

RADIACIÓN SOLAR Y CIUDADES: DE LAS REGLAS NO ESCRITAS A LA EVALUACIÓN RIGUROSA

LECCIÓN INAUGURAL DEL CURSO ACADÉMICO 2022-2023

Ignacio García Ruiz

Pamplona, 25 de octubre de 2022

Rector Magnífico de la Universidad Nacional de Educación a Distancia,
Presidenta de la Comunidad Foral de Navarra,
Directora de UNED Pamplona,
Autoridades,
Compañeras y Compañeros de UNED,
Alumnado,
Señoras y Señores:

Es para mí un honor y una responsabilidad poder impartir la lección inaugural del curso académico 2022-2023. Cuando recibí el encargo de Carmen Jusué, Directora del Centro Asociado de la UNED en Pamplona hasta hace apenas dos meses, tuve claro que el tema sería la evaluación de la radiación solar y la iluminación natural recibidas en las ciudades. A pesar de la presumible complejidad de esta cuestión, a la hora de preparar la lección he tratado de alcanzar un compromiso entre el rigor científico y la accesibilidad de la exposición. Espero, sinceramente, que despierte su interés.

La radiación solar recibida en la superficie terrestre es primordial en distintos ámbitos de la actividad humana. Así, es esencial en la agricultura como fuente energética para desencadenar la fotosíntesis que hace posible la producción de alimentos para la población y de materia seca para la biomasa. Es importante para la salud de las personas, afectando a factores biológicos como la síntesis de vitamina D e incluso a factores psicológicos como el estado de ánimo. Asimismo, es cada vez más relevante en el contexto estrictamente energético, en particular en el de las energías renovables, dado el incremento en el número de instalaciones en las que se lleva a cabo su conversión en calor útil o electricidad, mediante las instalaciones de energía solar térmica, fotovoltaica o termoelectrónica.

Otro aprovechamiento fundamental de la radiación solar –siendo precisos, de una parte del espectro de la radiación solar– es el de la luz natural. La interacción de las longitudes de onda correspondientes al espectro visible de la radiación solar con los fotorreceptores del ojo humano permite percibir el mundo y sus colores, y desarrollar muchas de nuestras tareas. En ausencia de luz natural debe recurrirse a luz artificial, cuya producción implica necesariamente el consumo de alguna fuente de energía primaria. Por ello, con independencia de la mejora en la eficiencia energética de los sistemas de iluminación artificial, el conocimiento y gestión de la luz natural es fundamental, no solo desde el punto de vista energético sino también desde el del confort visual.

Es un hecho que la mayor parte de las actividades humanas se desarrollan en entornos urbanizados. En este sentido, la historia de las ciudades y de su estructura urbana está ligada de manera inexorable al aprovechamiento de la radiación solar y la luz natural. Precisamente, la organización de uno de los primeros asentamientos urbanos cuya existencia está documentada, perseguía la protección de la radiación solar. Se trata de la ciudad de Çatalhöyük situada al sur la península de Anatolia, que estuvo habitada en torno al año 6000 a.C. En esta región de clima árido, las viviendas se construían adosadas, sin calles, con cubiertas planas de diferentes alturas para permitir que las pequeñas ventanas dispuestas en las propias cubiertas se utilizaran también como entradas a las casas.

Los griegos antiguos, por su parte, eran conscientes de la importancia de la energía del Sol para la salud humana. Las excavaciones realizadas en distintas ciudades de la Grecia clásica han permitido comprobar que éstas estaban planificadas para que todos los ciudadanos tuviesen un acceso equitativo al Sol. Por ejemplo, la ciudad de Olinto, en Grecia, tenía una planta reticular con ejes norte-sur y este-oeste. Cada casa estaba diseñada para tener una fachada orientada al sur y un patio interior o atrio. De hecho, en estas casas, la presencia de ventanas en las fachadas exteriores era muy escasa, por lo que el patio central suponía la principal entrada de luz natural a las distintas estancias. Por su parte, Priene, antigua ciudad griega de Jonia –en la actual Turquía– contaba ya en el siglo IV a.C. con un plano urbano geométrico, diseñado por el urbanista Hipódamo de Mileto, más conocido por la planificación del trazado urbano de El Pireo, el puerto de Atenas. Consciente de las variaciones de elevación máxima que el Sol experimenta a lo largo del año, dispuso las viviendas de manera que el Sol de invierno, con una menor elevación sobre el horizonte, pudiera entrar fácilmente en la casa a través de un pórtico orientado al sur que, durante el verano, proporcionaba sombra a las habitaciones de la casa.

En la antigua Roma, Marco Vitruvio en su tratado *De Architectura*, escrito hacia el año 20 a.C., subrayaba la necesidad de que los interiores de las viviendas estuvieran bien iluminados por el día, evitando la obstrucción de las ventanas por otros edificios. Este consejo fue probablemente influenciado por el derecho romano que justificaba el derecho a obtener una luz diurna sin obstáculos; dicho de una manera más sintética, el “Derecho al Sol”.

Cuando se establecía un nuevo asentamiento militar romano que, en muchos casos, constituía el germen de una nueva ciudad, éste se diseñaba según los principios de Vitruvio. El trazado básico consistía en una vía orientada en dirección norte-sur o “*Cardo Maximus*” que era cruzada por otra vía con orientación este-oeste o “*Decumanus Maximus*”. El foro se situaba en la intersección de ambas calles. Este trazado se puede observar hoy en día en ciudades próximas como Zaragoza o León –cuyo origen etimológico se encuentra, precisamente, en la palabra legión, en referencia a la *Legio VII Gemina* que allí se estableció en el año 74–.

Podemos encontrar ejemplos más recientes de planificaciones urbanas que tuvieron en cuenta el acceso a la radiación solar de sus habitantes. Uno de los más conocidos, aunque quizá no tanto por su relación con el Sol, es el Plan Cerdá para el ensanche de Barcelona, de finales del siglo XIX. Éste seguía los criterios de Hipódamo de Mileto, **con una con una** estructura en cuadrícula, abierta e igualitaria. Precisamente, la relación de aspecto de sus calles, esto es, la relación entre la altura de los edificios y la anchura de las calles se estableció de tal manera que la radiación solar pudiese alcanzar el nivel de la calle cuando el Sol se elevaba 45° sobre el horizonte, garantizando así una buena iluminación natural de los edificios. Asimismo, las esquinas truncadas de las manzanas mediante un chaflán permitían mejorar el acceso a dicha luz. A semejanza de las casas de la antigua Grecia, aunque con una escala mayor, se dotó a las manzanas de un amplio patio central que facilitaba el acceso a la luz natural de las estancias interiores y favorecía la ventilación cruzada.

Durante el siglo XX y principios del siglo XXI se ha observado una creciente concentración de la población en las ciudades que, consecuentemente, se han ido haciendo cada vez más grandes. De acuerdo con un informe de Naciones Unidas, en 2030, el 28% de la población mundial estará concentrada en ciudades con más de un millón de habitantes. En muchas de estas ciudades la carestía del suelo ha propiciado un modelo urbanístico en el que edificios de altura considerable, próximos entre sí, conducen a elevadas densidades de población con la consecuente reducción del acceso a la radiación solar y luz natural desde las plantas más bajas de los edificios. En la actualidad las ciudades y sus responsables se

enfrentan al problema de cómo hacerlas sostenibles garantizando los cada vez más cuantiosos suministros, de todo tipo, que son necesarios cada día.

Es evidente que uno de estos suministros es el energético y ya son una realidad los planes de concienciación y ayuda para la generación distribuida de energía en el propio entorno urbano, mediante sistemas fotovoltaicos, termosolares, aerotérmicos, de biomasa, etc. La luz también es esencial, por lo que se debería llevar a cabo una evaluación concienzuda de su disponibilidad natural. Precisamente, la propia configuración de la ciudad hace que éste sea un entorno complejo en el que se producen obstrucciones en la radiación e iluminación recibida sobre un determinado plano por la presencia de obstáculos más o menos próximos, además de aportaciones por reflexión.

En este punto nos pueden surgir las siguientes cuestiones: ¿qué hemos aprendido de las distintas experiencias en materia de planificación urbanística de la antigüedad desde el punto de vista del aprovechamiento de la radiación solar?, ¿somos capaces, hoy en día, de realizar una evaluación rigurosa de la radiación solar y la luz natural recibida en los entornos urbanos? En lo que sigue, trataré de responder a estas preguntas.

Actualmente, gracias a las medidas realizadas por los satélites meteorológicos equipados con radiómetros, sabemos que, en promedio, a la parte exterior de la atmósfera terrestre llega una potencia radiante procedente del Sol de 1361.1 vatios por cada metro cuadrado de superficie perpendicular a los rayos del Sol. Esto es lo que conocemos como constante solar. Cuando la radiación solar penetra en la atmósfera comienza a interactuar con sus componentes, que provocan su atenuación. Los principales mecanismos de atenuación de la radiación solar en la atmósfera son la dispersión atmosférica, causada por las moléculas de aire, el agua —en forma de vapor o de pequeñas gotas— y el polvo en suspensión, y la absorción provocada mayoritariamente por el O₃, el agua y el CO₂.

Cuando las moléculas absorben la radiación solar, éstas se calientan y parte de la energía absorbida acabará alcanzando la superficie de la Tierra en forma de radiación infrarroja. Por su parte, el fenómeno de la dispersión provoca que los rayos del Sol se desvíen en todas las direcciones. Justamente, la dispersión provocada por las partículas más pequeñas de la atmósfera, conocida como dispersión de Rayleigh, se produce más intensamente en las longitudes de onda del espectro correspondientes a la radiación ultravioleta, así como al rango de los colores azul y violeta del espectro visible, lo que confiere al cielo su color característico. En consecuencia, la radiación solar dispersada que alcanza la superficie de la

Tierra, o radiación difusa celeste, presenta un carácter anisotrópico. Esto es, procede de todos los lugares de la bóveda celeste con una intensidad diferente.

La parte de la radiación solar que no es absorbida ni dispersada por los elementos atmosféricos es transmitida hasta la superficie terrestre. Esa componente de la radiación solar es conocida como radiación directa. Por ejemplo, en la ciudad de Pamplona, siempre y cuando el entorno esté libre de obstáculos, la componente directa puede suponer en torno al 60% de la radiación solar total recibida durante un año completo. Sin embargo, a medida que aumenta la complejidad del entorno, esto es, a medida que aumentan los obstáculos, se incrementa la proporción de la radiación difusa sobre el total de radiación recibida.

A la hora de evaluar la cantidad de energía solar que está recibiendo un plano situado en un edificio concreto es preciso tratar de manera independiente la radiación directa y la difusa. La determinación de la radiación directa que incide sobre un edificio en un momento determinado se basa en una simple relación geométrica entre la posición del Sol y la del plano de cálculo del edificio. Actualmente existen algoritmos de alta precisión que nos permiten determinar la posición del Sol en el cielo con respecto a cualquier plano de interés situado en cualquier lugar de la superficie de la Tierra. De tal manera que, una vez determinada dicha posición basta con comprobar si el Sol se encuentra por encima o por debajo del horizonte visible. Es decir, si la radiación directa alcanza el plano del edificio o si, por el contrario, está siendo obstruida por algún elemento del entorno como otro edificio, un árbol o una montaña.

Como consecuencia de su carácter multidireccional y anisotrópico, el problema de la estimación de la otra componente, la radiación difusa, es más complejo que el de la directa. No se puede reducir a una simple cuestión geométrica. De hecho, durante la segunda mitad del siglo XX se dedicó un importante esfuerzo investigador al desarrollo de modelos matemáticos para la estimación de la radiación difusa sobre planos inclinados. En este sentido, podríamos distinguir entre dos grupos fundamentales de modelos: por un lado, los modelos de irradiancia o modelos simples y, por el otro, los modelos de distribución angular de radiancia en el cielo o modelos avanzados.

Los modelos avanzados suponen una mayor aproximación a la realidad física de distribución de la radiación difusa celeste. Estos modelos permiten determinar las contribuciones de las distintas zonas del cielo, tantas como el usuario del modelo desee, a la irradiancia difusa recibida sobre el plano de un edificio. Por lo tanto, gracias a los modelos

avanzados es posible descartar la aportación de radiación difusa de aquellas zonas del cielo que están siendo obstruidas por los elementos del entorno urbano.

Además de la radiación directa y difusa, en los entornos urbanos es preciso considerar una aportación más al conjunto de flujos de energía que no procede directamente del Sol o del cielo. Se trata de la radiación reflejada por los elementos del entorno. Su estimación sobre un plano determinado de la escena urbana no es, en absoluto, una cuestión trivial dada la gran cantidad de superficies con distinta capacidad para reflejar la radiación que podemos encontrar en las ciudades. No en vano, el estudio de la radiación reflejada en los entornos complejos sigue consumiendo un importante esfuerzo investigador en la actualidad. Si bien, en muchos casos, la consideración de las reflexiones se aborda desde un punto de vista extremadamente simplificado, existen estrategias basadas en el trazado de rayos o en los algoritmos de radiosidad que permiten un análisis riguroso.

En respuesta a las preguntas que se nos planteaban, es posible afirmar que, a pesar de que el margen para la investigación en relación con la estimación de la radiación solar en las ciudades todavía es muy amplio, actualmente disponemos de un conocimiento profundo. Dicho conocimiento se ha traducido en distintas ciudades del mundo, entre las que se encuentra Pamplona, en la elaboración de lo que conocemos como catastros o mapas solares: evaluaciones detalladas de la cantidad de energía solar recibida en la ciudad y, en algunos casos, del potencial de la propia urbe para producir energía eléctrica mediante sistemas solares fotovoltaicos y energía solar térmica. Estos mapas constituyen una herramienta estratégica tanto desde el punto de vista de la planificación energética de la ciudad como desde el de la proyección de nuevos desarrollos urbanos y la remodelación de edificios o barrios existentes.

El paso final es que todo este conocimiento llegue a la ciudadanía en forma de ciudades, edificios e incluso puestos de trabajo en los que se garantice un buen acceso a la radiación solar y la iluminación natural. Se trata, en definitiva, de garantizar algo tan antiguo y, a su vez, tan actual como el Derecho al Sol.