



LUZ / MATERIA

**Estrategias proyectuales para la iluminación
de espacios arquitectónicos**

Rafael Villazón
Andrés Pinzón
Andrés Sánchez
David Rodríguez



LUZ / MATERIA

**Estrategias proyectuales para la iluminación
de espacios arquitectónicos**



Universidad de los Andes

PABLO NAVAS SANZ DE SANTAMARÍA – Rector

Facultad de Arquitectura y Diseño

HERNANDO BARRAGÁN – Decano

Departamento de Arquitectura

CLAUDIA MEJÍA – Directora

Facultad de Arquitectura y Diseño

Carrera 1ª núm. 18 A - 10, Bloque K1, piso 3

Tel.: (571)332 4512 - 339 4949 Ext. 2480

Bogotá, D.C. (Colombia)

<http://arquitectura.uniandes.edu.co>

<http://design.uniandes.edu.co/>

LUZ / MATERIA

**Estrategias proyectuales para la iluminación
de espacios arquitectónicos**

Rafael Villazón Godoy
Andrés Norberto Sánchez
David Felipe Rodríguez
Andrés Pinzón Latorre

Villazón Godoy, Rafael Enrique

Luz/materia: estrategias proyectuales para la iluminación de espacios arquitectónicos / Rafael Villazón, Andrés Augusto Pinzón Latorre, Andrés Norberto Sánchez Caicedo, David Felipe Rodríguez Vargas. -- Bogotá: Universidad de los Andes, Facultad de Arquitectura y Diseño, Departamento de Arquitectura, Ediciones Uniandes, 2017.

256 páginas: ilustraciones; 22 x 30 cm.

ISBN 978-958-774-604-4

1. Luz en arquitectura I. Pinzón Latorre, Andrés Augusto II. Sánchez Caicedo, Andrés Norberto III. Rodríguez Vargas, David Felipe IV. Universidad de los Andes (Colombia). Facultad de Arquitectura y Diseño. Departamento de Arquitectura V. Tít.

CDD 729.28

SBUA

Primera edición: enero del 2018

© Universidad de los Andes
Facultad de Arquitectura y Diseño
Departamento de Arquitectura

Ediciones Uniandes
Carrera 1.ª núm. 19-27, edificio Aulas 6, piso 2
Tel.: (571) 339 4949. Ext. 2133
Bogotá, D. C. (Colombia)
<http://ediciones.uniandes.edu.co>
infeduni@uniandes.edu.co

© UMR AAU - équipe CRENAU
(Centre de Recherche Nantais Architectures Urbanités)
Ministère de la Culture et la Communication
CNRS, École Centrale de Nantes
École Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes

AUTORES

© Rafael Villazón, Andrés Pinzón,
Andrés Sánchez y David Rodríguez

CORRECCIÓN DE TEXTO

Ikaro Valderrama

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

Angélica Ramos y Adriana Páramo
Taller de Medios de la Facultad de Arquitectura y Diseño

IMAGEN DE CUBIERTA

David Rodríguez

ISBN 978-958-774-604-4

IMPRESIÓN

Javegraf
Calle 46A núm. 82-54, interior 2
Tel.: (571) 416 1600

Impreso en Colombia - *Printed in Colombia*

Todos los derechos reservados. Esta publicación no puede ser reproducida ni en su todo ni en sus partes, ni registrada en o transmitida por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sea mecánico, fotoquímico, electrónico, magnético, electro-óptico, por fotocopia o cualquier otro, sin el permiso previo por escrito de la editorial.

Universidad de los Andes | Vigilada Mineducación.
Reconocimiento como universidad: Decreto 1297 del 30 de mayo de 1964.
Reconocimiento de personería jurídica: Resolución 28 del 23 de febrero de 1949, Minjusticia. Acreditación institucional de alta calidad, 10 años: Resolución 582 del 9 de enero del 2015, Mineducación

Presentación	7
Prólogo. Pintar la luz del sol	
Por: Fabio Restrepo Hernández	8
Introducción	20
Capítulo I.	
FÍSICA DE LA LUZ	27
Naturaleza de la luz	29
Fenómenos físicos	30
Reflexión simple	30
Reflexión total	32
Absorción	32
Conceptos y magnitudes	34
Paso 1: ¿Qué es un ángulo sólido?	35
Paso 2: ¿Qué es el flujo luminoso (F)?	36
Paso 3: ¿Qué es la intensidad luminosa?	39
Paso 4: ¿Cómo se relacionan el flujo luminoso (F) y la intensidad luminosa (I)?	39
Paso 5: ¿Qué es la iluminancia?	40
Ejercicio de aplicación	43
Conceptos funcionales	46
La visión	46
Capítulo II.	
ARQUITECTURA, LUZ NATURAL Y EFICIENCIA LUMÍNICA	53
El sol	55
El movimiento aparente del sol	56
Principio de funcionamiento del girasol	57
Posición del sol para un instante determinado	61
La salida del sol y la duración del día	61
Aplicación geométrica de los datos obtenidos del girasol	61

Diseño de dispositivos de iluminación natural	73
Relaciones geométricas en un espacio	75
Proporciones de los vanos	78
Funcionamiento de vanos	83
Dispositivos de iluminación lateral	84
Dispositivos de iluminación cenital	97
Análisis de dispositivos de iluminación natural cenital	110
Iluminación con luz natural indirecta	149
Diseño de atrios, patios de luz, reentrantes y control solar	149
Control solar y dispositivos de sombreado	159

Capítulo III.

ILUMINACIÓN ARTIFICIAL 181

Conceptos generales	183
Temperatura del color	184
Iluminancia y necesidades lumínicas del espacio	186
Luz natural y luz artificial	187
Factor de luz natural (<i>FLN</i>)	188
Iluminación artificial	189
Definición de caso de estudio	189
Sistemas de control	224
Control manual	226
Control por presencia	226
Control por nivel de intensidad de iluminación o iluminancia natural	228
Control automatizado	228
Conclusión	231

ANEXOS 233

Glosario	235
Bibliografía	243

Esta publicación hace parte de la colección de libros de texto del Departamento de Arquitectura de la Universidad de los Andes, iniciada hace varios años precisamente con la primera versión de este libro. Esta colección surgió a partir del interés que tenían los profesores de contar con textos de apoyo para los cursos del programa y, en este sentido, está dirigida específicamente a estudiantes de arquitectura, sin dejar de resultar útil para arquitectos en ejercicio.

No puede decirse que este texto corresponda exactamente a una segunda edición del libro titulado *Eficiencia lumínica*. Ciertamente, esta nueva publicación presenta un enfoque diferente, al incorporar aspectos que anteriormente no estuvieron contemplados, de tal manera que se convierte en una herramienta fundamental y completa para reforzar los contenidos técnicos alrededor del tema de la iluminación en arquitectura.

Desde el primer capítulo los autores se esfuerzan en recordarle al lector —y específicamente a los arquitectos en formación—, la importancia del dominio de la luz como materia prima, para la generación y definición de la forma en arquitectura. El lenguaje utilizado a lo largo del texto, a pesar de manejar conceptos y contenidos de carácter científico, resulta elemental y adecuado para los estudiantes. Dichos contenidos, que en algunas partes se

desarrollan a la manera de manual técnico, proponen una visión sencilla y práctica de la lógica de la iluminación en arquitectura.

Este libro resulta muy útil para el programa de Arquitectura de la Universidad de los Andes, por cuanto allí creemos que los estudiantes —luego de su paso por los diferentes cursos y temas—, deben ser competentes en el manejo de los conceptos científicos y técnicos, y de las herramientas útiles para proyectar una arquitectura que incorpora la luz natural como parte fundamental de su concepción. Adicionalmente, esta obra suministra los conceptos clave y propone estrategias proyectuales para la utilización de la iluminación artificial en correcta interacción con la natural, para lograr la mayor eficiencia y desempeño energético de la edificación.

Por último, es importante destacar el interés subyacente en todo el texto, relativo a generar un clima de reflexión alrededor de la importancia que tiene aprovechar de manera conveniente la luz natural. En efecto, esta se presenta por un lado como medio útil para la generación y materialización de la arquitectura —que no solo sirve sino también emociona—, y por otro como parte de aquellos recursos cuyo uso se debe privilegiar por encima de aquellos que generan mayores y más nocivos impactos en el medio ambiente.

Camilo Villate Matiz

Director (2014-2017)

Departamento de Arquitectura

Universidad de los Andes



Figura 1. *Habitaciones junto al mar*, Edward Hopper, 1951.
Fuente: Yale University Art Gallery.



Figura 2. *Mañana en Cape Cod*, Edward Hopper, 1950.
Fuente: Smithsonian American Art Museum.



Figura 3. Convento de Santa María de la Tourette, Éveux, Le Corbusier, 1953.
Fuente: fotografía de Fabio Restrepo.

Pintar la luz del sol

Por: Fabio Restrepo Hernández

En una ocasión, Edward Hopper le confesó a Lloyd Goodrich que su único gran deseo era “pintar la luz del sol en la pared de una casa” (Renner Rolf 1991, 15). Y aunque lo intentó durante toda su vida, nunca lo logró.

Es verdad que la luz entraba por la enorme puerta que él siempre dejaba abierta, como una trampa al acecho, y una vez dentro, ella recorría libremente el muro que separaba las habitaciones, bajaba al piso amarillento y luego repasaba lentamente las texturas de los pocos objetos que allí se encontraban; dando señales del material en que estaban hechos y del tiempo que llevaban ahí, abandonados y solitarios.

Era tal la precisión del dibujo, que para cualquier espectador, luego de una mirada atenta, no sería difícil determinar la hora en que esto sucedía, calcular su duración, repasar el camino seguido por la luz, e incluso sentir la temperatura de la atmósfera al interior de la habitación. Todas estas apreciaciones son evidencias de un realismo que sería necio no considerar como certeza del éxito de Hopper en su intento por capturar la luz en el cuadro.

Pero lo cierto es que la luz al final siempre escapaba, sin prisa, de una forma casi imperceptible, hasta abandonar el lugar. Hopper sólo alcanzaba a plasmar la imagen de un instante de luz sobre la pared. Sin embargo, un instante no es suficiente para capturar su naturaleza, es apenas una parte. Y seguramente a él le irritaba ese gesto de tener que congelar el momento en los colores de la pintura, porque sólo así era posible la aprehensión de la luz, pero al mismo tiempo era sólo un recuerdo, una cosa del pasado. De nada le serviría tampoco dibujar el horizonte, ni convertir la habitación en una especie de nave a la deriva en medio del océano. El encuentro del cielo y el mar trazaba un horizonte que sin duda marcaba el camino de salida y regreso del sol, pero no de la presencia de la luz, pues esta línea era apenas un presagio de futuro, y el gesto del sol apenas simulaba el gesto del pincel, dispuesto también a repetirse indefinidamente.

Al final, Hopper, en contra de su voluntad, terminaba claudicando; no sin antes prometerse intentar de nuevo y enfrentar el pedazo de lienzo que se empeñaba en registrar tan solo un fragmento de las formas de cada una de las cosas del mundo que él intentaba plasmar. La derrota le recordaba que al final las formas son siempre más fuertes que su imagen.

No obstante, a fuerza de repetirse terminó comprendiendo que capturar la luz dependía de un hecho previo y necesario: la existencia de una pared. La existencia de la pared inauguraba la posibilidad de la pintura: por lo tanto la arquitectura era anterior a la pintura, y su oficio era ser pintor y no arquitecto. Desde entonces sus cuadros guardaron silencio y se convirtieron en una obsesión por plasmar construcciones: casas, graneros, faros, habitaciones; hasta llegar a esos mínimos lugares de encuentro, esas pequeñísimas fronteras en donde todo se hacía evidente: las puertas y las ventanas. Frente a ellas siempre disponía unos personajes que prolongaban el misterio, enfrentados a una transparencia impenetrable, con la mirada perdida y fija en el exterior, aludiendo al fracaso de su primera intención. Un fracaso desde el comienzo, porque Hopper buscaba en el origen de la pintura el secreto de la luz.

Cuenta la leyenda que Dibutade, una mujer corintia hija de un alfarero, dibujó en una pared el contorno del rostro del ser amado, para no olvidar nunca la imagen de su amor. Si bien la permanencia de aquella silueta garantizaba el recuerdo, el dibujo no era sino la otra cara de la luz que la había hecho posible. Y el recuerdo dependía de la duración de la pared sobre la cual fue grabado. En el fondo esta sombra era tan frágil como la que proyectaba la luz del sol. Sin embargo, desde entonces la relación entre la arquitectura y la pintura ha sido indisoluble, y este vínculo explica por qué tantos arquitectos —Le Corbusier, Asplund, Kahn, Rossi— antes que arquitectos, quisieron primero ser pintores.



Figura 4. Ruinas del Asclepeión, Pérgamo, s. IV a.C.
Fuente: fotografía de Fabio Restrepo.



Figura 5. Cúpula de la antigua Mezquita de Edirne,
Turquía.
Fuente: fotografía de Fabio Restrepo.

¿Pero, cómo comenzó todo? ¿Qué nos queda del deseo de Hopper?

Una primera pared que se levanta verticalmente sobre el plano horizontal de la tierra y recibe la luz del sol. Luz que determina la forma. La pared es el lugar de encuentro entre la luz y la materia. El encuentro de la luz que emana del cielo y de los materiales que provienen de la tierra. El encuentro que se hace visible en la superficie de la pared y en la sombra proyectada.

El movimiento de la sombra imita el movimiento solar, movimiento al que terminaremos llamando tiempo. El espacio, en su origen, también era un asunto de tiempo. Se refería a la distancia que había entre un punto y otro, y a la duración del recorrido entre ambos. De ello quedan rastros en la palabra “de-espacio”.

La construcción de la pared va precedida de un trazo sobre la superficie de la tierra, un gesto que rasga la tierra, cavándola a cierta profundidad para garantizar la estabilidad. La inmovilidad de la pared obliga a las sombras a seguir fielmente su propio recorrido. De esta manera, las paredes y luego la casa quedan orientadas con respecto al movimiento del sol y de la luna, formando parte de un mecanismo que permite la previsión y el cálculo.

Antes de la pared no hay espacio ni tiempo. Una vez construida, la pared orienta a los hombres con respecto a los astros y les permite medir las distancias y trazar los caminos. Aquí aparece, de nuevo, la silenciosa sospecha de Hopper: sin la arquitectura no hay luz, pero a su vez, sin la luz no hay arquitectura.

Por esta razón la arquitectura es en cierto sentido la técnica más original del hombre, porque inaugura el tiempo y el espacio de lo humano, poniendo en relación la bóveda celeste y la solidez de la tierra, entre los cuales habitamos. Del arquitecto depende entonces que este encuentro se materialice y que, por tanto, la luz y la materia aparezcan. El muro construido da cuerpo a la luz del sol, y la luz del sol da forma a la tierra de la que está hecho el muro.

Por otra parte, el cuidado de esta relación sustenta la disposición adecuada de cada una de las paredes de la arquitectura, el grado de luminosidad que penetra en un espacio, la temperatura que lo alberga, la consistencia de las cosas que lo ocupan y la conciencia del ritmo del tiempo que pasa.

¿Pero, cómo fue ese primer encuentro de la luz y la arquitectura?

En un comienzo la luz llevó al hombre a levantar los ojos al cielo y a abandonar la monotonía rastrera de la tierra, irguiendo su cuerpo y liberando sus manos. Los gestos vocales y los trazos fijados en la materia dieron lugar a la expresión y al habla, tejiendo un manto simbólico sobre el mundo.

Las observaciones arqueológicas nos autorizan a emparentar, a partir del paleolítico superior, los fenómenos de inserción espacio-temporal al dispositivo simbólico en donde el lenguaje es el instrumento principal; ellos corresponden a una verdadera toma de posesión del tiempo y del espacio por intermedio de símbolos, a una domesticación en el sentido más estricto pues llegan a la creación, en la casa y partiendo de la casa, de un tiempo y de un espacio medibles. (Leroi-Gourhan 1964, 140)

Más tarde, la observación de la bóveda celeste fue encargada a sacerdotes y augures. De su destreza dependía una correcta fundación de la ciudad y el buen destino de la comunidad que se asentaría en ella. El reflejo de lo celeste en la superficie terrestre indicaba la estructura secreta sobre la cual determinar la construcción de la ciudad. El *cardus* y el *decumanus* prolongaban las sombras del movimiento solar, garantizando una correspondencia entre el cosmos y la producción artificial del hombre. Así la ciudad sería una analogía del mecanismo celeste.

Los hombres protohistóricos “sentían” la dependencia de la Tierra del cielo. Evidentemente, también veían la dependencia real, material; estaciones, lluvias, vientos, sequía. Y el cielo era el rostro enigmático de los Dioses y del destino. Por eso lo escudriñaban con tanto afán. El cielo velaba y revelaba a un tiempo el acontecer de lo divino, lo divino que, además, era lo incomprensible. El cielo era el gran Signo. En particular los astros eran los signos, las constelaciones que desvelaban los contornos del cielo. De ahí la oposición fundamental y primordial de tantas cosmologías: luz-tinieblas. Caos profundo de la noche —cuando las noches eran noches. Oscuridad inmensa e impenetrable que sólo se podía arañar con la luz de las antorchas—, y luz del día reveladora de las formas (de los significados). (Sini 1989, 92)

Observar el cielo era un asunto muy delicado que requería de grandes esfuerzos. Ya que, de la lectura e interpretación de los signos enviados por los dioses, pendía el delicado equilibrio que derrotaba el caos anterior.

De la contemplación del cielo nació el asombro y de éste la filosofía. En Grecia, Pitágoras y Anaxágoras, interrogados sobre la razón de la existencia, respondían que no había asunto más digno y de mayor importancia que contemplar el cielo y los astros:



Figura 6. Reloj solar dibujado por los jesuitas en la escalera del Liceo Stendhal, Grenoble, 1673.
Fuente: fotografía de Fabio Restrepo.



Figura 7. Capilla superior de la Sainte-Chapelle, París, 1241.
Fuente: fotografía de Fabio Restrepo.

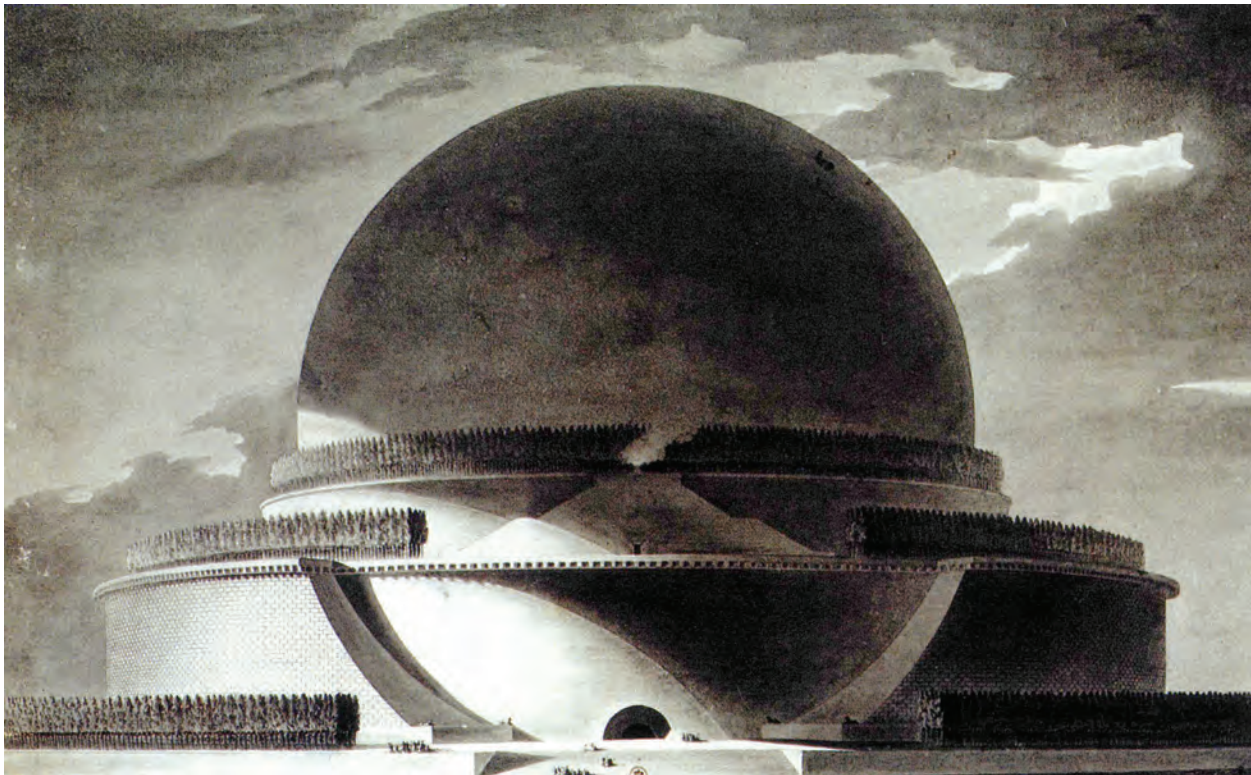


Figura 8. Cenotafio para Newton, Étienne-Louis Boullée, 1784.
Fuente: Gössel, 1991.

¿Cuál es, entonces, el fin para el cual la naturaleza y Dios nos han generado? Preguntado sobre ello, Pitágoras contestó: “Observar el cielo”, y solía decir que él era alguien que especulaba sobre la naturaleza y que con ese fin había venido al mundo. Y dicen que Anaxágoras, preguntado acerca de cuál era el fin en función del cual uno podía desear haber sido generado y vivir, contestó: “Observar el cielo y los astros que están en él, y la luna y el sol”, como si no considerara dignas de ningún valor las demás cosas. (Sini, 1989)

Desde aquellos tiempos se conocía bien el papel de la arquitectura con respecto a su custodia de un determinado orden del mundo. Y aunque este significado cosmológico fue siendo reemplazado por argumentos de carácter más funcional y técnico, aún en los escritos de Vitruvio se le otorgaba una gran importancia a la astronomía en la formación de un arquitecto y en la capacidad que debía tener en la construcción de relojes solares.

Deberá [el arquitecto], pues, ser ingenioso y aplicado; pues ni el talento sin el estudio, ni éste sin aquel, pueden formar un artífice perfecto. Será instruido en las Buenas letras, diestro en el Dibujo, habil en la Geometría, inteligente en la Óptica, instruido en la Aritmética, versado en la Historia, Filósofo, Médico, Jurisconsulto, y Astrólogo [...]

Por la Astrología, finalmente se conoce el oriente, occidente, mediodía, y septentrión: como también la constitución celeste, á saber, los equinoccios, solsticios, y curso de los astros; de cuya noticia quien careciere, de ningún modo entenderá la Gnomónica.

Cosa es de la mente divina, y causa la mayor admiración á los que la consideran, el que la sombra equinoccial de un gnomon sea de una longitud en Atenas, de otra en Alejandría, de otra en Roma, diferente en Placencia y demas parages del mundo: motivo por el qual son muy diversas las descripciones de los relojes en parages diferentes; pues por la longitud de la sombra equinoccial se forman los anatemas, de los cuales se toma la delineación de las horas, con arreglo á la situación de los pueblos, y sombra de su gnomon. El anatema es una averiguación buscada por el curso del sol, y hallada por el aumento de la sombra desde el solsticio ibernal; con la qual por razones architectónicas, y descripción de círculos, se vino á hallar el sistema del mundo. Llamo mundo al complexo de todas las cosas naturales, y de todas las esferas celestes con sus astros. (Vitruvio 2001, 215)

En la edad media se produjo un cambio más radical. Si bien la luz mantenía un papel fundamental como cuerpo de lo divino; ya no acontecía en el exterior de los templos sino que era espiritualizada bajo las tonalidades de miles de pequeños fragmentos de vidrios de colores que adornaban las fachadas de las iglesias, presagiando ya un alejamiento de su antigua condición, y haciendo cada vez

más inútil el acto contemplativo de la bóveda celeste. La facultad de ser interiorizada era suficiente para garantizar una cualidad divina: la luz cambiaba de naturaleza y se convertía en metáfora.

Los cambios comenzaron a darse cada vez a mayor velocidad, y otros hombres también empezaron a ocuparse del asunto. La interpretación mecánica del universo y el hábito regular de la presencia de los astros sobre las cabezas, adormilaron los espíritus y alejaron el interés por la observación del cielo, casi hasta el olvido. La luz ya no era ninguna novedad y la arquitectura podía entonces intentar liberarse de su dependencia.

La búsqueda de la belleza y las creaciones que debían regirse bajo ella ocuparon las mentes de los arquitectos, siendo la forma y los estilos el centro de toda reflexión y debate. Aunque todavía en 1793, un arquitecto revolucionario, Étienne-Louis Boullée, reclamaba para sí el descubrimiento de una arquitectura nueva que llamó *Arquitectura de las sombras*.

Estando cierta vez en el campo junto a un bosque a la luz de la luna mi efigie resaltada por la luz excitó mi imaginación. Por una disposición del espíritu un tanto particular, el efecto de este simulacro me pareció de una tristeza extrema. Las sombras de los árboles proyectadas sobre la tierra me causaron la más profunda impresión. Percibí entonces todo lo que hay de más sombrío en la naturaleza.

¿Qué es lo que allí veía? La masa de los objetos se dibujaba en negro bajo una luz de una palidez extrema. Condicionado por las impresiones que sentía, decidí ocuparme desde ese momento de aplicarlas en particular a la arquitectura. (Boullée 1985, 125)

Para entonces el vínculo original ya hacía parte de una vieja historia. Nuevas técnicas permitirían someter la luz a la voluntad de los hombres y su captura no dependería más de las destrezas humanas. La luz vendría a formar parte del depósito de materia disponible para la capacidad productiva del hombre.

La fotografía y luego el cine heredarían los saberes que antes custodiaban la arquitectura y la pintura. Sobre placas de metal y bajo procesos químicos quedaría registrada la huella del paso de la luz por el mundo. Instantes de luces y sombras captados ya no por la mano y el ojo del hombre, sino por el ojo y la lente de la cámara. La capacidad técnica de reproducir la realidad hacia cada vez más insignificante la presencia de la luz y de las cosas. Y así, las cosas fueron perdiendo materialidad y su imagen fue ocupando el lugar que antes les correspondía. Sin embargo, no todos los arquitectos guardaron silencio ante el olvido de la luz.



Figura 9. Vitrina en el barrio de Eyüp, Estambul.
Fuente: fotografía de Fabio Restrepo.



Figura 10. El Gran Bazar, Estambul.
Fuente: fotografía de Fabio Restrepo.



Figura 11. Biblioteca Nacional de Francia, sede Tolbiac, Dominique Perrault, 1989.
Fuente: fotografía de Fabio Restrepo.



Figura 12. Cubierta del Palacio Dolmabahçe, 1842.
Fuente: fotografía de Fabio Restrepo.



Figura 13. Kadıköy, Estambul.
Fuente: fotografía de Fabio Restrepo.

En 1914, durante su viaje a Túnez, Gunnar Asplund consignó en su libro de viajes la impresión profunda que le produjo el descubrimiento de la bóveda celeste y cómo esa impresión determinó en gran medida su propia comprensión de la arquitectura.

Sobre nosotros, un cielo tan claro y tan profundamente azul, con una tonalidad en el color como yo nunca había visto, dando la permanente impresión del cielo como una bóveda, una grandiosa cúpula azul.

A lo que Hakon Ahlberg añade:

Y cuando Asplund, con su gran sensibilidad, encontró el cielo, comprendió su contenido visual y arquitectónico y sus posibilidades, y logró con ello una proeza extraordinaria. Quisiéramos decir que reencontró, o por lo menos redescubrió la arquitectura. Otros que habían recorrido anteriormente ese camino buscaban el origen de la arquitectura, exclusivamente entre las obras arquitectónicas. Asplund la encontró en el mismo lugar donde los arquitectos de la antigüedad la encontraron: entre lo construido sobre la tierra, o la tierra misma y el cielo suspendido en las alturas, sin tiempo, enorme y sencillo. (Ahlberg, 1982, 83)

Y en medio de grandes exploraciones con nuevos materiales y celebrando las promesas de bienestar de un matrimonio duradero entre la industria y el arte, Le Corbusier, en 1923, aún con las manos entre los pinceles, sentenciaba en *Vers une Architecture*:

La arquitectura es el juego sabio, correcto y magnífico de los volúmenes ensamblados bajo la luz. Nuestros ojos están hechos para ver las formas bajo la luz, las sombras y los claros revelan las formas; los cubos, las esferas, los cilindros o las pirámides son las grandes formas primarias que la luz nos revela, la imagen es clara y tangible, sin ambigüedad. (Le Corbusier, 1995, p. 16)

En realidad, detrás de la reflexión de Le Corbusier se escondía una nueva sospecha: la arquitectura, liberada de sus viejas paredes, pronto dependería exclusivamente de la estructura. Y si bien los nuevos materiales permitirían grandes superficies transparentes, dando lugar a mejores condiciones de iluminación y temperatura, de la misma forma la pared se convertiría cada vez más en un delgado cerramiento sin posibilidad de establecer el vínculo que antes mantenía con la luz.

Las sombras fueron reemplazadas por los reflejos mudos de superficies de vidrio que se alzaban cada vez a mayor altura. Se trataba de un nuevo espacio. Un espacio abs-

tracto incapaz de rememorar el espacio que evocaban desde siempre los antiguos.

Y de vidrio comenzó a ser la habitación del hombre en la tierra...

Scheerbart, otorga la mayor importancia a instalar a sus personajes —y, bajo su modelo, a sus conciudadanos— en alojamientos dignos de su rango: en casas de vidrio móviles, como las que Loos y Le Corbusier han mientras tanto realizado. El vidrio, y no es una casualidad, es un material duro y liso sobre el cual nada queda registrado. Un material igualmente frío y sobrio. Los objetos de vidrio no tienen “aura”. El vidrio, de manera general, es el enemigo del misterio. (Benjamin 2000, 369)

Pero los sueños de los modernos una vez más fueron interrumpidos, esta vez por el estruendo de la guerra. En medio de los fragmentos del campo de batalla los arquitectos intentaron recuperar un orden perdido. Y algunos de ellos reclamaron nuevamente un lugar para la luz.

En los años setenta Louis Kahn insiste en la comprensión de la luz como materia primigenia de la forma en arquitectura.

Yo percibo la luz, la creadora de toda presencia: por deseo, por ley. Se puede decir que la luz, la creadora de toda presencia, produce el material, y el material es hecho para proyectar una sombra, y la sombra pertenece a la luz. (Kahn 1991, 235)

Aunque no todos están de acuerdo, la posibilidad de celebraciones infinitas ante el cadáver de una supuesta modernidad superada, dio lugar a la festividad posmoderna, llena de colores, decoración y ornamento, hasta convertir la arquitectura en una especie de ridículo receptáculo de todo tipo de caprichos y banalidades. Las paredes ya no eran el punto de encuentro de la materia y la luz; sino la superficie propicia —como el cartel publicitario—, para que los arquitectos jugaran sin vergüenza a recuperar nuevos significados. Las fachadas se convirtieron en el lugar privilegiado del mensaje publicitario, finas láminas en donde escribir o proyectar las consignas del momento.

Era en medio de tantas superficies estridentes que Hopper intentaba emparentar la superficie del lienzo con una pared sobre la cual recuperar la luz. Todavía en 1971 se alcanzaba a percibir un momento de silencio en el que el muro recuperaba su materialidad y recomponía el orden. La luz de nuevo se reflejaba.



Figura 14. Mercado Central, São Paulo, Brasil.
Fuente: fotografía de Fabio Restrepo.



Figura 15. Teatro en Termessos, Turquía.
Fuente: fotografía de Fabio Restrepo.

“El azul del cielo” era el lema del concurso [el cementerio de Módena], y ahora ya puedo contemplar los grandes tejados de plancha azul, tan sensibles a la luz del día y del atardecer, a las estaciones, que en ocasiones parecen de un azul profundo y de un clarísimo azul celeste en otras. Las paredes rosadas se superponen a la fábrica de ladrillo emiliano del viejo cementerio, y también ellas reflejan la luz aparentando ser casi blancas unas veces y otras de un rosa oscuro. (Rossi 1984, 24)

Después, la luz y la pared no se volvieron a encontrar. La una convertida en dato abstracto y la otra en una pantalla dispuesta a proyectar el simulacro dispuesto por la actualidad y la moda. Todo en medio de una curiosa satisfacción, como si la luz artificial de la pantalla digital finalmente liberara a la arquitectura y de paso a los hombres de su dependencia radical del movimiento celeste...

Este libro, alejándose y contrariando los vientos de tanta rabiosa actualidad, nos recuerda las obsesiones de Höpfer y a lo mejor el deber fundamental de todo arquitecto y de toda escuela de arquitectura: proponer una educación que no olvide cómo, a pesar de todo, las cosas tienen peso, distancias entre sí y formas reveladas por la luz; y que ahí radica su maravilla, la misma que desde siempre ha impulsado a los hombres a levantar los ojos al cielo.

Porque algunas prácticas siempre seguirán íntimamente ligadas a esa misteriosa relación entre el cielo y la tierra a través de la luz.

A la mañana siguiente el mar, todavía agitado, hacia rodar lentas olas de tamaño prodigioso y precipitándose en la estela burbujeante del Pequod, parecía empujarlo con manos de gigantes. La brisa fuerte y sostenida era tal que cielo y aire semejaban velas henchidas: el mundo entero avanzaba con el viento.

Envuelto en la plena luz matinal, el sol invisible era sólo una intensidad en el cielo, desde la cual sus rayos caían en haces, como bayonetas. Todo estaba coronado por diademas, como los reyes y reinas de Babilonia. El mar era un crisol de oro fundido que hervía irradiando luz y calor.

Ahab se mantenía apartado, sumido en un silencio hechizado. Y cada vez que la nave oscilante hundía el bauprés, el capitán se volvía para mirar los rayos del sol reflejados en el mar. Cuando la nave hundía la popa, se volvía hacia atrás para ver a sus espaldas los mismos rayos amarillos que se confundían con la estela inflexible.

— ¡Ah, ah, nave mía!... ¡Eres como el carro marino del sol!
¡Oh, vosotros, todos los pueblos que vivís ante mi proa, os llevo el sol! ¡Uncid esas olas! ¡Con este tiro poderoso conduzco el océano! (Melville 1970, 801)

**El sol no sabe
cuán grandioso
es hasta que toca
la fachada de un
edificio.**

Louis Isidore Kahn



Figura 1. Vista de los cerros orientales de Bogotá con la luz de la tarde. Fuente: fotografía de David Felipe Rodríguez.



Figura 2. Iluminación artificial en la Plaza de Bolívar, Bogotá. Fuente: fotografías de Sebastián Rueda.

Es muy probable que el canal de comunicación más importante entre el hombre y su entorno sea la visión. El ojo es estimulado por el reflejo de la luz sobre los objetos y es por esta razón que su presencia es un requisito para que el ser humano pueda ver. Si la luz es excesiva, produce molestias y puede causar distorsiones psicofísicas. Si es escasa, motiva esfuerzos que generan consecuencias nocivas. Así mismo, la luz influye en el estado de ánimo de las personas; una excesiva uniformidad provoca monotonía, una carencia de luz produce inseguridad y temor. Una calle iluminada en la noche produce una percepción totalmente diferente a la del día. La luz es un elemento esencial que hace evidentes las propiedades plásticas de los objetos cotidianos. Transforma los volúmenes en fascinantes esculturas, confiere profundidad teatral al mundo cotidiano y permite percibir el paso del tiempo al observar el cambio en las sombras que proyecta un árbol.

El sol es un cuerpo luminoso técnicamente sofisticado y la principal fuente de luz natural, sin dejar de lado a la luna y otros cuerpos celestes que iluminan la noche. Se puede comparar con un gran proyector móvil que produce un cambio constante de los escenarios donde se desarrolla la vida. El sol es el generador de la vida en nuestro planeta, del movimiento del agua, produce la fotosíntesis en las plantas, el calor y la energía necesaria para la supervivencia del ser humano.

Luz y arquitectura constituyen un binomio inseparable. La luz es el material principal con el que cuenta el arquitecto para construir el espacio, por lo tanto, es determinante que conozca sus propiedades, comportamiento y estrategias para su manejo.

El arquitecto contemporáneo debe actuar éticamente en el marco de la responsabilidad ambiental. La situación actual del mundo demanda una actitud responsable con el medio ambiente, que promueva la sostenibilidad y la salud del planeta con el propósito de garantizar un medio adecuado para la vida de las futuras generaciones. La UNESCO predice que para el año 2025, aproximadamen-

te el 70% de la población del mundo habitará en las ciudades. Del mismo modo, los edificios de estas ciudades consumirán el 70% de la energía producida en el planeta; en un gran porcentaje, dicha energía se generará a partir de recursos naturales no renovables, que al consumirse producen daños irreparables en el medio ambiente. Esta es la base para proponer una nueva arquitectura, cuyas construcciones perduren en el tiempo, sean capaces de adaptarse a la evolución de la sociedad y asumir la evolución tecnológica de la humanidad. Una arquitectura que se inscribe de manera armónica y racional al medio ambiente y al clima, al tiempo que genera grandes beneficios, porque busca de manera simultánea la eficiencia en el consumo energético y la conservación de los recursos naturales.

Con el objetivo de promover la eficiencia energética, es posible aplicar diversas estrategias que se enfocan en disponer el proyecto arquitectónico racionalmente con relación a los elementos naturales (Orr 2008). Este enfoque permite que el arquitecto logre las mejores condiciones interiores de habitabilidad, en términos térmicos y lumínicos, sin necesidad de recurrir al uso indiscriminado de sistemas de iluminación y climatización artificial. Esto solo es posible cuando existe un conocimiento suficiente sobre los materiales de construcción y su interacción con los elementos naturales y, además, se tiene la disposición para integrar el uso de fuentes alternativas de energía al proyecto.

Los diseñadores modernos llenaron el mundo con edificios y desarrollos inmobiliarios divorciados de su contexto, existiendo como si estuvieran en un terreno alienígena desconectado de la ecología... y el lugar. (Orr 2008)

El espacio interior y las áreas exteriores de los proyectos de arquitectura pueden iluminarse mediante una combinación de mecanismos que aprovechan la luz natural y sistemas artificiales de alta eficiencia energética. Un 30% de la luz artificial que se produce para iluminar nuestras ciudades se desperdicia en detrimento de la oscuridad del



Figura 3. Iluminación cenital, Hemeroteca de la Biblioteca Luis Ángel Arango, Esguerra Saenz y Urdaneta Samper, 1958. Fuente: fotografía de David Felipe Rodríguez.



cielo nocturno por una mala utilización de los aparatos de alumbrado, lo que produce problemas de contaminación luminosa (Narisada & Schreuder 2004). Un proyecto de arquitectura lumínicamente eficiente utiliza al máximo la luz natural durante el día y en los momentos de poca iluminación, así como en la noche hace uso de sistemas eficientes de iluminación artificial, cuyo funcionamiento óptimo aprovecha el uso de sistemas electrónicos de control y la aparición de fuentes lumínicas de alta eficiencia, como las lámparas fluorescentes compactas y las basadas en la tecnología LED (*light-emitting diode*).

A lo largo de la historia, todas las edificaciones han tenido que buscar formas de aprovechar o protegerse de la luz y la energía solar. Sólo recientemente aparece la iluminación artificial o eléctrica como parte integral del diseño arquitectónico y, en conjunto con la iluminación natural, suponen un componente fundamental para la eficiencia, confort, usabilidad y calidad de las edificaciones. Adicionalmente, la nueva tecnología también avanzó en el desarrollo de sensores precisos, instrumentación y métodos de recolección y análisis de datos de la luz natural y con ellos se estimuló la creación y aceptación de estándares y factores de calidad para regular estos nuevos dispositivos. Como consecuencia de ello, a partir de la década de los setenta se inicia una corriente en la arquitectura que busca el aprovechamiento de la luz y la energía solar, lo cual estimuló la aparición de conceptos como el “diseño pasivo” y el “edificio verde” (Kittler, Kocifaj, & Darula 2012). Dentro de este panorama, un libro que le brinde al arquitecto las herramientas conceptuales y prácticas para diseñar espacios con la cantidad, calidad y expresión de luz necesaria es invaluable en nuestro medio.

Son numerosas las guías o manuales especializados que brindan al público parámetros y normas para el diseño de sistemas de iluminación natural y artificial; la práctica del diseño lumínico está influenciada por el trabajo e investigación de numerosos cuerpos de expertos. Diferentes sociedades, grupos de investigación y entidades del sector público y privado han creado legislación y estándares que buscan regular el diseño lumínico. Por ejemplo, la Unión Europea se rige por la EN-12 464, que define los requerimientos lumínicos de espacios interiores y exteriores de los espacios de trabajo; por su parte, la American National Standards Institute (ANSI) también ofrece una serie de prácticas recomendadas y estándares, esto en asociación con la Illuminating Engineering Society of North America (IESNA). Otros ejemplos de asociaciones técnicas y profesionales son la International Commission on Illuminance (CIE o Commission International de l'Eclairage) que incluye muchas de las organizaciones líderes en iluminación, o la International Association for Energy Efficient Lighting

(IAEEL) que sirve como fuente de recursos e información acerca de productos y técnicas de eficiencia lumínica. En el caso colombiano está la NTC 900 que define las reglas generales y especificaciones para el alumbrado público, y la Resolución 180540 de 2010 del Ministerio de Minas y Energía que dicta el reglamento técnico de iluminación y alumbrado público (Retilap). No obstante, estas guías y estándares son a menudo demasiado extensas y se concentran en los aspectos técnicos de la iluminación de edificios, dejando de lado temas como la calidad, el color y la expresividad en el uso de la luz.

El análisis y diseño de sistemas de iluminación artificial y natural son tareas que congregan un amplio espectro de disciplinas, principalmente la ingeniería y la arquitectura. En la actualidad no existe un programa de pregrado en iluminación, por lo que los expertos en esta área provienen de disciplinas como el teatro, la ingeniería eléctrica, la arquitectura y el diseño de interiores. En cambio, son comunes las maestrías, especializaciones y cursos de educación continuada en temas de iluminación, las cuales deben su existencia a las diferentes organizaciones técnicas y profesionales interesadas en la divulgación de la iluminación natural y artificial como componente esencial de nuestro entorno construido. Dentro de su labor, se destacan las revistas técnicas especializadas y la producción académica en revistas científicas. Por ejemplo, *Architectural Lighting* es una revista que se publica ocho veces al año y ofrece artículos de interés para los especialistas en el área; la revista *Architectural Record* publica una sección especial sobre iluminación de forma periódica. Por otro lado, las asociaciones profesionales y técnicas ofrecen también sus propias publicaciones, como *Lighting Research and Technology* de la Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE), o *Lighting Design + Application*, la revista de la IESNA (Steffy 2002). Se puede observar cómo no hay una carencia de publicaciones, instituciones y recursos en el tema de la iluminación natural y artificial. Sin embargo, la concepción de este libro nace a partir del interés de brindarle al estudiante de arquitectura un texto claro y útil para diseñar sus proyectos con una fuerte consciencia de los requerimientos que implica la iluminación de espacios interiores y la eficiencia lumínica del edificio.

Usualmente, los arquitectos tienen un conocimiento intuitivo sobre la luz y las mejores maneras de utilizarla dentro de sus diseños, sin embargo, no tienen suficiente entendimiento de la ciencia constructiva involucrada en el diseño de dispositivos de iluminación natural y artificial para sus edificaciones (Robbins c1986). Así, el presente libro plantea explicar los conceptos, los instrumentos, la tecnología y las consideraciones de diseño involucradas