

Radiación solar invisible y arquitectura

Invisible Solar Radiation and Architecture

investigación
pp. 0116-124

Adriana Lira-Oliver

Resumen

En este artículo se describe la radiación solar que llega a la Tierra, en especial la parte espectral del ultravioleta y el infrarrojo, que son la parte no visible de dicha radiación. Se expone la importancia de éstas y su interacción con la materia, de forma sencilla, para que el arquitecto tenga herramientas para diseñar una envolvente de un edificio que sea energéticamente eficiente y adecuada para su uso.

Palabras clave: radiación solar, infrarrojo, ultravioleta, arquitectura sustentable, efecto de isla urbana de calor

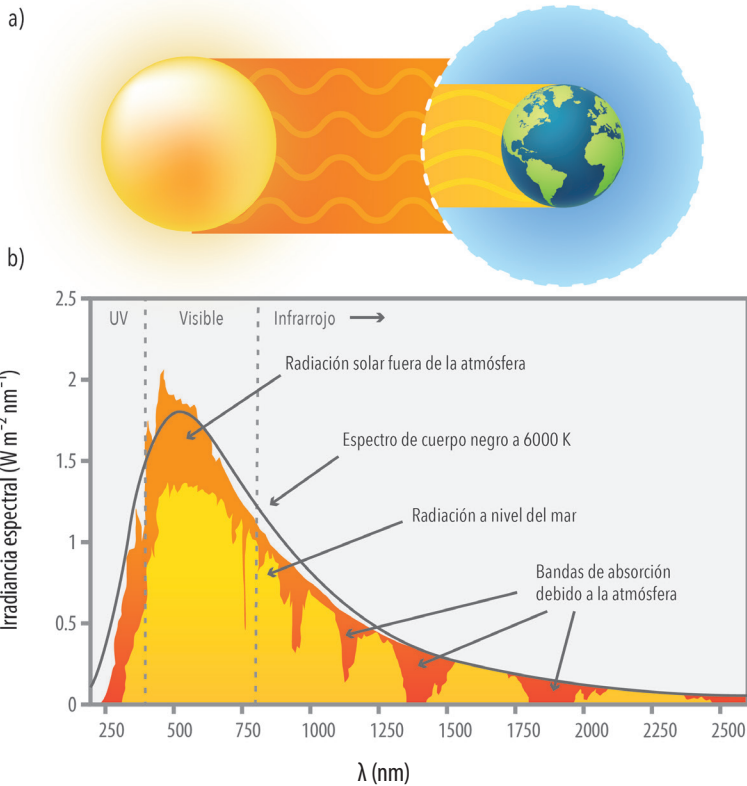
Abstract

In this paper, the solar radiation that reaches Earth is described and, in particular, it focuses on the ultraviolet and infrared spectrum that are imperceptible to the eye. The significance of these radiations and their interaction with matter are simply explained so that architects have the tools to design energy efficient building envelopes that are appropriate for their program.

Keywords: solar radiation, infrared, ultraviolet, sustainable architecture, heat island effect

Para diseñar, el arquitecto cuenta con un elemento indispensable para dar sentido al espacio, así como confort visual al ocupante: la luz. La luz natural ha sido un recurso indispensable en el diseño a través de toda la historia.¹ Ahora también se ha podido comprobar que la iluminación natural es la más saludable, debido a que la especie humana se ha desarrollado, evolucionado y crecido bajo la radiación solar que recibimos en la superficie terrestre.² En este artículo se pretende dar al lector, sobre todo al arquitecto, información útil sobre la radiación solar y cómo interactúa con la materia en la superficie terrestre, para entender los conceptos y procesos físicos que ocurren entre la radiación y la envolvente de un edificio y los espacios interiores. Es primordial tomar en cuenta estos procesos durante el diseño de edificios sostenibles y para la reducción del efecto de isla de calor en el ámbito urbano, con objeto de mitigar los efectos del hombre sobre el cambio climático y el deterioro del medio ambiente.

La radiación solar es el conjunto de materia y ondas electromagnéticas que expulsa el Sol hacia el espacio.³ Esta materia está representada por partículas, principalmente electrones, protones y núcleos de helio (partículas α),⁴ que quedan atrapadas en el campo magnético terrestre y no llegan a la superficie del planeta.⁵ El otro tipo de radiación que genera el Sol es la radiación electromagnética, ésta es reflejada en parte al llegar a la atmósfera terrestre. La parte que penetra, es parcialmente absorbida y, por lo tanto, sufre atenuaciones al llegar a la superficie de la Tierra. Así pues, cuando nos referimos a la radiación solar, nos estamos refiriendo a sólo una parte de la radiación arrojada por el Sol.



Radiación solar: a) paso y absorción por la atmósfera terrestre; b) curvas espectrales de la intensidad solar antes y después de atravesar la atmósfera; se muestran las bandas de absorción y la curva de radiación de cuerpo negro equivalente a la radiación solar

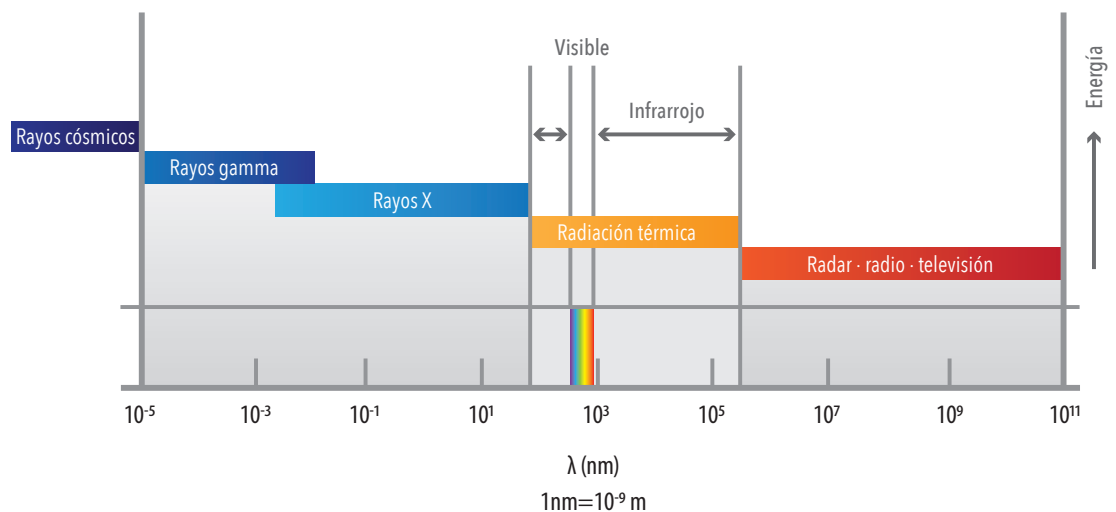
La luz es la parte de la radiación electromagnética que podemos ver. Dentro de la radiación electromagnética que recibimos del Sol no sólo llega la luz (radiación visible), sino también radiación ultravioleta y radiación infrarroja, las cuales no podemos ver. Dentro del espectro, 99% de la radiación electromagnética está comprendida en el intervalo de 250 a 400 nm (nanómetro= 10^{-9} m, es decir, la mil millonésima parte de un metro). La parte visible del espectro sólo ocupa el intervalo de 380 a 800 nm. De los 250 a los 380 nm está la radiación ultravioleta, y de los 800 en adelante, la radiación infrarroja. Estas dos últimas radiaciones, aunque no son visibles, tienen gran importancia tanto para el desarrollo de la vida como para el confort en los espacios arquitectónicos cerrados.

Radiación de cuerpo negro

Para entender mejor la radiación electromagnética del Sol y su interacción con la materia, explicaremos qué es la radiación de cuerpo negro.⁶ En la naturaleza, todo cuerpo está a una temperatura y emite radiación electromagnética. Para poder cuantificar y tener una referencia de la radiación emitida, los físicos han tomado como absorbedor y emisor ideal al cuerpo negro; que se entiende como un cuerpo ideal que absorbe toda la radiación electromagnética que le llega. Nada de la radiación incidente se refleja o lo atraviesa, toda es absorbida. Cuando éste mantiene su temperatura, se dice que está en equilibrio térmico con su entorno, entonces emite radiación al mismo tiempo que la recibe. A la misma temperatura, una superficie mate negra tiene un poder emisor mayor que una superficie brillante, ya que ésta refleja, por lo tanto, absorbe menos. La absorción y emisión de radiación de un cuerpo está íntimamente relacionada con los átomos y las moléculas que conforman la materia, es decir, la radiación que se emite depende del material.

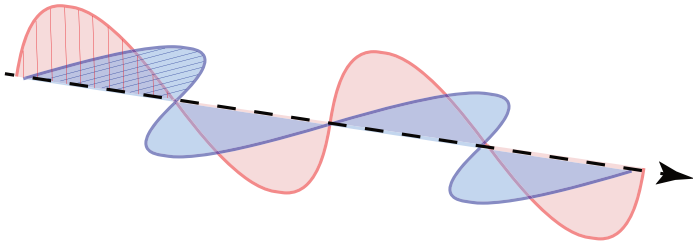
Desde el punto de vista de la mecánica cuántica, rama de la física que estudia al mundo en su escala atómica, para la materia no existe la temperatura cero, es decir, la ausencia de temperatura o, dicho de otra forma, de energía térmica en forma de calor, o de cualquier otra energía.⁷ El calor es una forma de energía que hace vibrar, rotar y hasta ionizar a las moléculas que constituyen la materia. Tal parece que en la naturaleza no existe la calma absoluta, siempre hay un poco de movimiento en nuestro mundo a escala atómica y molecular. Un cuerpo siempre estará a una temperatura y va a radiar de acuerdo a ella.

El hombre conoce este hecho desde hace miles de años. Cuando comenzó la Edad de los Metales y aparecieron los primeros herreros, éstos se dieron cuenta de que el metal emitía luz al calentarlo en la fragua. La luz cambiaba de coloración y esto indicaba qué tan caliente estaba el metal: del rojo pasaba al amarillo y luego al blanco. Ellos sabían perfectamente que llegar al blanco significaba que el metal estaba a altas temperaturas. A temperaturas bajas, como las de los cuerpos de los mamíferos o de los objetos calentados al Sol, la materia no emite luz, pero sí calor, y al tacto lo sentimos caliente. Un cuerpo en estas circunstancias está emitiendo radiación electromagnética no visible. A la región del espectro electromagnético que cubre las longitudes de onda que puede radiar un cuerpo a causa de su temperatura se le llama región térmica del espectro y va de los 80 a los 100 000 nm, como se muestra en la siguiente gráfica.



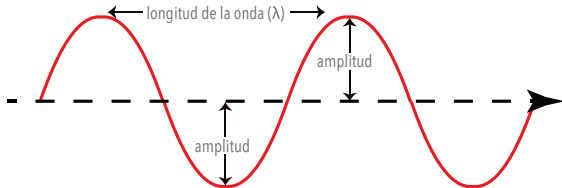
Regiones del espectro electromagnético donde se aprecia la región térmica.

a) Onda electromagnética

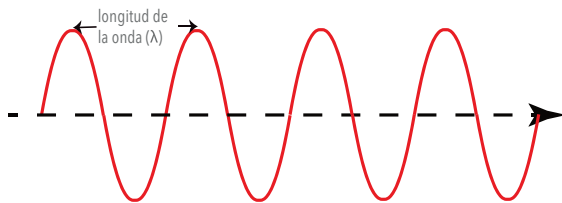


b) Longitud de la onda

A mayor longitud de onda: dará menores temperaturas



A menor longitud de onda: dará mayores temperaturas



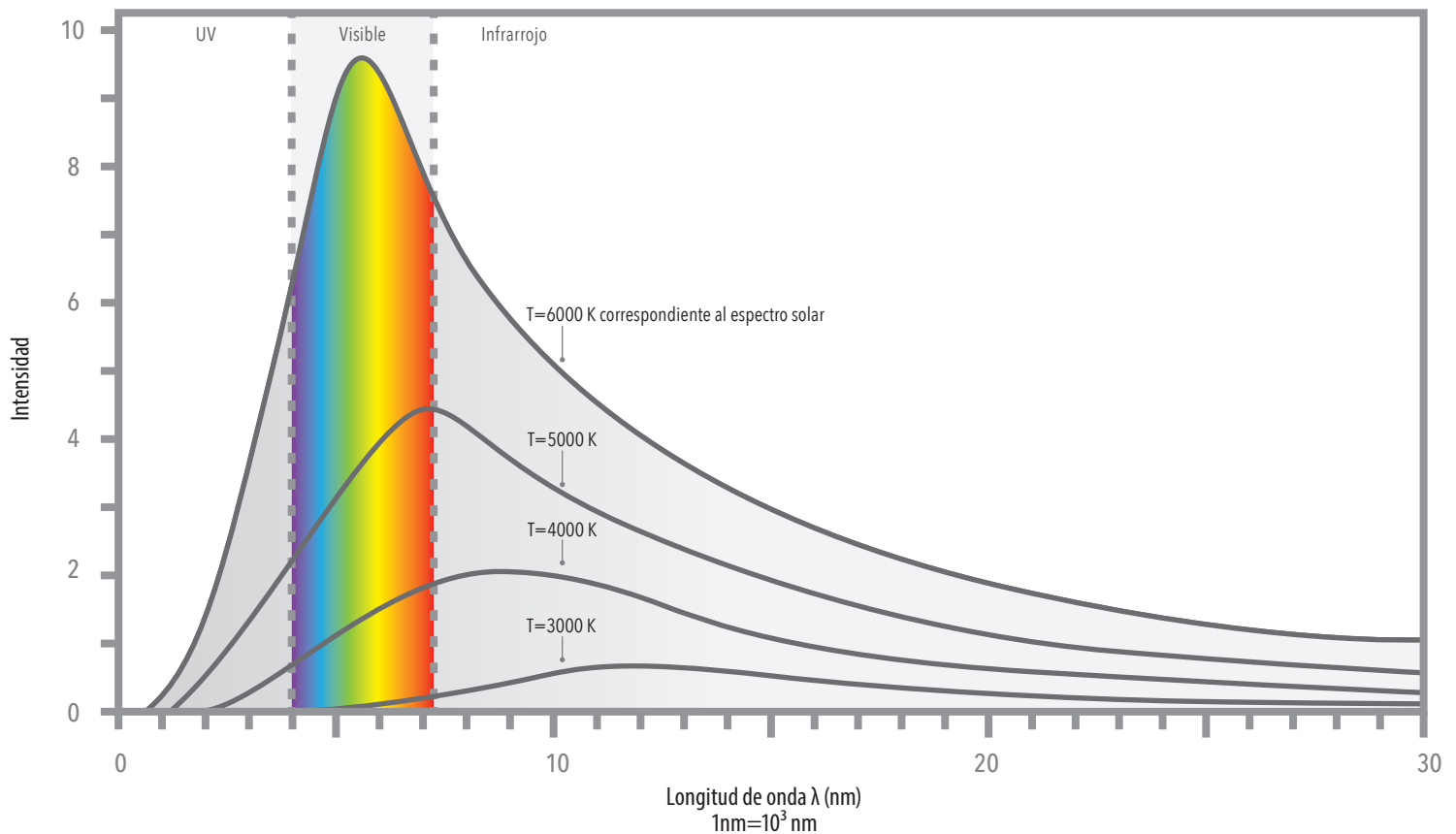
Ley de Wien

En el siglo XIX se construyeron en el laboratorio artefactos que se acercaron mucho al absorbedor ideal y se estudiaron con intensidad las ondas electromagnéticas emitidas. Cuando, por medio de prismas, las ondas electromagnéticas se dispersan y se detectan en forma ordenada, se obtiene un espectro de dicha radiación. Así se determinó la composición espectral del cuerpo negro. Para finales del siglo, el espectro electromagnético del cuerpo negro se conocía muy bien y se comenzaron a hacer modelos teóricos para comprender la naturaleza de esta radiación. En 1893, el físico alemán Wilhem Wien derivó la ley que relaciona la temperatura del cuerpo con la longitud de la onda electromagnética que emite con mayor intensidad. Como la fórmula determina que la longitud de onda es inversamente proporcional a la temperatura, se entiende que entre más caliente esté un cuerpo, emitirá radiación con menores longitudes de onda.

$$\lambda_{\max} = \frac{2.898 \times 10^{-3}}{T} \text{ (m)}$$

En la siguiente gráfica se muestra el espectro de la radiación del cuerpo negro para diferentes temperaturas. Se observa que el máximo de la curva se corre a las longitudes de onda menores. A este hecho se le conoce como Ley de desplazamiento de Wien.⁸

Radiación electromagnética: a) ondas de los campos eléctrico y magnético; b) ondas con diferentes longitudes y por tanto, diferentes contenidos energéticos que proporcionan distintas temperaturas



El *quantum* de Planck

No sólo Wien estudiaba la radiación del cuerpo negro, también varios de los físicos más connotados de la época. En aquellos años no sólo se sabía que la luz visible era una onda electromagnética, sino también que había otro tipo de radiación no visible, más allá del violeta (el ultravioleta) por un lado, y más allá del rojo (el infrarrojo) por el otro lado del espectro visible. Al tratar de obtener teóricamente la forma de la curva experimental de la radiación del cuerpo negro, se fracasaba constantemente al aplicar la física que se conocía hasta el momento. Fue en 1900 que Max Planck propuso, para sorpresa del mundo científico, que la energía estaba cuantizada,⁹ es decir, que el cuerpo negro absorbía y emitía radiación en cantidades discretas de energía. La energía se presentaba en múltiplos de acuerdo a la frecuencia de la onda absorbida o radiada. Encontró que el *quantum* de energía es:

$$E = hu$$

es decir, la energía de la onda es directamente proporcional a la frecuencia de dicha onda. En esta relación, la "h" es un número, la famosa constante de Planck. Con el tiempo, a estos *quantums* o paquetitos de energía se les asoció una partícula a la cual se llamó fotón. Más tarde, el físico francés Louis de Broglie propuso que al electrón se le asocia una onda, de ahí que a toda partícula se le puede asociar una onda y a toda onda se le puede asociar una partícula. Así nació la famosa dualidad cuántica onda-partícula.¹⁰

Las ondas electromagnéticas y el fotón

En física, pocos fenómenos se extienden en intervalos tan extensos como las ondas electromagnéticas. En frecuencia van de 10^1 a 10^{27} Hertz; en longitud de onda varían de 10^{-13} a 10^8 m. Es un intervalo de más de veinte órdenes de magnitud, que van desde los rayos cósmicos de altas energías, hasta ondas de extremada baja frecuencia y enormes longitudes de onda, que se supone se generan en algunas nebulosas. La segunda figura de este artículo (página 117) muestra una parte del espectro electromagnético. Todas ellas viajan a una misma velocidad: la velocidad de la luz. La relación entre la longitud de onda λ y la frecuencia ν de una onda es:

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

donde c es la velocidad de la luz. Se puede constatar que la frecuencia y la longitud de la luz son inversamente proporcionales, por lo que a ondas de mayor longitud les corresponde menor frecuencia. Como estas ondas tienen asociado un fotón, y se sabe que el fotón tiene una energía directamente proporcional a la frecuencia, se deduce que las ondas de mayor frecuencia, es decir, de menor longitud de onda, tienen mayor energía.

El espectro solar

De la primera figura de este artículo (página 117) se deduce que el espectro solar, antes de entrar en la atmósfera, presenta el comportamiento de radiación de un cuerpo negro. La curva de cuerpo negro que corresponde a dicha radiación es la de un cuerpo que está a una temperatura máxima de unos 6000 K (K= kelvin). Así fue como se determinó la temperatura de la corona solar y la de muchas otras estrellas. Asimismo, se puede ver que el espectro solar, además de radiación visible, contiene radiación ultravioleta e infrarroja. La radiación electromagnética solar, después de atravesar la atmósfera, sufre absorciones, las más importantes son aquéllas que no se ven: la ultravioleta y la infrarroja. Las proporciones que recibimos de las diferentes regiones del espectro solar son: ultravioleta 3%, visible 53%, infrarrojo 44%. Se aprecia que el infrarrojo forma una parte importante del espectro solar. El ultravioleta, aunque en menor proporción, comprende la radiación más energética del espectro.

En la segunda figura de este artículo (página 117) se muestra el espectro electromagnético con sus diferentes regiones espectrales; también la región de la radiación térmica. Esta última se refiere a la radiación del cuerpo negro, íntimamente relacionada con la temperatura del Sol. Como puede comprobarse, la región térmica abarca en gran medida la radiación solar que recibimos.

Los descubrimientos del ultravioleta y el infrarrojo

La forma en que se descubrieron las radiaciones ultravioleta e infrarroja ilustra muy bien las características de ambas radiaciones.¹¹ Desde 1670, Newton había mostrado la dispersión de la luz blanca en sus componentes, al hacerla pasar por un prisma. El espectro visible se obtenía fácilmente dejando pasar un rayo de la luz del Sol por una rendija, después se hacía pasar por un prisma y se proyectaba sobre una pantalla. Así se obtenían los diferentes colores que ahora conocemos como el espectro visible.

Frederick William Herschel fue un alemán que vivió prácticamente toda su vida en Inglaterra. En sus experimentos de astronomía, al trabajar con diferentes filtros para observar la luz del Sol, se dio cuenta de que los diferentes colores de la luz producían diferentes cantidades de calor. En 1800 ideó un experimento: proyectó el espectro solar sobre una mesa y colocó un termómetro en cada color. Encontró que la temperatura aumentaba del violeta al rojo. Como medida de control, colocó un termómetro al lado del rojo, donde supuestamente no había radiación, pero, para su sorpresa, encontró que el termómetro marcaba una temperatura mayor a la del rojo. Siguió experimentando y encontró que estos rayos eran reflejados, refractados, absorbidos y transmitidos como la luz visible; los llamó rayos caloríficos.

Johann Wilhelm Ritter, de origen polaco, estudió medicina, pero mucho de su tiempo lo dedicó a hacer experimentos de química. Se sabía que el cloruro de plata se ennegrecía cuando se exponía a la luz solar. Se decía que la luz azul ennegrecía el cloruro de plata más que la roja. Ritter, familiarizado con el cloruro de plata, en 1801 decidió realizar un experimento para medir la velocidad de ennegrecimiento del cloruro de plata cuando se exponía a los diferentes colores del espectro solar.¹² Al igual que Herschel, proyectó el espectro solar sobre una mesa y colocó cloruro de plata en cada uno de los colores, y observó que efectivamente el cloruro de plata se iba ennegreciendo más al exponerse de la luz roja a la luz azul. Como ya se sabía que después del rojo existía una radiación no visible, Ritter probó si habría reacción al colocar el cloruro de plata más allá no sólo del azul, sino también del violeta, donde no se percibía radiación. Para su sorpresa la velocidad del

ennegrecimiento, así como la intensidad del cambio de color, fue sustancialmente mayor. Al igual que Herschel, Ritter dedujo que había una radiación no visible a la cual llamó rayos químicos.

Posteriormente, a los rayos caloríficos se les llamó radiación infrarroja y a los rayos químicos se les denominó radiación ultravioleta.

Interacción de la radiación electromagnética con la materia

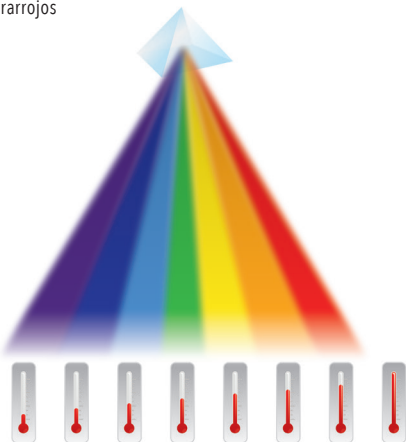
Para entender por qué la radiación infrarroja calienta y la ultravioleta ennegrece el cloruro de plata, es necesario comprender cómo interaccionan las ondas electromagnéticas con la materia.

La interacción de la radiación electromagnética con la materia se dilucidó a partir de la mecánica cuántica. Teniendo en cuenta la cuantización de la energía de Planck, Niels Bohr propuso, en 1913, que los electrones en un átomo se encuentran en estados de energía definidos y para pasar de un estado a otro absorben o emiten una cantidad de energía determinada. Entre los estados energéticos del átomo no existen otros estados y sólo se puede pasar a estados energéticos bien definidos por medio de fotones con las energías precisas para hacerlo. Con su teoría, Bohr explicó con éxito el espectro del hidrógeno. De ahí en adelante, toda la absorción y emisión de energía por átomos y moléculas de la materia se entiende por la absorción y la emisión de fotones de diferentes energías, que a su vez se relacionan con ondas electromagnéticas de diferentes longitudes de onda o frecuencias.

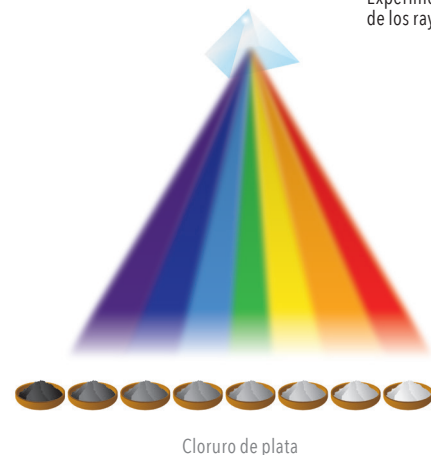
Las ondas electromagnéticas de altas frecuencias y menores longitudes de onda son más energéticas que las de bajas frecuencias y mayores longitudes de onda; respectivamente corresponden a fotones de mayor y menor energía.

La materia está constituida por átomos o moléculas.¹³ Los elementos sólidos como los metales (oro, cobre, aluminio), las tierras raras (neodimio, erbio, europio) o los gases nobles están constituidos sólo por átomos. Las demás sustancias están formadas por moléculas, hasta los gases de un solo elemento como el hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, o los halógenos, se presentan como moléculas diatómicas. En todos ellos hay electrones que forman estructuras bien definidas que dan al material sus características físi-

Experimento del descubrimiento de los rayos infrarrojos



Experimento del descubrimiento de los rayos ultravioleta



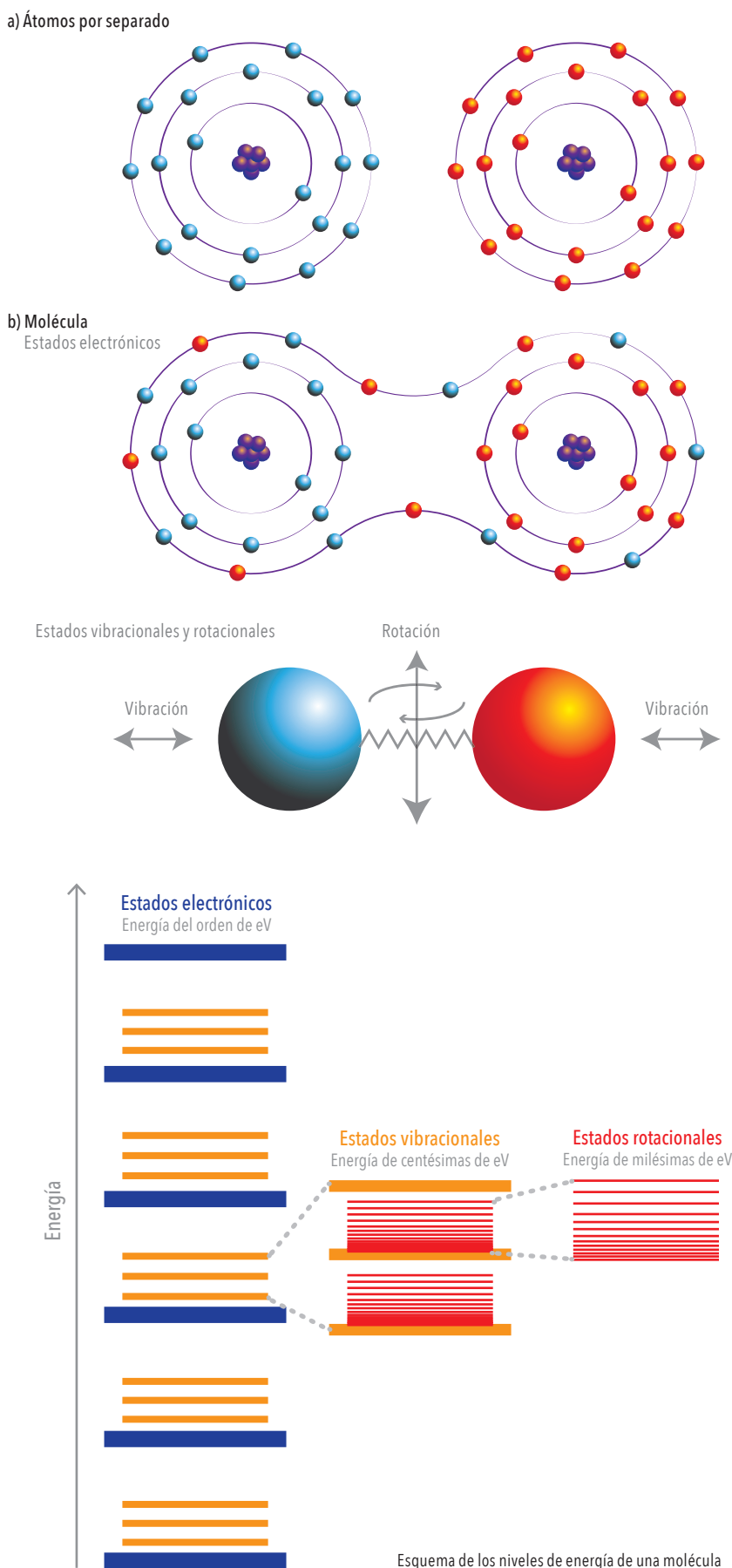
Cloruro de plata

cas y químicas. Cuando los átomos se unen para formar moléculas, los electrones más externos se comparten entre átomos para formar ligaduras. Las moléculas, además de tener sus estructuras electrónicas, vibran y rotan. Las estructuras electrónicas de los átomos, así como las vibraciones y las rotaciones de las moléculas, son las que absorben y emiten fotones para pasar de una estructura electrónica a otra, de un estado de vibración a otro o de un estado rotacional a otro.¹⁴ Todos éstos son estados energéticos discretos bien definidos.

Los estados electrónicos más externos (electrones de valencia) del átomo son los que permiten a estos últimos unirse para formar moléculas y compuestos, y conforman las ligaduras químicas. Los estados electrónicos son los más espaciados en energía y, por lo tanto, las transiciones energéticas entre un estado electrónico a otro requieren de más energía que la transición entre los estados vibracionales o rotacionales de la molécula. En el espectro solar, la radiación ultravioleta es la más energética. Un fotón asociado a una onda que tiene una longitud λ de 300 nm, correspondiente al ultravioleta de la radiación solar que llega a la superficie terrestre, tiene una energía de poco más de 4 eV (eV= electronvoltio, unidad de energía en que se miden los niveles energéticos atómicos y moleculares). Esta energía es suficiente para promover cambios de estados electrónicos de los electrones más externos de los átomos o de los electrones que hacen las ligaduras de muchas moléculas. La explicación para el ennegrecimiento del cloruro de plata cuando se exponía a la luz, sobre todo al ultravioleta, es que hay un rompimiento de ligaduras en la molécula y queda libre la plata. Éste es el principio de la fotografía con producción de negativos.

Una molécula, en un cierto estado electrónico, vibra. Los estados vibracionales también son discretos, pero con un espaciamiento en energía mucho menor que los estados electrónicos. A su vez, una molécula en un estado electrónico y vibracional dado, también rota. Los estados rotacionales, discretos también, están muy poco espaciados en energía, por lo que la energía necesaria para pasar de un estado vibracional a otro es mucho menor que la que requieren los estados electrónicos; y para pasar de un estado rotacional a otro, es todavía menor que la de los estados vibracionales y mucho menor que la de los electrónicos.

Esquema de la formación de una molécula diatómica. Se muestran a) los átomos separados, b) la molécula formada: la estructura electrónica de enlace, el modelo de vibración y rotación



En el espectro solar, las longitudes de onda del ultravioleta y el visible tienen asociados fotones capaces de alterar los estados electrónicos de un material. En la parte del espectro solar entre los 1 000 nm y los 50 000 nm (entre 1 eV y 0.025 eV), los fotones provocan transiciones entre los estados vibracionales. Ésta es la región del infrarrojo e infrarrojo lejano. En longitudes de onda mayores a las del infrarrojo lejano están la microondas, cuyas longitudes de onda son tan grandes que las unidades que se utilizan para caracterizarlas son los centímetros. Las energías de los fotones asociados a las microondas son menores a 0.012 eV.

Por lo tanto, las energías de los fotones de la radiación solar del ultravioleta y el visible están entre los electronvoltios y las décimas de electronvoltios, y pueden cambiar estados electrónicos; la región del infrarrojo, típicamente con fotones de décimas de electronvoltios, promueve transiciones vibracionales; y las microondas, con centésimas y milésimas de electronvoltios, producen transiciones de estados rotacionales.

La radiación solar y el efecto del calentamiento

La relación de Wien descrita anteriormente nos permite calcular la longitud de onda de la intensidad máxima de radiación de un cuerpo que está a una temperatura determinada. Por ejemplo, la temperatura del cuerpo humano en kelvin es 310 K, por lo que le corresponde una $\lambda_{\max} = 9\ 300$ nm, que se ubica en el infrarrojo. Esta radiación del cuerpo humano presenta toda una distribución de longitudes de onda, cubriendo las que favorecen transiciones vibracionales y rotacionales. En un horno de microondas, desde los industriales hasta los domésticos, el calentamiento se produce rotando las moléculas, sobre todo si tienen dipolos eléctricos como el agua y algunas grasas y azúcares.

La radiación solar puede calentar de manera importante un material. Una experiencia que muchos hemos tenido es cuando la cubierta de los asientos en un coche, de plástico oscuro al estar varias horas al sol, la sentimos muy caliente al sentarnos, porque está irradiando a longitudes de onda en toda una gama, donde hay transiciones de los estados vibracionales y rotacionales de las moléculas del material. Dentro del auto se siente mucho calor porque no hay circulación libre de aire, sobre todo, porque una gran parte de la radiación infrarroja se queda atrapada. Esto se debe a que el cristal es prácticamente opaco a las longitudes de onda mayores a los 2 500 nm. Ésta es la causa del efecto invernadero en los espacios acristalados.¹⁵

La importancia de los rayos ultravioleta y los infrarrojos en los proyectos arquitectónicos

Después de la somera descripción anterior sobre la radiación solar, de la visible y no visible, podemos resumir procesos importantes de la interacción de esta radiación con la materia, fundamentales al momento de desarrollar el proyecto arquitectónico de una estancia infantil, un hospital, unas oficinas, una casa, un museo o un invernadero; es decir, la radiación solar que no vemos pero que el arquitecto debe tomar en cuenta al momento de proyectar una edificación.

De la radiación solar, la ultravioleta es la que más se trata de evitar cuando los seres humanos se exponen al Sol, por los daños que causa a la salud. Es indiscutible que la exposición por largos periodos a la radiación solar provoca cáncer de piel. También se ha demostrado que una de las causas del surgimiento de cataratas en el ojo se debe a la exposición al Sol. Los ra-

yos ultravioleta son una causa importante de estos males. Actualmente, es ampliamente aceptado que una persona no debe permanecer largo tiempo bajo el Sol y debe protegerse con bloqueadores solares y lentes oscuros. Sin embargo, la ciencia ha demostrado que también es importante recibir cierta cantidad de radiación ultravioleta.

La radiación ultravioleta no es solamente maligna, sino que también es importante en el desarrollo de la vida. Por ejemplo, posibilita la fotosíntesis en las plantas y la síntesis de vitamina D en el organismo, responsable de la fijación del calcio en los huesos. Además, los rayos ultravioleta pueden romper las membranas celulares, por lo que combaten los agentes patógenos. Son un agente importante para la esterilización; pueden eliminar toda clase de bacterias y virus sin dejar residuos, a diferencia de los productos químicos.

Actualmente, se producen cristales para ventanas que no dejan pasar el ultravioleta. Usar en forma indiscriminada este tipo de cristal es un error. En un hospital o en una estancia infantil es importante tener ciertos espacios cerrados asoleados con radiación ultravioleta, precisamente por su efecto esterilizador. En el diseño de un invernadero no se pueden usar cristales opacos al ultravioleta, ya que se impedirían los procesos biológicos de las plantas. En el caso de los invernaderos, también es importante tener en cuenta que la radiación ultravioleta y visible que pasa a través del cristal, producirá al interior del invernadero radiación infrarroja, la cual quedará atrapada y elevará la temperatura a niveles no deseables para las plantas, por lo que se necesitará un sistema de ventilación adecuado que deberá tomarse en cuenta a la hora de hacer el proyecto. Por el contrario, si lo que se tiene que proyectar es un museo donde se expongan pinturas o textiles y, en general, objetos susceptibles a la decoloración por los rayos ultravioleta, en ese caso es necesario el uso de cristales opacos al ultravioleta, además de la utilización de difusores internos de luz. Como detallamos en los experimentos del descubrimiento tanto de los rayos ultravioletas como los infrarrojos, el efecto sobre los procesos químicos o sobre el calentamiento también se da en el visible, sin embargo, el rompimiento de ligaduras es mucho más eficiente en el ultravioleta, y el calentamiento, en el infrarrojo.

Con respecto a la climatización natural de interiores, la radiación en la región del infrarrojo juega un papel muy importante. Como la radiación infrarroja es la más eficiente para el calentamiento, es en gran medida responsable de la termalización interior por métodos pasivos. Conforme al clima, el calentamiento de techos y paredes por medio de la radiación solar podrá regularse empleando materiales con diferentes absorciones de infrarrojo. La ventilación es muy importante para bajar las temperaturas de interiores en lugares de clima cálido; las diferencias de temperatura que provocan el movimiento de aire dentro de un recinto pueden determinarse con un diseño arquitectónico adecuado y un correcto empleo de materiales con diferentes características en la absorción del infrarrojo.

Otro aspecto importante que hay que tomar en cuenta es el calentamiento que produce la radiación solar en el exterior. Los techos y pavimentos susceptibles de calentarse con la radiación solar fomentan la formación de islas de calor urbanas que contribuyen al calentamiento global. En estas superficies es importante, en regiones donde los índices de radiación solar son altos, utilizar materiales de alta reflectancia solar en la región del espectro infrarrojo.



Imágenes de la fachada principal de la Facultad de Arquitectura de la UNAM a partir de a) la radiación visible, b) la radiación infrarroja emitida por los materiales

Lo que hace visible lo invisible: la termografía

La tecnología moderna permite hoy en día detectar la radiación infrarroja y, por lo tanto, medir la temperatura de grandes objetos a distancia y sin contacto físico. El desarrollo de las cámaras termográficas nos proporciona imágenes térmicas de las envolventes de los edificios. Esto se ha convertido en una herramienta muy útil en la construcción para detectar un sinnúmero de peculiaridades invisibles al ojo humano en una edificación que conlleve cambios de temperatura, como: focos de humedad, pérdida de aislamiento térmico, daño en tuberías, grietas, etcétera.

Las termografías de una envolvente, al tomarlas a lo largo del día, muestran las zonas de mayor y menor temperatura en una edificación, lo que permite conocer la relación de la absorción y emisión de radiación solar por los diferentes materiales de dicha envolvente. En la imagen anterior, se aprecia la fachada principal de la Facultad de Arquitectura de la UNAM en dos versiones:

una creada a partir de la radiación visible a) y otra a partir de la infrarroja radiada por los materiales b). A la segunda versión, la cual es una termografía, se le adjudican colores falsos (no representan los colores percibidos por el ojo) en relación con la cantidad de radiación infrarroja que los materiales emiten; de esta manera, a cada color se le puede adjudicar una temperatura. Se aprecia en esta versión que los materiales más oscuros como los coches y los marcos de las ventanas están entre 40 °C y 50 °C y que aquellos materiales que están bajo la sombra llegan a ubicarse en los 20 °C.

Conclusiones

Cuando el arquitecto conoce el principio de los procesos físicos de la radiación solar en la envolvente del edificio, puede diseñar en forma más eficiente —desde el punto de vista energético— una edificación. Si además conoce los efectos de esta radiación en la salud de sus ocupantes, sus

diseños son adecuados para el desarrollo de los seres vivos que ocuparán dichos espacios.

Actualmente, con la termografía, los profesionales relacionados con la construcción tienen una gran herramienta para el diagnóstico de edificios, que les permite detectar dónde se pueden aplicar materiales reflejantes o absorbentes en el infrarrojo.

No se pretende que el arquitecto sea una persona que domine aspectos de la física o la biología, pero sí que conozca ciertos principios que le ayuden a entender y manejar un lenguaje adecuado en el trabajo interdisciplinario para la construcción sostenible.

Notas

La autora agradece al Fondo Sener-Conacyt, a través del proyecto 260155, por el apoyo brindado a esta investigación.

1. Cecilia Guadarrama y Daniel Bronfman, "Sobre la luz natural en la arquitectura", *Bitácora Arquitectura* 29 (noviembre 2014-marzo 2015): 76-83.
2. M.S. Rea, M.G. Figueiro, J.D. Bullough, "Circadian photobiology: an emerging framework for lighting practice and research", *Lighting Research and Technology* 34 (2002): 177-190 y Adriana Lira-Oliver, *Indoor illumination for the stimulation of the human circadian system: assessing the interaction of spectral and intensity characteristics of light, optical properties of materials, and surface texture*, tesis para obtener el grado de Doctor en Diseño (Cambridge: Harvard University, 2006).
3. C.G. Abbot, F.E. Fowle, L.B. Aldrich, "Solar Radiation", *Scientific American* 80 (1915): 258-259.
4. Nicole Meyer-Vernet, *Basics of the Solar Wind* (Cambridge: Cambridge University Press, 2007) y E. N. Parker, "The Solar Wind," *Scientific American* 210 (abril de 1964): 66-76, doi:10.1038/scientificamerican0464-66.
5. Laurence J. Cahill, "The magnetosphere," *Scientific American* 212 (marzo de 1965): 58-68, doi:10.1038/scientificamerican0365-58.
6. Arthur Beiser, *Concepts of Modern Physics* (Boston: McGraw-Hill Press, 2003), 57.
7. Robert Martin Eisberg, Robert Resnick, *Física cuántica* (Ciudad de México: Limusa-Noriega, 2004), 266.
8. Robert Martin Eisberg, Robert Resnick, *Física cuántica*, 23.
9. Robert Martin Eisberg, Robert Resnick, *Física cuántica*, 31-38.
10. Robert Martin Eisberg, Robert Resnick, *Física cuántica*, 87.
11. Ana María Cetto, *La luz: en la naturaleza y en el laboratorio* (Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica, 1987), colección La ciencia desde México, 32.
12. Luis de la Peña, *Cien años en la vida de la luz*, serie Ciencia para todos, 200 (Ciudad de México: SEP Conacyt, Fondo de Cultura económica, 2004).
13. Robert Martin Eisberg, R. Resnick, *Física cuántica* (Ciudad de México: Limusa-Noriega, 2004) 279-554.
14. Gerhard Hersberg, *Spectra of diatomis molecules* (Nueva York: Van Nostrand, 1950).
15. Michael Wigginton, *Glass in Architecture* (Londres: Phaidon, 1996).

Referencias

- Abbot, C.G., F.E. Fowle, L.B. Aldrich. "Solar Radiation." *Scientific American* 80 (octubre de 1915): 258-259. doi:10.1038/scientificamerican10231915-258supp
- Beiser, Arthur. *Concepts of Modern Physics*. Boston: McGraw-Hill Press, 2003.
- Cahill, Laurence J. "The magnetosphere." *Scientific American* 212 (marzo de 1965): 58-68. doi:10.1038/scientificamerican0365-58.
- Cetto, Ana María. *La luz: en la naturaleza y en el laboratorio*. Colección La ciencia desde México, 32. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica, 1987.
- De la Peña, Luis. *Cien años en la vida de la luz*. Serie Ciencia para todos, 200. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica – Secretaría de Educación Pública-Conacyt, 2004.
- Eisberg, Robert Martin y Robert Resnick. *Física cuántica*. Ciudad de México: Limusa - Noriega, 2004.
- Guadarrama, Cecilia y Daniel Bronfman. "Sobre luz natural en la arquitectura." *Bitácora* 29 (noviembre de 2014 - marzo de 2015): 76-83.
- Hersberg, Gerhard. *Spectra of Diatomis Molecules*. Nueva York: Van Nostrand, 1950.
- Lira-Oliver, Adriana. *Indoor illumination for the stimulation of the human circadian system: assessing the interaction of spectral and intensity characteristics of light, optical properties of materials, and surface texture*. Tesis para obtener el grado de Doctor en Diseño. Cambridge: Harvard University, 2006.
- Meyer-Vernet, Nicole. *Basics of the Solar Wind*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. doi:10.1017/CBO9780511535765
- Parker, E.N. "The Solar Wind." *Scientific American* 210 (abril de 1964): 66-76. doi:10.1038/scientificamerican0464-66.
- Rea, M.S., M.G. Figueiro, J.D. Bullough, "Circadian photobiology: an emerging framework for lighting practice and research", *Lighting Research and Technology* 34-3 (2002): 177-190.
- Wigginton, Michael. *Glass in Architecture*. Londres: Phaidon, 1996.

Adriana Lira-Oliver

Arquitecta

Maestra y doctora en Diseño Sustentable

Harvard University

Posdoctorado en Iluminación

Harvard University

Posdoctorado en Termodinámica de edificios

Instituto de Energías Renovables

Profesora de la Facultad de Arquitectura

Universidad Nacional Autónoma de México

✉ adrianalira@post.harvard.edu