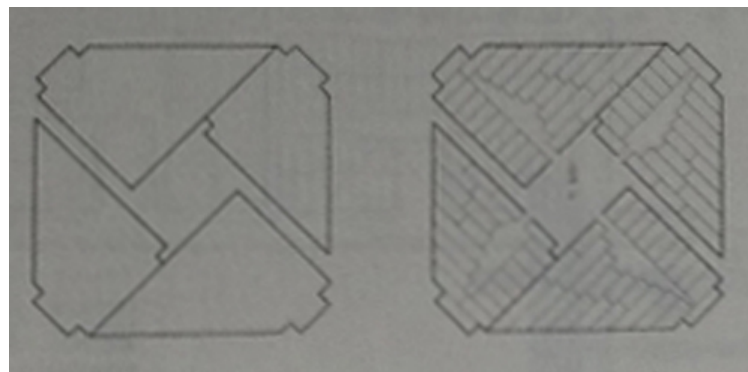


Figura 39. Propuesta de distribución de manzana. Fuente: Estudio de Normas Mínimas para la Urbanización (1971), publicado en la revista Escala N° 65, página 13.

Las razones por la cual se escogió esta propuesta se deben a que: modifica la manzana compacta de 100m x 100m con el objeto de vaciar su interior, ochava las esquinas, establece dos accesos complementarios en dos esquinas, y hace uso de diferentes dimensiones de loteo, generando una nueva tipología de manzana.



## 2.7. Estudio de acceso solar y derechos solares con el programa Helidon para la ciudad de Bogotá (4,5° Norte)

Para comprobar las líneas de sección y las envolventes solares propuestas para la ciudad de Bogotá, se decidió construir una propuesta urbana que aplicara estas líneas de sección para cada orientación en 9 manzanas, de acuerdo a la tipología propuesta por el Estudio de Normas Mínimas para la Urbanización (1971). Con la aplicación de las líneas de sección los edificios orientados al Este y Oeste se limitarían a 9 plantas (27 metros) y los orientados a sureste, noreste, suroeste y noroeste a 8 plantas (24 metros), las manzanas tradicionales de construyeron de 5 plantas.

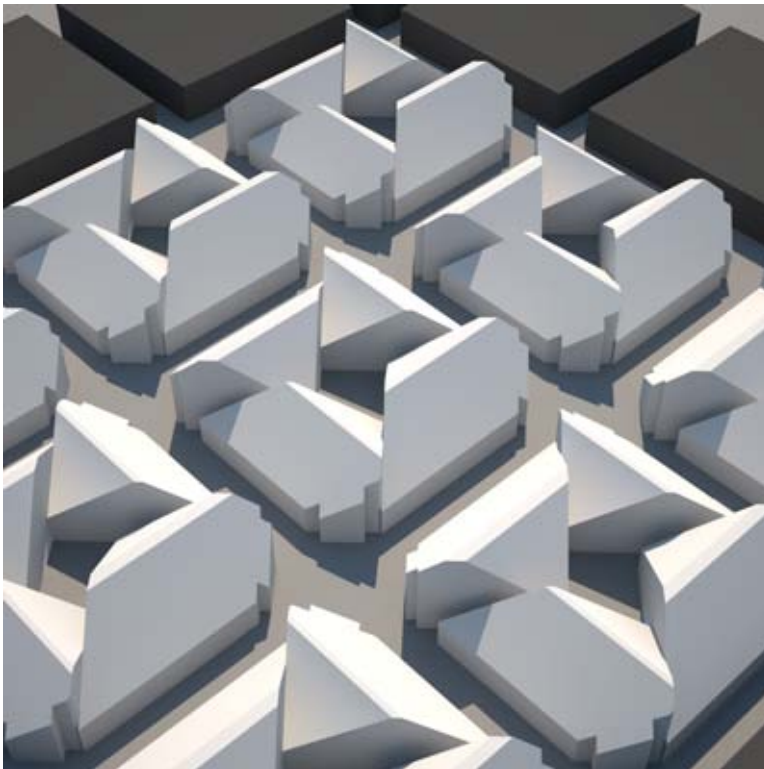


Figura 40. Propuesta urbana que aplica las líneas de sección para cada orientación, este modelo está basado en la propuesta del Estudio de Normas Mínimas para la Urbanización. Fuente: propia.

Este modelo urbano fue luego introducido en el programa Helidon, con el objeto de realizar un estudio de sombras y comprobar así, el comportamiento de las envolventes solares sobre las fachadas de los edificios en los días más críticos, recordemos que Bogotá no cuenta con estaciones, pero sí, con dos períodos de lluvias los meses de marzo-mayo y septiembre-noviembre, complementario a esto se hizo el estudio de sombras para el día de equinoccio y los días de solsticio de invierno y de verano.

Con el objeto de complementar el estudio de sombras, se realizó un estudio del factor de cielo visible para las calles tradicionales, las nuevas calles y los patios generados por las propuesta urbana, con el objeto de tener una mirada complementaria a la de la radiación directa.

Según Beckers, B. & Beckers P. (2008), Heliodon es un programa para el diseño interactivo con la radiación solar y la luz natural que puede ser empleado a escala arquitectónica o urbana. Gracias a este programa se pudo evaluar el comportamiento de la propuesta urbana lo largo de un día y de todo el año, en términos de: radiación directa, difusa, horas de sol y sombras proyectadas. Se evaluó el traspaso del día 8 de abril (inscrito en el período de lluvias) desde las 9:00 am hasta las 15:00 pm (estas dos horas fueron las que se utilizaron para trazar las líneas de sección para cada orientación), luego se presentará el comportamiento de la propuesta urbana en los días de solsticio, el equinoccio y el día 9 de noviembre (inscrito asimismo en el período de lluvias).

### Comportamiento de la propuesta urbana para el 8 de Abril de las 9:00 am hasta las 15:00 pm

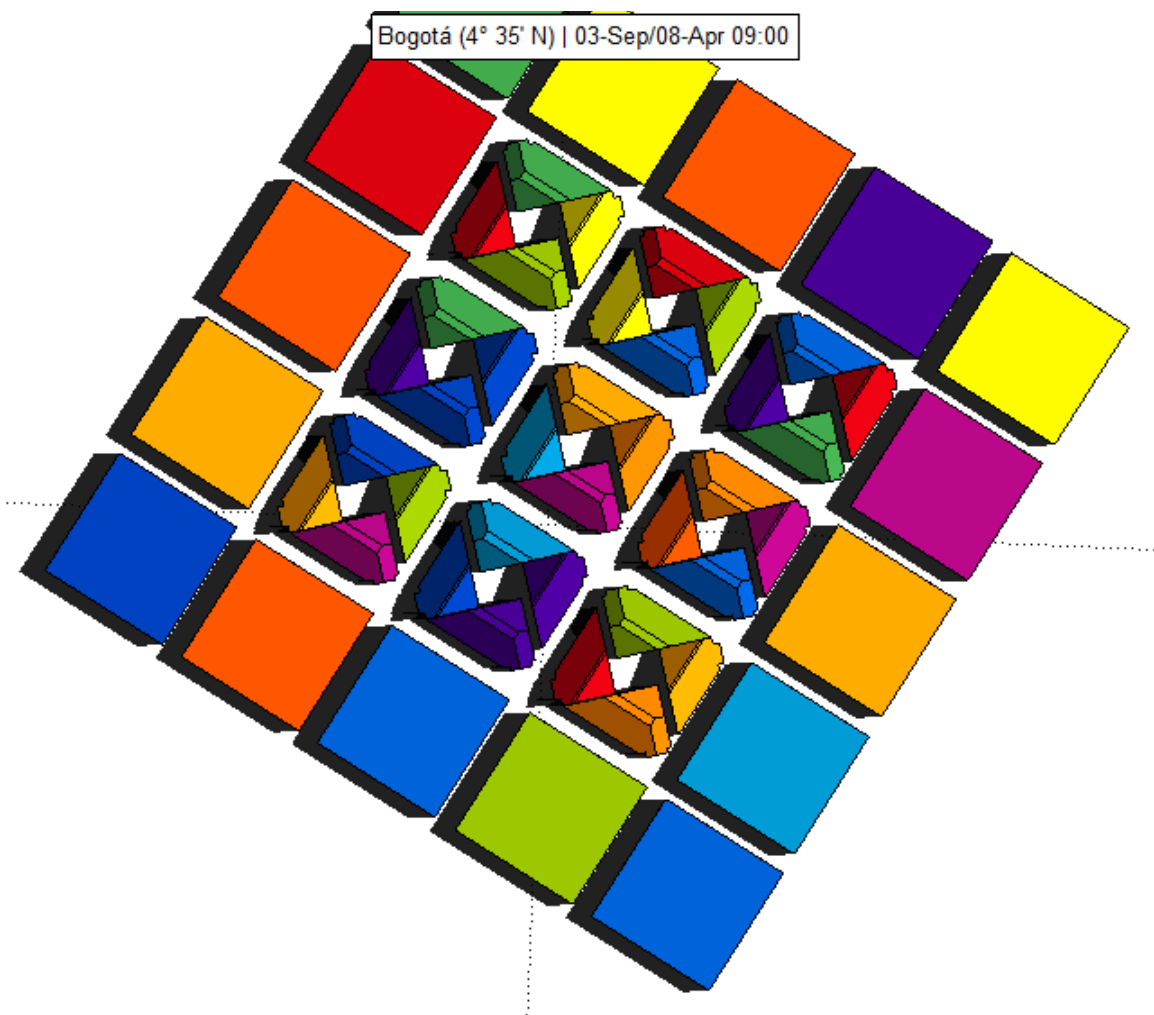


Figura 41. Comportamiento de la propuesta urbana para el 8 de Abril / 3 de Septiembre a las 9:00 am. Fuente: Propia, obtenida a partir del Programa Heliodon



Figura 42. Comportamiento de la propuesta urbana para el 8 de Abril / 3 de Septiembre a las 10:00 am.  
Fuente: Propia, obtenida a partir del Programa Heliodon

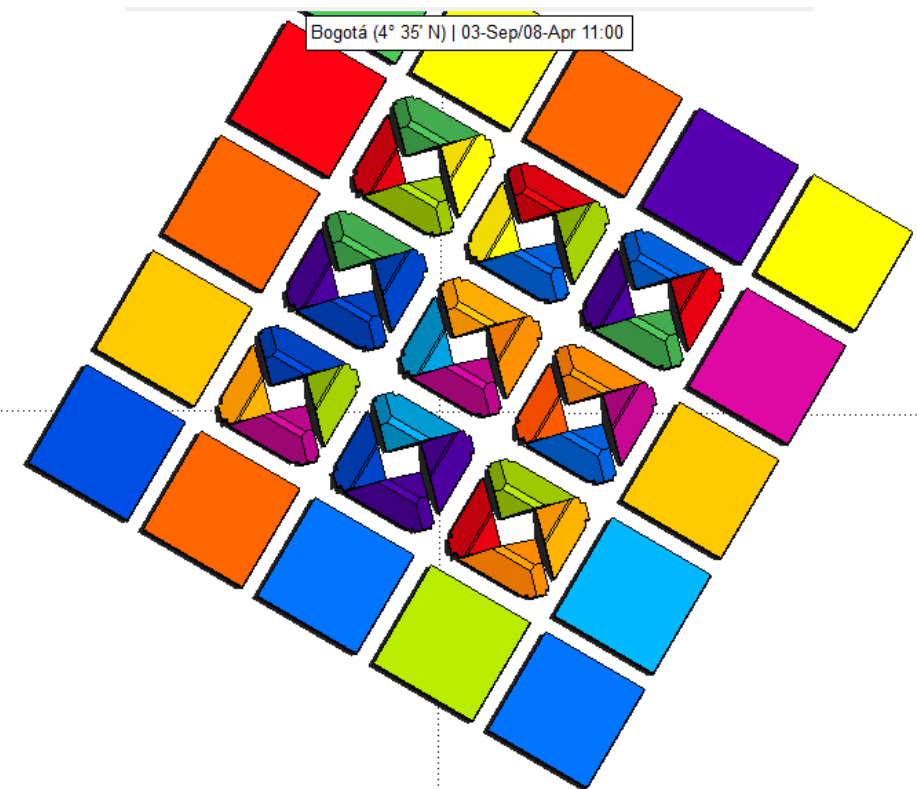


Figura 43. Comportamiento de la propuesta urbana para el 8 de Abril / 3 de Septiembre a las 11:00 am.  
Fuente: Propia, obtenida a partir del Programa Heliodon

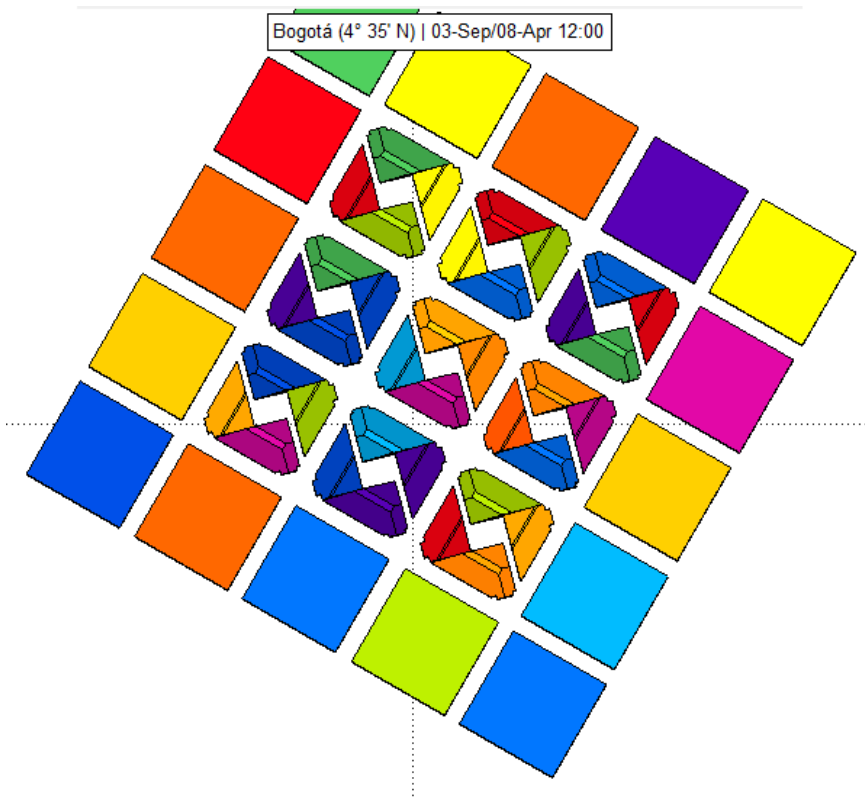


Figura 44. Comportamiento de la propuesta urbana para el 8 de Abril / 3 de Septiembre a las 12:00 m. Fuente: Propia, obtenida a partir del Programa Heliodon

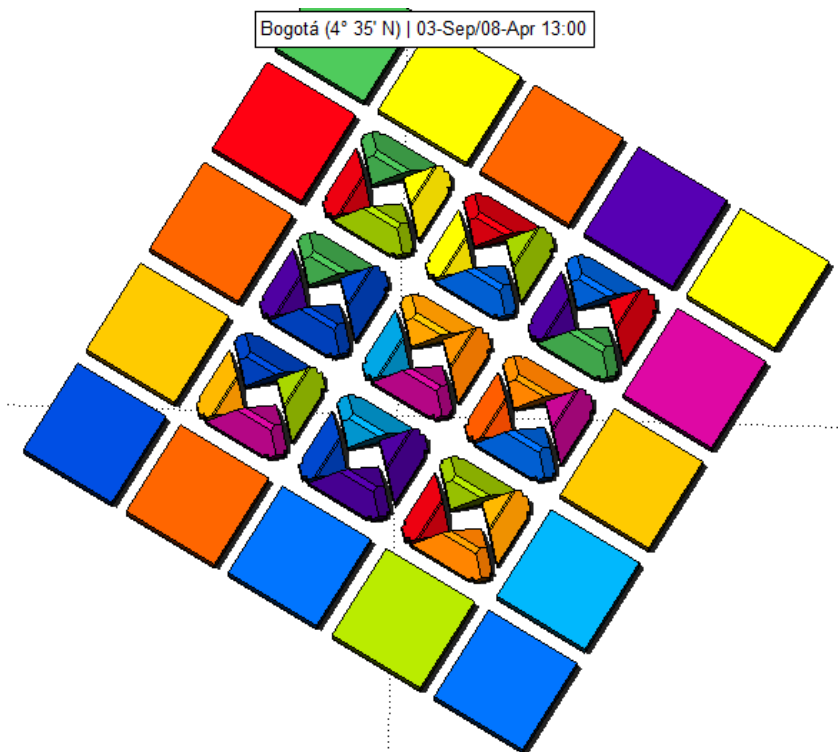


Figura 45. Comportamiento de la propuesta urbana para el 8 de Abril / 3 de Septiembre a las 13:00 Pm. Fuente: Propia, obtenida a partir del Programa Heliodon



Figura 46. Comportamiento de la propuesta urbana para el 8 de Abril / 3 de Septiembre a las 14:00 pm.  
Fuente: Propia, obtenida a partir del Programa Heliodon

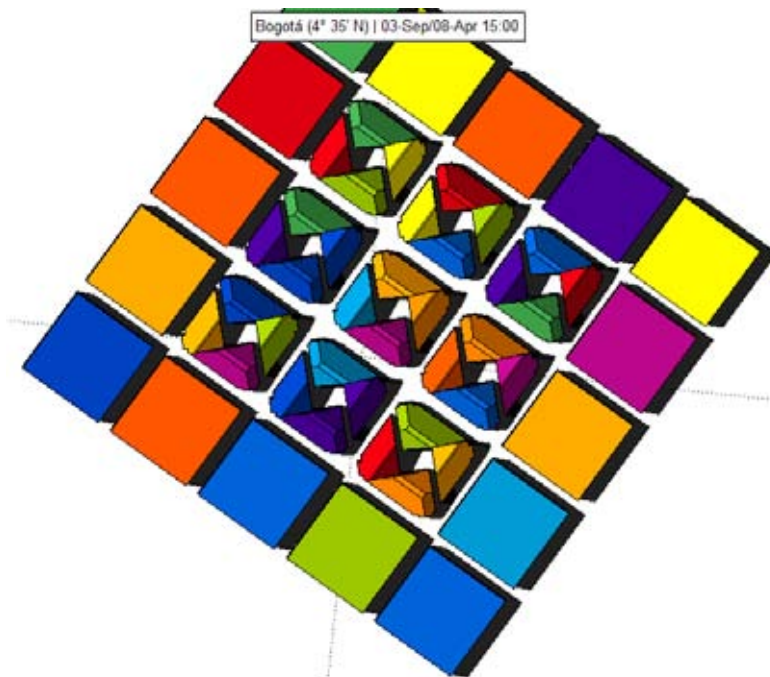


Figura 47. Comportamiento de la propuesta urbana para el 8 de Abril / 3 de Septiembre a las 15:00 pm.  
Fuente: Propia, obtenida a partir del Programa Heliodon

Este día inscrito en el periodo de lluvias en la ciudad de Bogotá, podemos observar que la geometría de la manzana tradicional de 5 plantas de alta (15 metros) a las 9:00 am y 15:00 pm no garantiza el acceso solar sobre andenes y fachadas de edificaciones. La propuesta urbana de 8 y 9 plantas (24 y 27 metros) que hace uso de las líneas de sección si garantiza el acceso solar tanto a todas las fachadas de edificios como a los andenes y patios durante el periodo estudiado.



## Comportamiento de la propuesta urbana 21 de Junio 9:00 am y 15:00 pm



Figura 48. Comportamiento de la propuesta urbana para el 21 de Junio a las 9:00 am. Fuente: Propia, obtenida a partir del Programa Heliodon



Figura 49. Comportamiento de la propuesta urbana para el 21 de Junio a las 15:00 pm. Fuente: Propia, obtenida a partir del Programa Heliodon

Para el solsticio de verano (latitud norte) la propuesta urbana provee de acceso solar tanto a todas las fachadas de edificios circundantes, como a los andenes en al menos un metro, en mañana y tarde. La manzana tradicional no garantiza el acceso solar ni para las edificaciones ni para las aceras

## Comportamiento de la propuesta urbana 21 de Septiembre 9:00 am y 15:00 pm

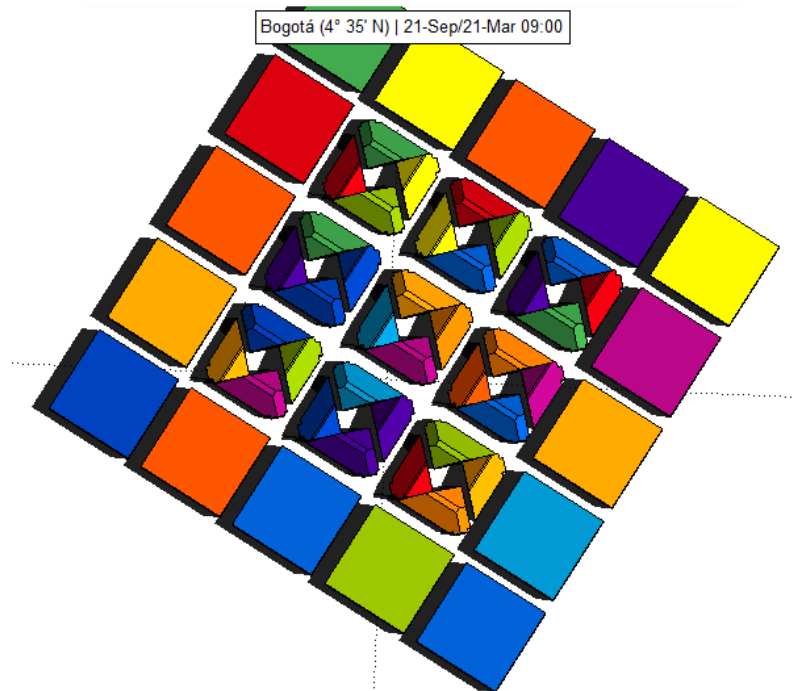


Figura 50. Comportamiento de la propuesta urbana para el 21 de Septiembre / 21 de Marzo a las 9:00 am.  
Fuente: Propia, obtenida a partir del Programa Heliodon

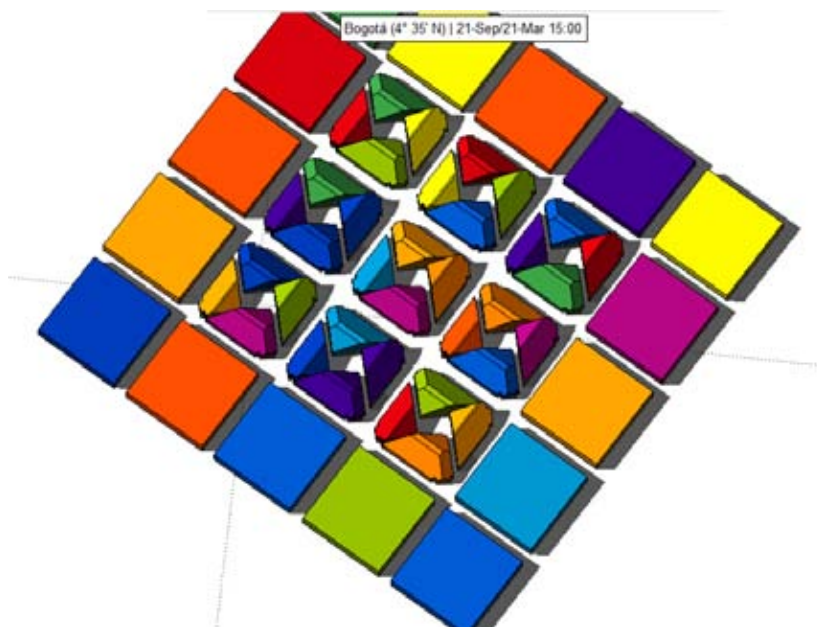


Figura 51. Comportamiento de la propuesta urbana para el 21 de Septiembre / 21 de Marzo a las 15:00 pm.  
Fuente: Propia, obtenida a partir del Programa Heliodon

Como se puede observar en este día de equinoccio la geometría de la manzana tradicional de 5 plantas de altura a las 9:00 am y 15:00 pm no garantiza el acceso solar sobre andenes y fachadas de edificaciones. En cambio, la propuesta urbana de 8 y 9 plantas realizada con las líneas de sección si garantiza el acceso solar tanto a las fachadas de edificios como a los andenes y patios durante el periodo estudiado.

## Comportamiento de la propuesta urbana 21 de Diciembre 9:00 am y 15:00 pm

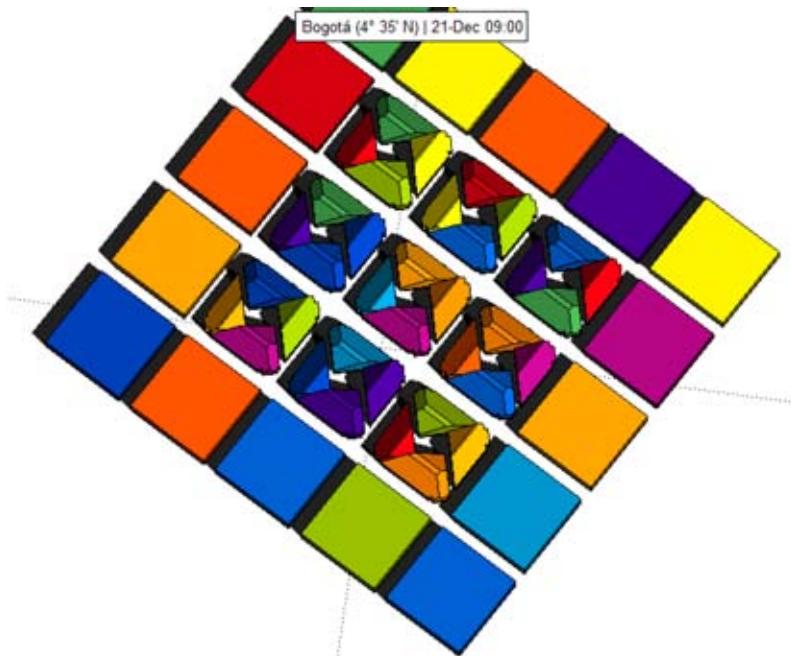


Figura 52. Comportamiento de la propuesta urbana para el 21 de Diciembre a las 9:00 am. Fuente: Propia, obtenida a partir del Programa Heliodon



Figura 53. Comportamiento de la propuesta urbana para el 21 de Diciembre a las 15:00 pm. Fuente: Propia, obtenida a partir del Programa Heliodon

Para el solsticio de invierno (latitud norte) la propuesta urbana provee de acceso solar tanto a todas las fachadas de edificios circundantes, como a los andenes en al menos un metro, en mañana y tarde. La manzana tradicional no garantiza el acceso solar ni para las edificaciones ni para las aceras.



## Comportamiento de la propuesta urbana 9 de Noviembre 9:00 am y 15:00 pm

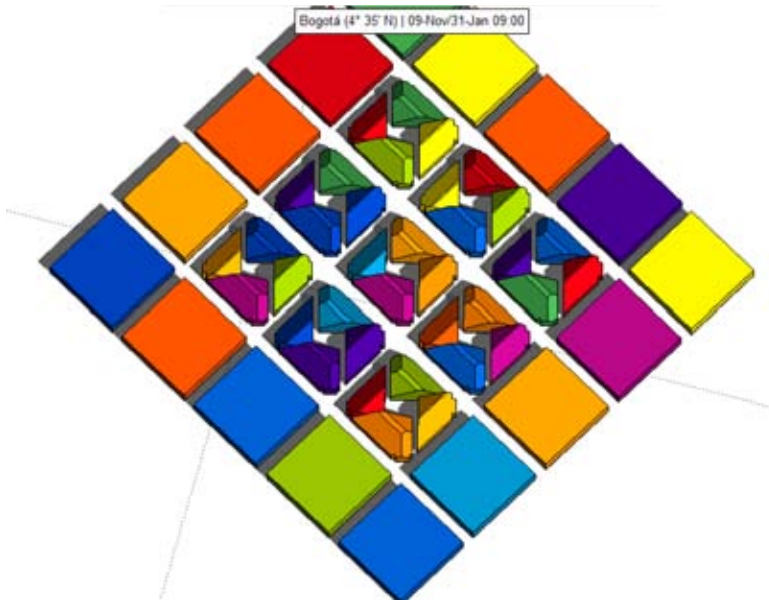


Figura 54. Comportamiento de la propuesta urbana para el 21 de Noviembre / 31 Junio a las 9:00 am. Fuente: Propia, obtenida a partir del Programa Heliodon

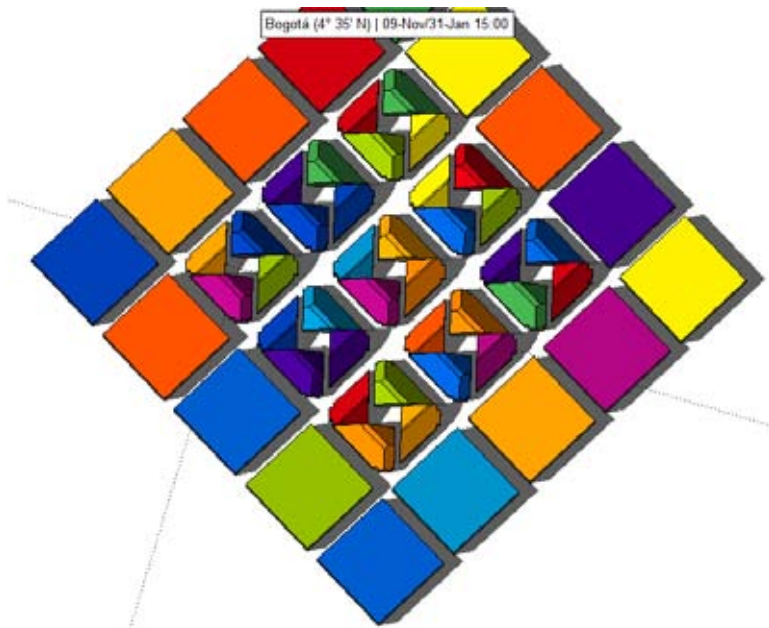


Figura 55. Comportamiento de la propuesta urbana para el 21 de Noviembre / 31 Junio a las 15:00 pm. Fuente: Propia, obtenida a partir del Programa Heliodon

Este día inscrito en el periodo de lluvias en la ciudad de Bogotá, podemos observar que la geometría de la manzana tradicional de 15 metros de altura a las 9:00 am y 15:00 pm no garantiza el acceso solar sobre andenes y fachadas de edificaciones. La propuesta urbana de 24 y 27 metros que hace uso de las líneas de sección si garantiza el acceso solar tanto a todas las fachadas de edificios como a los andenes y patios durante el periodo estudiado.



## Factor de cielo visible (svf) para los cruces de calles

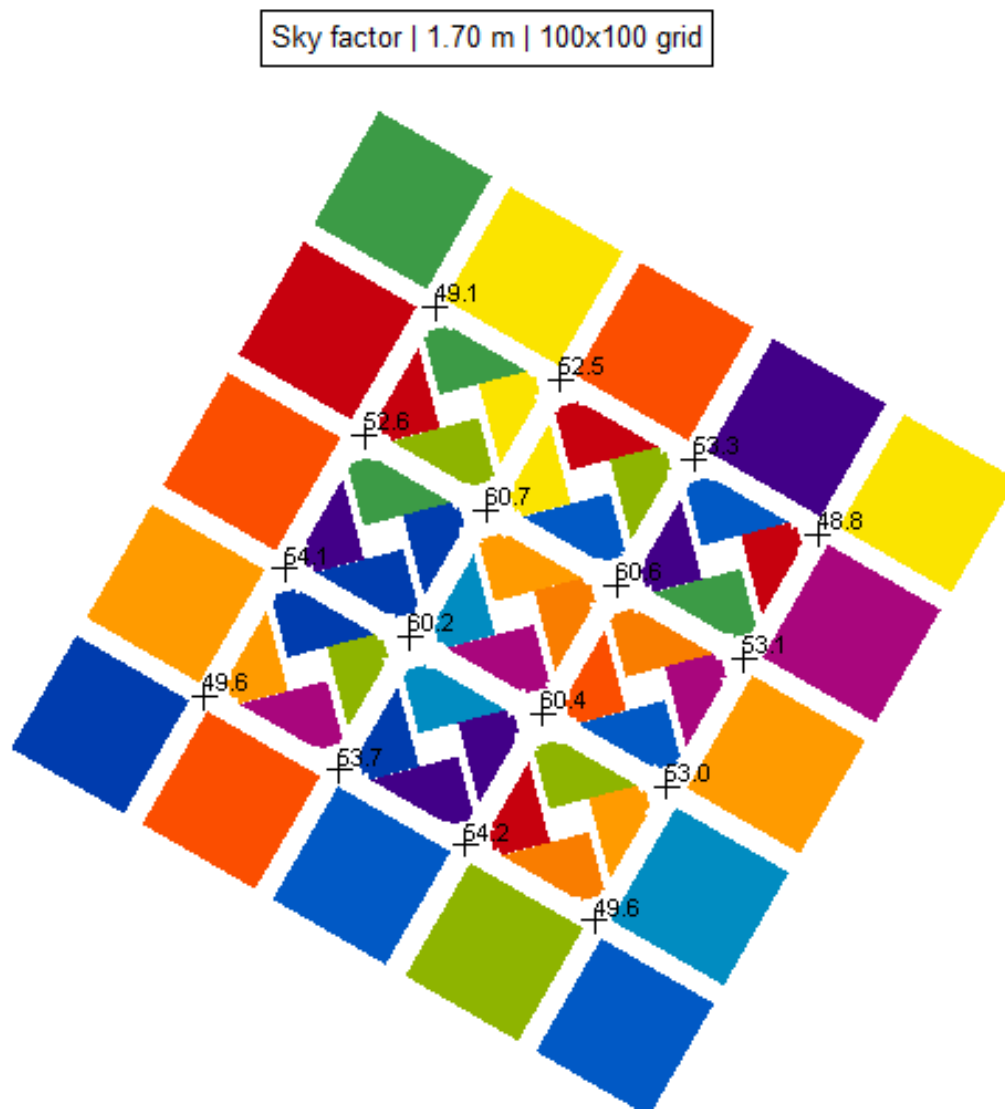


Figura 57. Factor de cielo visible para los cruces de calles. Fuente: Propia, obtenida a partir del Programa Heliodon

En el gráfico podemos observar que los valores más altos de factor de cielo visible se localizan en el centro de la propuesta urbana, cuando nos movemos a la manzana tradicional estos valores disminuyen entre un 7% y 12%.

## Aperturas al cielo

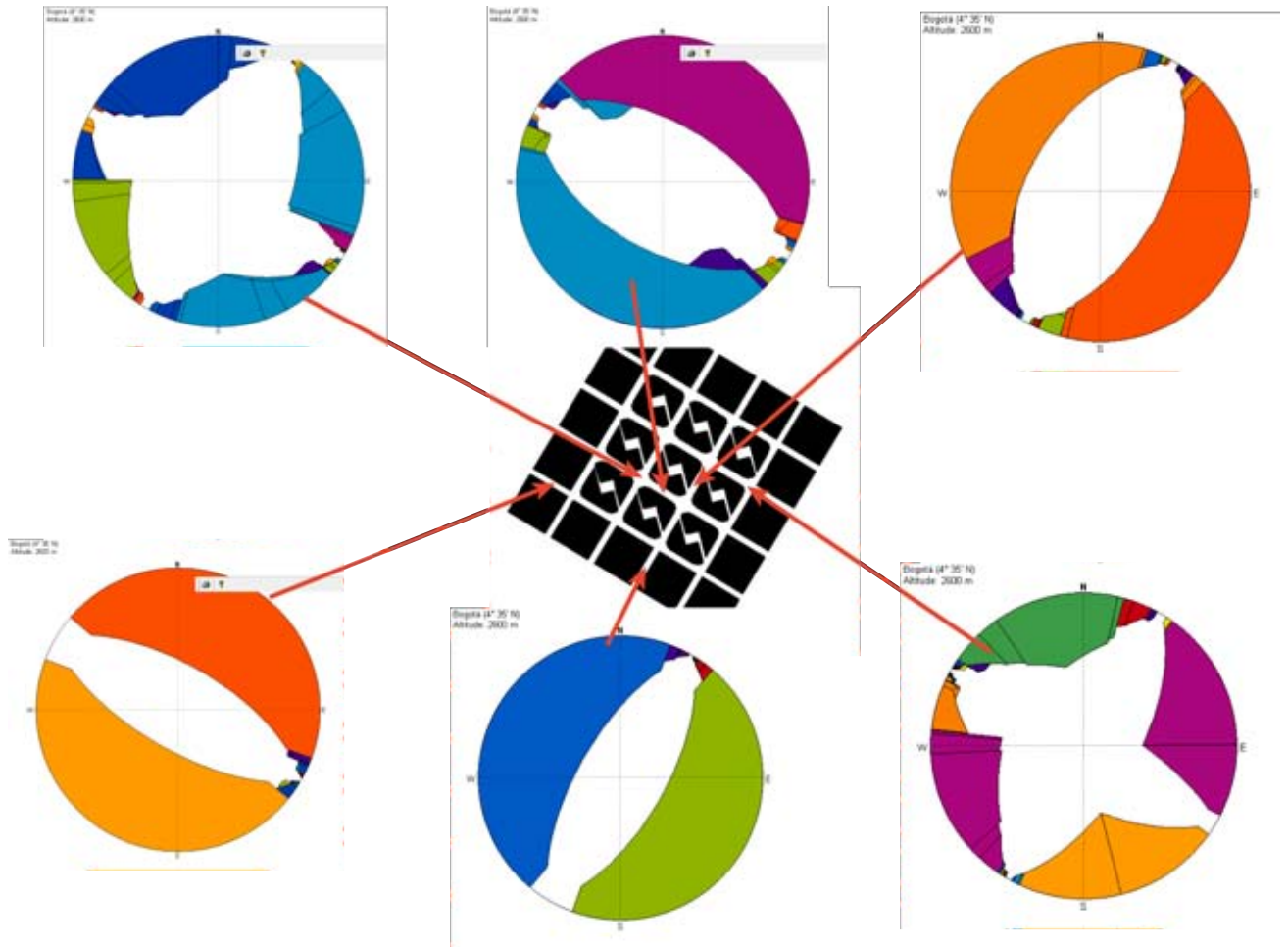


Figura 58. Comparación de las aperturas al cielo en las diferentes direcciones de calles. Fuente: Propia, obtenida a partir del Programa Heliodon

Como se puede observar en el gráfico las calles alrededor de la propuesta urbana poseen mayor apertura al cielo que las calles adjuntas a la manzana tradicional, esto debido a la aplicación de las líneas de sección en la geometría de los volúmenes .

## Horas de sol para las diferentes direcciones de calles

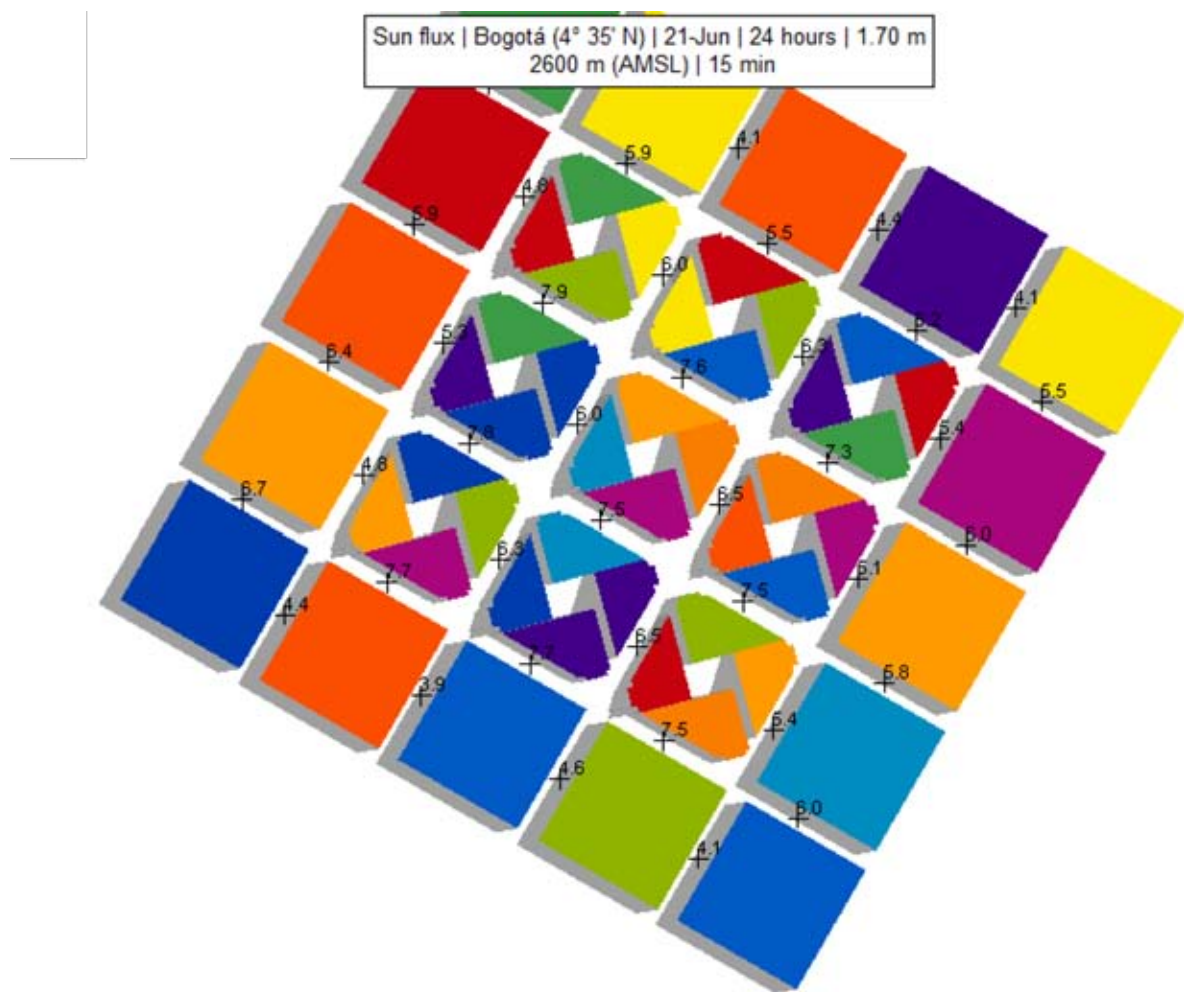


Figura 59. Horas de sol para las diferentes direcciones de calles. Fuente: Propia, obtenida a partir del Programa Heliodon

En el gráfico podemos observar que las calles con mayor cantidad de horas de sol se localizan en el centro y alrededor de la propuesta urbana, cuando nos acercamos a la manzana tradicional, las horas de sol para las calles adjuntas se reducen de 2 a 3 horas y un poco más. La dirección de la calle con más horas de sol es noroeste-sureste (7.9-7.5 horas)

## Factor de cielo visible para los patios internos

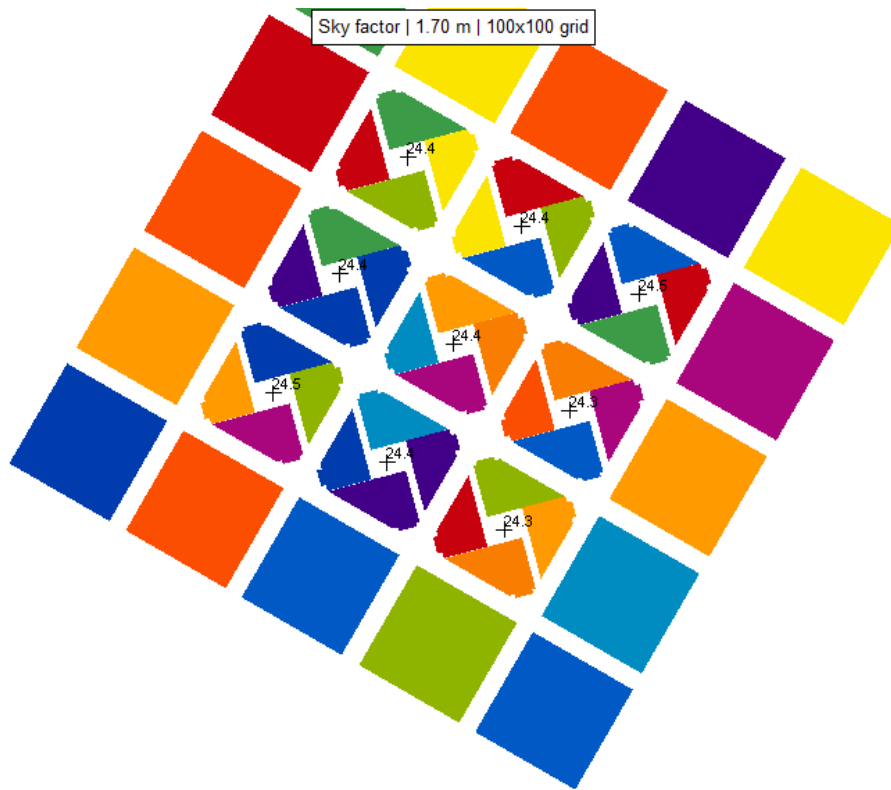


Figura 60. Factor de cielo visible para los patios internos. Fuente: Propia, obtenida a partir del Programa Heliodon

El factor de cielo visible para los patios internos generados por la propuesta, son análogos en todos los casos: 24%

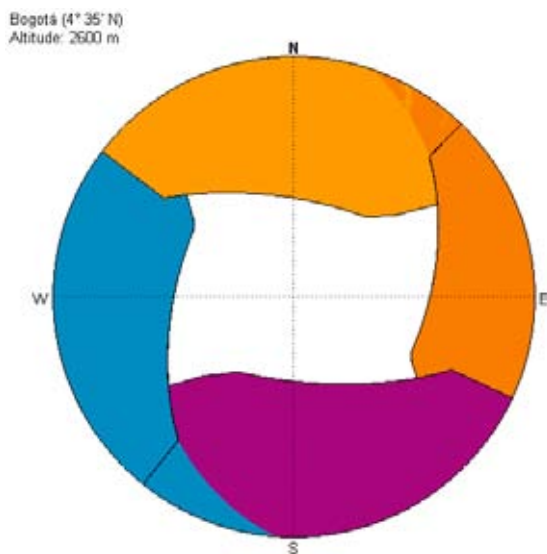


Figura 61. Apertura al cielo desde un patio central de manzana, proyección equivalente. Fuente: Propia, obtenida a partir del Programa Heliodon.

## Horas de sol para los patios internos

Sun flux | Bogotá (4° 35' N) | 21-Jun | 24 hours | 1.70 m  
2600 m (AMSL) | 15 min

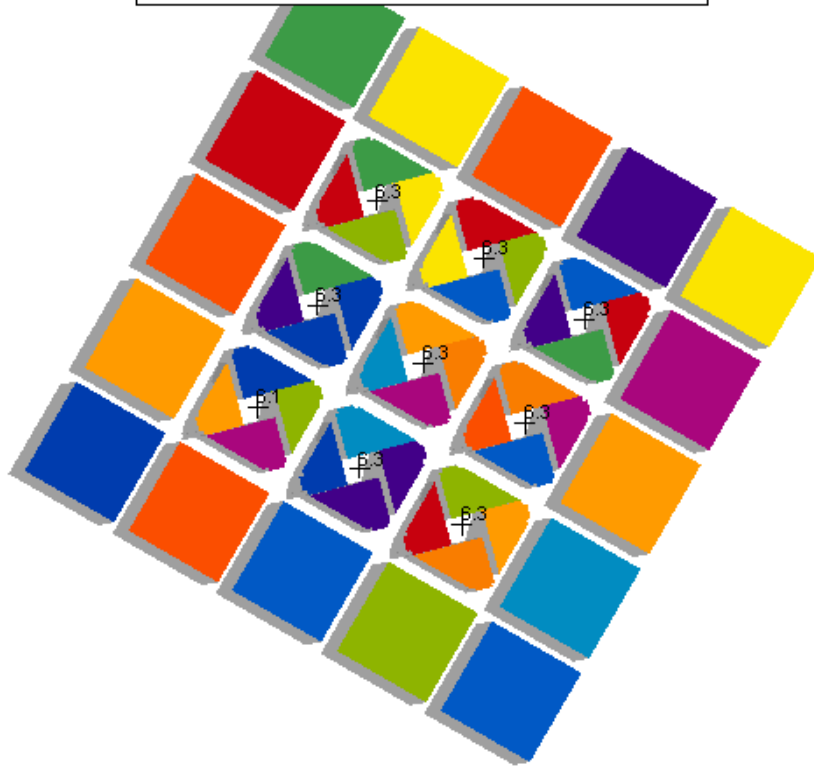


Figura 62. Horas del sol para los patios internos, 21 de Junio. Fuente: Propia, obtenida a partir del Programa Heliodon.

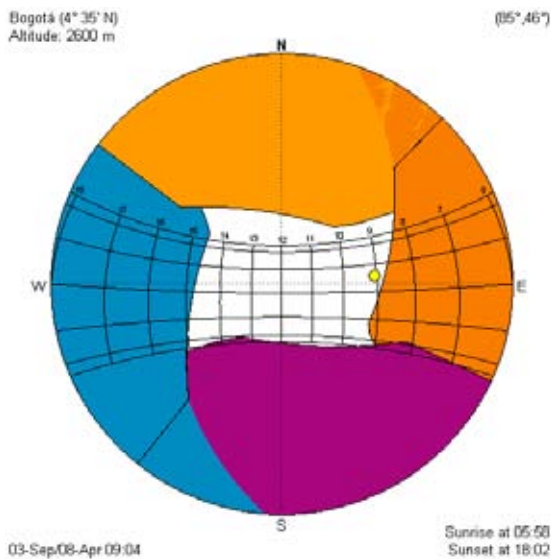


Figura 63. Horas de sol de un patio interior, proyección estereográfica.

Las horas de sol para los patios internos generados por la propuesta, son análogas en todos los casos: 6,3 horas de sol, garantizados por la geometría brindada por las líneas de sección.



## 2.8. Conclusiones de la segunda parte

Este trabajo presentó un método sencillo para implementar las regulaciones de acceso solar en las ciudades de Jerusalén, Israel (31,8° Norte) y Bogotá, Colombia (4,5° Norte), este método según lo expuesto es susceptible de aplicarse en cualquier ciudad del planeta.

El presente capítulo analizó el concepto de envolvente solar, con el objeto exponer una herramienta sencilla que pueda ser utilizada en el diseño arquitectónico y/o urbano para garantizar el acceso solar y los derechos solares sobre las edificaciones. Esta herramienta sencilla es: un conjunto de líneas de sección que definen la geometría de la envolvente solar, la cual como tiene como objeto mantener las horas de exposición solar necesarias en todas las orientaciones para garantizar el acceso solar y los derechos solares sobre las fachadas de las edificaciones y el espacio público: andenes, calles y parques.

Podemos concluir que la propuesta urbana para la ciudad de Bogotá basada en el Estudio de Normas Mínimas para la Urbanización (1971), garantiza el acceso solar y los derechos solares sobre todas las fachadas residenciales con orientación de este a oeste a través del sur y el norte, y la exposición de al menos 1 metro de andén (en un lado de la calle en el periodo más crítico del año), gracias a la aplicación de las líneas de sección y la envolvente solar.

Analizados los días inscritos en el periodo de lluvias en la ciudad de Bogotá, podemos concluir que la geometría de la manzana tradicional de 5 plantas de altura (15 metros) a las 9:00 am y 15:00 pm no garantiza el acceso solar sobre andenes y fachadas de edificaciones. La propuesta urbana de 8 y 9 plantas de altura (24 y 27 metros), la cual hace uso de las líneas de sección, sí garantiza el acceso solar tanto a todas las fachadas de edificios como a los andenes y patios durante el periodo estudiado.

El estudio comparativo entre las ciudades de Jerusalén, Israel (31,8° Norte) y Bogotá, Colombia (4,5° Norte), confirma que el diseño urbano guiado por las líneas de sección garantiza el acceso solar y los derechos solares en edificaciones y espacio público, además con el empleo de estas líneas de sección se pueden lograr mayores alturas para la configuración de manzanas, como lo demostrado en la ciudad de Bogotá.

Con el objeto de complementar el estudio comparativo y contar mirada adicional a la de la radiación directa se realizó un estudio de horas de sol y de factor de cielo visible para las calles tradicionales, las nuevas calles y los patios generados por la propuesta urbana.

El resultado muestra que la propuesta urbana que hace uso de las líneas de sección mejora el factor de cielo visible para las calles entre un 12% y 17% en comparación con la calle tradicional. Los patios internos cuentan con un factor de cielo visible análogo en todos los casos 24%. Las horas de sol para las calles de la propuesta urbana para la ciudad de Bogotá también muestra un aumento de 2 a 3 horas en comparación con la calle tradicional. En todos los patios internos se cuentan con 6,3 horas de sol garantizados por la geometría brindada por las líneas de sección.

### 3. Bibliografía:

Beckers, B. (2012). *Solar energy at urban scale*. London, Editorial Wiley-ISTE.

Beckers, B. (2007). *Interpretación geométrica de la luz del cielo en el proyecto de arquitectura*. GSU Department Compiègne University of Technology, France. [en línea][consulta: 19 junio 2014] Disponible en: [http://www.heliodon.net/downloads/Beckers\\_2007\\_Helio\\_002\\_es.pdf](http://www.heliodon.net/downloads/Beckers_2007_Helio_002_es.pdf)

Beckers, B. & Beckers P. (2008, septiembre). *Optimization of daylight in architectural and urban projects*. Comunicación presentada en: Second International Conference on Multidisciplinary Design Optimization and Applications, Guijón, España.

Bosselmann, P., Arens, E., Dunker K., & Wright R. (1995). *Urban Form and Climate: Case Study*, Toronto. Journal of the American Planning Association, Vol. 61, No.2 , Spring.

Butti, K. (1980). *A Golden thread : 2500 years of solar architecture and technology*. Palo Alto : Cheshire Books ; New York : Van Nostrand Reinhold.

Capeluto, G., Yezioro, A., Bleiberg, T. & Shaviv, E., (2005, Agosto). *From computer models to simple design tools: solar rights in the design of urban streets*. Comunicación presentada en: Ninth International IBPSA Conference. Montréal, Canada

Capeluto, G., Yezioro, A., Bleiberg, T. & Shaviv, E. (2006, septiembre). *Solar Rights in the Design of Urban Spaces*. Comunicación presentada en: The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland.

Cárdenas, L., & Uribe, P. (2012). *Acceso solar a las edificaciones: El eslabón pendiente en la legislación urbanística chilena sobre la actividad proyectual*. *Revista de Urbanismo*, 14 (26), Pág. 21-42. doi:10.5354/0717-5051.2012.20922

De Decker, K. (2012). *The solar envelope: how to heat and cool cities without fossil fuels*. Publicado en Low-tech Magazine. [en línea][consulta: 25 junio 2014] Disponible en: <http://www.lowtechmagazine.com/2012/03/solar-oriented-cities-1-the-solar-envelope.html>

Edwards, B. (2008). *Guía básica de la sostenibilidad*. Barcelona. Ed. Gustavo Gili.

Knowles, R. (1974). *Energy and Form*. Massachusetts and London, England. MIT Press.

Knowles, R. (1999). *The Solar Envelope*. California, USA. University of Southern California. [en línea][consulta: 19 mayo 2014] Disponible en: [http://www-bcf.usc.edu/~rknowles/sol\\_env/sol\\_env.html](http://www-bcf.usc.edu/~rknowles/sol_env/sol_env.html)

Lecea, D. (2010). *Impacto Solar en la Escala Urbana*. Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España.

Littlefair, P. (1998). *Passiv solar urban design: ensuring the penetration of solar energy into the city*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* , Vol 2, 303 -326.

Mardaljevic, J. (2005). Quantification of urban solar Access. En M. Jenks & N. Dempsey. (Ed.), *Future forms and design for sustainable cities*. Págs 371-391. Oxford: Architectural Press

McCann, C. (2008). *A Comprehensive Review of Solar Access Law in the United States*. Florida. Ed., Florida Solar Energy Research and Education Foundation

Morello, E. & Ratti, C. (2008). *Sunscapes: 'solar envelopes' and the analysis of urban DEMs*. Massachusetts Institute of Technology. [en línea] [consulta: 25 junio 2014]. Disponible en: [http://senseable.mit.edu/papers/pdf/2008\\_Morello\\_Ratti\\_Journal%20of%20Computers%20and%20the%20Environment.pdf](http://senseable.mit.edu/papers/pdf/2008_Morello_Ratti_Journal%20of%20Computers%20and%20the%20Environment.pdf)

Muller, H. (2009). *Solar Access: Recommendations for the City and County of Denver*. [en línea][consulta:19 mayo 2014] Disponible en: [http://www4.eere.energy.gov/solar/sunshot/resource\\_center/sites/default/files/solar\\_access\\_recommendations\\_city\\_and\\_county\\_of\\_denver.pdf](http://www4.eere.energy.gov/solar/sunshot/resource_center/sites/default/files/solar_access_recommendations_city_and_county_of_denver.pdf)

Partonen, T. & Pandi-Perumal, S.R. (2010). *Seasonal Affective Disorder*. Practice and Research. London. Ed., Oxford University Press.

Samper, G., López A., Forero, J., Galvis, A. & Charry, G. (1971). *Estudio de Normas Mínimas para la Urbanización*. Bogotá. Revista Escala N° 65.

Shaviv, E., Capeluto G., Yezioro, A., Becker R. & Warszawski, A. (2002). *Thermal Performance of Buildings and the Development of Guidelines for Energy Concious Design, Part A – Residential buildings (In Hebrew)*. Sponsored by the Ministry of National Infrastructures.

Shaviv, E., Yezioro, A. & Capeluto G. (2003) *Climatic and Energy Aspects of Urban Design in a Hot-Humid Region of Israel*, (In Hebrew). Publication: MONI-RD-17-03, 296p.

Zambrano, P. (2013). *Control solar e iluminación natural en la Arquitectura: Dispositivos de control solar fijos en clima semicálido-subhúmedo*. Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España.

## **Páginas consultadas**

<http://vistasaluniverso.blogspot.com/2011/10/el-solla-luz-de-la-vida-y-sus-manchas.html>

<http://www.astronoo.com/es/sol.html>

[http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/38/html/sec\\_11.html](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/38/html/sec_11.html)

<http://www.profesorenlinea.cl/fisica/Luz.htm>

<http://naturalmenteciencias.wordpress.com/2011/11/14/por-que-la-clorofila-no-absorbe-el-color-verde/>

[http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro\\_visible](http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_visible)

<http://www.legiophotos.com/2011/12/mejorando-nuestras-fotos-vii-la-luz.html>

<http://www.resilience.org/stories/2012-03-26/solar-envelope-how-heat-and-cool-cities-without-fossil-fuels>

<http://senseable.mit.edu/papers/>

[http://www.fq.uh.cu/dpto/qo/materiales/vidrio/files/Historia\\_aplicaciones\\_vidrio\\_plano.pdf](http://www.fq.uh.cu/dpto/qo/materiales/vidrio/files/Historia_aplicaciones_vidrio_plano.pdf)

<http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/amvaz.html>

[http://www.ecured.cu/index.php/Radiaci%C3%B3n\\_solar](http://www.ecured.cu/index.php/Radiaci%C3%B3n_solar)

<http://www-bcf.usc.edu/~rknowles/>

<http://www.eugenimorello.eu/>