

# Salud urbana, bicicletas y árboles

## *Urban health, bikes and trees*

Enrique Figueroa-Luque,<sup>1</sup> Teresa Figueroa-Luque,<sup>2</sup> Elena Mateos Martínez,<sup>3</sup> Teresa Luque Palomo<sup>4</sup> y Manuel Enrique Figueroa Clemente<sup>5</sup>

Fecha de recepción: 08-02-2020 – Fecha de aceptación: 29-07-2020

*Hábitat y Sociedad* (ISSN 2173-125X), n.º 13, noviembre de 2020, pp. 47-62.

<http://dx.doi.org/10.12795/HabitatySociedad.2020.i13.04>

### Summary

Urban health depends on the environmental matrix of the different streets of the city through which urban bicycle users circulate through the bike lane. Our results show that the circulation of the bike lane in cities takes place in an urban atmospheric layer that shows pollution, mainly due to motorized traffic, which can affect the health of bicycle users. It is essential to clean the air exerted by the green infrastructure in relation to air quality. An evaluation of the situation of the city's bike lane in relation to urban pollution and the presence of green infrastructure is necessary.

A correct choice of plant species is essential as well as an adequate alignment of the specimens and a subsequent management of the trees that allow the function of air purification. The issue of urban radiative and thermal balance is a momentous issue especially in the predicted scenarios of climate change. We have shown that the presence of trees in the bike lane favors conditions of less incidence of solar radiation which minimizes the possibility of heat stroke, suffocation and heat waves. Green infrastructure, especially woodland, has an important value in facilitating a healthy urban matrix for users of active mobility and especially for urban cyclists developing a healthy bike lane.

### Key words

City; Bikes; Urban health; Urban forest; Bike lane; Air quality; Thermal confort

### Resumen

El aporte a la salud urbana de la movilidad en bicicleta depende de la matriz ambiental y la infraestructura verde de los carriles. Nuestros resultados muestran que la circulación por el carril bici en las ciudades transcurre en una capa atmosférica urbana que muestra contaminación, fundamentalmente debida al tráfico motorizado, que puede afectar a la salud de los usuarios de la bicicleta. Es necesaria una evaluación de la situación del carril bici de la ciudad en relación con la contaminación urbana y la presencia de infraestructura verde.

Es fundamental la limpieza del aire que ejerce la infraestructura verde en relación con la calidad del aire. Una correcta elección de las especies vegetales es imprescindible, así como un adecuado alineamiento de los ejemplares y una gestión posterior del arbolado que permita la función de purificación del aire. La cuestión del balance radiativo y térmico urbano es una cuestión trascendental, especialmente en los escenarios previstos de cambio climático. Hemos puesto de manifiesto que la presencia del arbolado en el carril bici favorece condiciones de menos incidencia de la radiación solar, lo cual minimiza la posibilidad de insolación, sofocamiento y olas de calor. La infraestructura verde, muy especialmente el arbolado, tiene un importante valor en la facilitación de una matriz urbana saludable para los usuarios de la movilidad activa y especialmente para los ciclistas urbanos desarrollando un carril bici saludable.

### Palabras clave

Ciudad; Bicicleta; Salud urbana; Infraestructura verde; Carril bici; Calidad del aire; Confort térmico

1 Consultora Estratégica de Servicios y Territorios CESYT. E-mail: [efigueroa@cesyt.es](mailto:efigueroa@cesyt.es)

2 Dep. de Biología Vegetal y Ecología, Fac. de Biología, Univ. de Sevilla. E-mail: [teresaf190@gmail.com](mailto:teresaf190@gmail.com)

3 *Ibíd.* E-mail: [e.mateos@uma.es](mailto:e.mateos@uma.es)

4 *Ibíd.* E-mail: [tluque@us.es](mailto:tluque@us.es). ORCID: 0000-0001-8512-3584

5 *Ibíd.* E-mail: [figueroa@us.es](mailto:figueroa@us.es). ORCID: 0000-0002-8806-4054

## La movilidad activa como aporte a la salud urbana

El origen de las ciudades está vinculado al modo de vida de la especie humana en su evolución desde una actividad cazadora y recolectora a un escenario más sedentario. La agrupación de los individuos de cualquier especie tiene ventajas y por ello las ciudades surgen y evolucionan al compás de la evolución cultural y tecnológica del ser humano (Mumford, 2014; 2018).

El crecimiento de la población mundial, el intenso y generalizado proceso urbanizador y el incremento del nivel económico tienen un impacto sobre el medio ambiente. Poder hacer compatible el crecimiento de las ciudades y los entornos urbanos de las mismas con el bienestar de las personas y una mínima, o incluso nula, incidencia en el medio ambiente es el reto para el siglo XXI. Actualmente el planeta está inmerso en un fenómeno generalizado de cambio global que afecta a todos los ecosistemas y también a la construcción más genuinamente humana, es decir, a las ciudades. La reconsideración del propio sistema urbano y su metabolismo es hoy esencial.

La ciudad es un sistema complejo ante un paisaje de incertidumbres a escalas variadas (Figueroa Clemente, 2018). Un nuevo modelo urbano que haga frente a los retos que cada día generan las ciudades es necesario, muy especialmente en lo que respecta a la salud y al bienestar de los habitantes de las mismas. Por otro lado, las ciudades juegan un papel esencial en el desarrollo económico y, por ello, cualquier contingencia que afecta a la realidad urbana puede tener consecuencias a diferentes niveles en un mundo globalizado. El fenómeno urbano ha sido decisivo en la historia de la humanidad, sigue siéndolo, y también en la historia de la vida sobre la Tierra (Terradas, 2001). Una nueva agenda urbana es necesaria ante el crecimiento de las ciudades, el modelo de desarrollo imperante y los retos de los cambios globales, muy especialmente el cambio climático.

La salud actualmente es una cuestión que forma parte de la agenda de todos los proyectos de desarrollo futuro de las ciudades (World Health Organization, 2016). El proyecto de documento final de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Vivienda y el Desarrollo Urbano Sostenible (Hábitat III) de 2015 (Asamblea General de Naciones Unidas, 2015) constituye una aportación importante para la sostenibilidad y la calidad de vida de las ciudades. España ha realizado en 2014 el *Informe Nacional Hábitat III*, desarrollando diferentes aspectos relacionados con la ciudad, en relación con sus cuestiones y dificultades, para poder desarrollar una nueva Agenda Urbana que dé respuesta a numerosas cuestiones pendientes en relación con la calidad de vida y la salubridad de las ciudades, entre otros aspectos. Conseguir una movilidad sostenible es un reto para nuestras ciudades (Calvo Salazar, 2013).

En las ciudades existen variaciones a escala pequeña, tanto espacial como temporal, de la contaminación del aire. En el medio urbano hay que realizar mediciones con sensores manuales, en todos los puntos de la ciudad donde sea necesario, para alcanzar una imagen de la realidad mejor que la basada en unos pocos sensores fijos en zonas determinadas (Figueroa Clemente, Figueroa-Luque, E., Cano García, Figueroa-Luque, T., Mateos Martínez, 2018). Actualmente se dan datos de la calidad del aire que no se corresponden con la realidad en determinados puntos de dichas zonas, ya que la metodología que se sigue no lo permite. Se puede decir en una ciudad que la calidad del aire es aceptable y, sin embargo, en una determinada zona o en una porción de los carri-

les bici no serlo. El concepto de salud de la Organización Mundial de la Salud (OMS, WHO por sus siglas en inglés) incluye no solo la ausencia de enfermedad, sino también el confort y el bienestar. En la reunión celebrada en Quito (Ecuador) bajo el auspicio de la OMS, en octubre de 2016, se reconoció que las ciudades podían tener un gran impacto en la salud. La OMS subrayó que el rápido crecimiento urbano en muchas ciudades impacta de forma negativa a la salud y al clima. El organismo de la ONU explicó que el tráfico en las ciudades mal diseñadas, la falta de acceso a energías limpias, además de estilos sedentarios de vida, dietas poco saludables y lesiones causadas por accidentes de tránsito, alimentan la pandemia mundial de enfermedades no transmisibles. El documento *Health as the pulse for the new urban agenda* (2016), emanado de la reunión de Quito, refleja ampliamente todas las facetas en las que se debe trabajar para que las transformaciones que se produzcan en las ciudades lo hagan en el sentido de aumentar el nivel de salud y reduzcan los riesgos hacia ella.

Dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible para la Agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas el tema urbano queda incluido en un objetivo específico, el Objetivo 11 “Alcanzar ciudades y comunidades sostenibles”. El Objetivo 3 hace referencia a la salud, “Salud y Bienestar”. Las medidas que se adopten para mejorar el desarrollo urbano tienen un impacto sobre la salud, pero también condicionan mejoras en otros aspectos de la vida de los ciudadanos. Estas mejoras se producen en los siguientes aspectos: habitabilidad, productividad laboral, vitalidad social, movilidad y equidad. La movilidad saludable y sostenible, basada esencialmente en la movilidad ciclista y la movilidad peatonal, agrupadas como movilidad activa, constituye un componente esencial de la ciudad saludable ecológica y social (Calvo Salazar, 2013; Marqués Sillero, 2017; Figueroa Clemente, 2018).

## La calidad del aire en los carriles de movilidad activa. Materiales y métodos de medición

Actualmente, en las ciudades, existe controversia en relación con la exposición al aire urbano contaminado y la dosis de inhalación entre diferentes modos de transporte urbano. Los usuarios de transporte motorizado, debido a su proximidad a las fuentes de contaminación, tienen una mayor exposición a gases contaminantes y partículas. Los ciudadanos con movilidad activa (ciclistas y peatones), debido a una mayor inhalación por el incremento de la tasa respiratoria, así como a un mayor tiempo de exposición, incrementan la dosis de adquisición de contaminantes, pero tienen más beneficios que riesgos para la salud y reducen las emisiones de CO<sub>2</sub> (Rojas-Rueda, de Nazelle, Tainio y Niuewenhuijsen, 2011). Sin embargo, parece que los beneficios de la movilidad activa debido a la actividad física son mayores que el riesgo de la inhalación de contaminantes. En el proyecto europeo Life+Respira se plantean medidas para reducir la exposición de los ciclistas a los principales contaminantes de la atmósfera urbana (Santamaría, 2017). En nuestro trabajo tratamos de poner de manifiesto el nivel de calidad del aire y confort térmico en un carril bici y la conveniencia de incluir la infraestructura verde urbana en los mismos para hacerlos más saludables. La elección de las especies vegetales adecuadas para zonas peatonales y carriles bici resulta esencial (Ochoa de la Torre, 2009; Santiago, Martilli y Martin, 2017; Buccolieri, Santiago, Rivas y Sánchez, 2018; Figue-

roa Clemente y Díaz-Galiano, 2018; Figueroa-Luque T., Cano García, Figueroa-Luque E., 2018; Figueroa-Luque, E. *et al.*, 2019; CESYT y Universidad de Sevilla, 2020).

Se han contemplado tres variables que permiten cuantificar el nivel de calidad del aire (CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>) en un carril bici de la ciudad de Sevilla ubicado en la unión de la avenida de Kansas City con la avenida de El Greco. Se han realizado medidas entre el mes de mayo de 2017 y el mes de enero de 2018 en tres momentos del día, mañana (9.00-11.00), mediodía (13.00-15.00) y tarde (18.00-20.00). Las medidas se tomaron con los siguientes equipos: CO<sub>2</sub> Testo 535, NO<sub>2</sub> AQ 20 con sensor específico, O<sub>3</sub> AQ-200 con sensor específico. Las temperaturas del suelo, tomadas a mediodía del mes de julio en el pavimento del carril bici con sombreado de árbol, sombreado de edificio y sin sombreado, se tomaron con un medidor de infrarrojos Coamer Infrared Thermometer. La radiación total incidente se registró en un mediodía del mes de julio en situación de sombreado con árbol y sin sombreado en un carril bici con un radiómetro LX-102 Lightmeter 400-700 nm. La emisión de calor de pavimento del carril bici se tomó en meses de verano (junio, julio y agosto) en tres momentos del día, mañana, mediodía y tarde, con un piranómetro LP PYRA 03AV 400-1200 nm.

## Análisis de los factores de incidencia en la calidad del aire y el confort térmico en la salud de las ciudades

La contaminación del aire en España produce 20 veces más muertes que el número de víctimas en los accidentes de carretera de acuerdo con el *Informe sobre la calidad del aire en Europa 2016*, publicado por la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA). La contaminación del aire es un problema de salud pública en España de acuerdo con investigadores del Departamento de Epidemiología y Bioestadística del Instituto de Salud Carlos III. El 3% de la mortalidad anual en España, en el periodo 2000-2009, es atribuible a la contaminación atmosférica, según datos facilitados por el Instituto Nacional de Estadística (INE) y el Ministerio de Medio Ambiente. En España, el 35% de la población respira aire contaminado, de acuerdo con el Instituto de Salud Carlos III. Dentro del amplio rango de los efectos nocivos sobre la salud de la contaminación urbana, cobran especial relevancia aquellos que se producen sobre el sistema cardiovascular y el tracto respiratorio, tanto superior, como inferior, de acuerdo con estudios del citado instituto.

La Organización Mundial de la Salud recuerda en cada informe que la contaminación provoca el 43% de las muertes por enfermedad pulmonar destructiva crónica (EPOC), el 29% de las muertes y enfermedades por cáncer de pulmón, el 25% de las muertes y enfermedades por cardiopatía isquémica, el 24% de las muertes por ictus, y el 17% de las muertes y enfermedades por infecciones respiratorias agudas. La contaminación del aire constituye un serio problema en las ciudades no solo para los peatones sino también a los usuarios de esa otra forma de movilidad activa que es la bicicleta. Los ciudadanos que utilizan la bicicleta que circulan por los carriles bici y también los que circulan por la calzada respiran aire contaminado a una tasa superior a la del peatón. También los ciclistas, al igual que los peatones, circulan por la ciudad por espacios carentes de confort térmico, cuestión que se hará más grave en los escenarios esperados de cambio climático. Es urgente, pues, evaluar la calidad ambiental de los itinerarios de circulación en bicicleta en las ciudades.

Algunos indicadores que podemos utilizar para evaluar el nivel de calidad ambiental en un punto determinado de la ciudad (Figueroa Clemente *et al.*, 2018; Figueroa-Luque T. *et al.*, 2018; Figueroa-Luque T., en realización) relativos a la calidad del aire y el confort térmico son: dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), ozono ( $\text{O}_3$ ), dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), material particulado PM ( $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2,5}$ ), temperatura del pavimento, radiación solar incidente, albedo, radiación ultravioleta (UVA, UVB+C) y radiación emitida por el pavimento. Vamos a exponer algunos efectos en la salud de la mala calidad del aire y la ausencia de confort en las ciudades (Barragán, 2010). En el interior de las ciudades aparecen valores algo más elevados de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) que en el ambiente exterior a las mismas, unos 500 ppm, no superándose normalmente los 600 ppm, con picos de 700-900 ppm. En cualquier caso, un valor elevado de  $\text{CO}_2$  en la ciudad, por encima del valor medio de las ciudades entre 400 y 600 ppm, implica que el aire no está bien renovado, hay exceso de tráfico motorizado, focos de contaminación por combustión y defecto de vegetación que absorba el  $\text{CO}_2$ . El monóxido de carbono (CO) es un compuesto frecuente en la atmósfera urbana contaminada, originado por procesos de combustión incompleta de combustibles fósiles y biocombustibles, y altamente peligroso si se alcanzan concentraciones elevadas. Las concentraciones de CO en zonas urbanas están ligadas a la densidad de tráfico, formas inadecuadas de conducción, condiciones meteorológicas, densidad y altura de bloques de viviendas, anchura de calles, altura de los edificios y geometría del trazado urbano. La concentración de CO en las ciudades varía diariamente, fundamentalmente con el cambio de los patrones de circulación del tráfico motorizado. El CO afecta a la salud humana por su capacidad de combinarse con la hemoglobina de la sangre para formar carboxihemoglobina, sustancia que reduce la capacidad de la sangre para transportar oxígeno. La exposición a CO puede reducir la capacidad de transportar oxígeno de la sangre, lo que reduce el suministro de oxígeno a los órganos y tejidos del cuerpo (Guyton y Hall, 2016).

El dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) es un contaminante primario urbano que proviene de manera fundamental de la oxidación del NO, cuya fuente principal es la emisión de los vehículos a motor de combustión y de centrales térmicas. Las concentraciones medias de fondo anuales de  $\text{NO}_2$  en las ciudades europeas se enmarcan entre 18 y 65  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 0,00958 ppm y 0,03461 ppm, de acuerdo con el informe, de 2008, Calidad del aire a escala urbana y local (Agencia Europea del Medio Ambiente). La media anual no debe superar los 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,021 ppm), y la media horaria no debe exceder los 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,106 ppm), no recomendándose que haya más de 18 horas con superación del valor indicado al año. El umbral de alerta del dióxido de nitrógeno se sitúa en 400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , (0,212 ppm) de acuerdo con el Informe de la Evaluación de la Calidad del Aire en España de 2012, Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, y el Real Decreto 102/2011 relativo a la mejora de la calidad del aire (BOE de 29 de enero de 2011). La concentración anual en ciudades europeas se enmarca entre 8 (0,004 ppm) y 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,015 ppm) de media (Análisis de la Calidad del Aire en España 2001-2012). Los estudios epidemiológicos han demostrado que los síntomas de bronquitis en niños asmáticos aumentan en asociación con la exposición a largo plazo a  $\text{NO}_2$ . El valor límite se establece en 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,106 ppm). La media anual no debe superar los

40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,021 ppm), y la media horaria no debe exceder los 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,106 ppm), no recomendándose —como se ha señalado antes— que haya más de 18 horas con superación del valor indicado al año, de acuerdo con la Directiva 1999/CE.

La contaminación por ozono está generada por la combinación de la radiación solar y la presencia de compuestos precursores del ozono provenientes fundamentalmente del tráfico motorizado en las ciudades. El exceso de ozono en el aire urbano puede tener un marcado efecto sobre la salud humana, debido a su poder oxidante. El ozono produce irritación de los ojos, fosas nasales, garganta y bronquios, induciendo inflamación de mucosas y conjuntiva. De acuerdo con el Real Decreto 102/2011 relativo a la mejora de la calidad del aire, el valor objetivo para la protección de la salud humana, en relación con el máximo diario de medias móviles octohorarias, no se deberá superar el valor de 120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,06124 ppm) más de 25 días al año. La Organización Mundial de la Salud (WHO) recomienda bajar el valor a 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,05104 ppm).

El dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) es un gas, un contaminante primario debido a emisiones de centrales térmicas, procesos industriales, combustiones y, en las ciudades, el tráfico motorizado. El Real Decreto 102/2011 relativo a la mejora de la calidad del aire considera que el valor límite horario (media durante una hora) para este gas, que no podrá superarse en más de 24 ocasiones en el año civil, será de 350  $\mu\text{m}/\text{m}^3$  (0,13385 ppm). El valor límite diario (media de 24 horas) deberá ser 125  $\mu\text{m}/\text{m}^3$  (0,0478 ppm) que no podrá ser superado en más de tres ocasiones por año civil. El valor correspondiente al umbral de alerta para el  $\text{SO}_2$  se sitúa en 500  $\mu\text{m}/\text{m}^3$  (0,19121 ppm). Los estudios epidemiológicos sugieren que el  $\text{SO}_2$  puede afectar al sistema respiratorio y las funciones pulmonares, y causa irritación de los ojos. La inflamación del sistema respiratorio provoca tos, secreción mucosa y agravamiento del asma y bronquitis crónica, y aumenta la susceptibilidad de las personas a las infecciones del tracto respiratorio.

El término material particulado o partículas en suspensión en la atmósfera urbana alude a un amplio espectro de sustancias orgánicas e inorgánicas con características químicas y físicas diversas, dispersas en el aire procedente de fuentes naturales y artificiales. Muestran un tamaño variable entre 0,005 y 100 micras ( $\mu\text{m}$ ). Las partículas constituyen un excelente indicador de la calidad de aire urbano. La diferenciación por tamaños, a efectos de control, se realiza denominando las partículas menores o iguales a un diámetro aerodinámico de 10  $\mu\text{m}$  como  $\text{PM}_{10}$ , y a las partículas menores o iguales de 2,5  $\mu\text{m}$  de diámetro aerodinámico como  $\text{PM}_{2,5}$ . En relación con partículas 2,5  $\mu\text{m}$ , el valor límite medio anual para la protección de la salud no debe exceder de 25  $\mu\text{m}/\text{m}^3$ , pero para el año 2020 la Comisión Europea baja la cifra a 20  $\mu\text{m}/\text{m}^3$ . De acuerdo con las directrices *Air Quality Guidelines World Health Organization* Europa (AQGs), para las partículas  $\text{PM}_{2,5}$  la media anual no debe superar los 10  $\mu\text{m}/\text{m}^3$ , no debiéndose superar los 25  $\mu\text{m}/\text{m}^3$  de media en 24 horas; y para las partículas  $\text{PM}_{10}$  la media anual no debe superar los 20  $\mu\text{m}/\text{m}^3$ , no debiéndose superar los 50  $\mu\text{m}/\text{m}^3$  de media en 24 horas. En los carriles bici de las ciudades, así como en las zonas peatonales cercanas a la calzada, estos indicadores deberían medirse de forma habitual para tomar las medidas necesarias para preservar la salud de la ciudadanía (Figueroa-Luque T., en realización).

Los pavimentos de nuestras calles tienen diferentes comportamientos térmicos, debido a su diferente capacidad de absorber y emitir calor

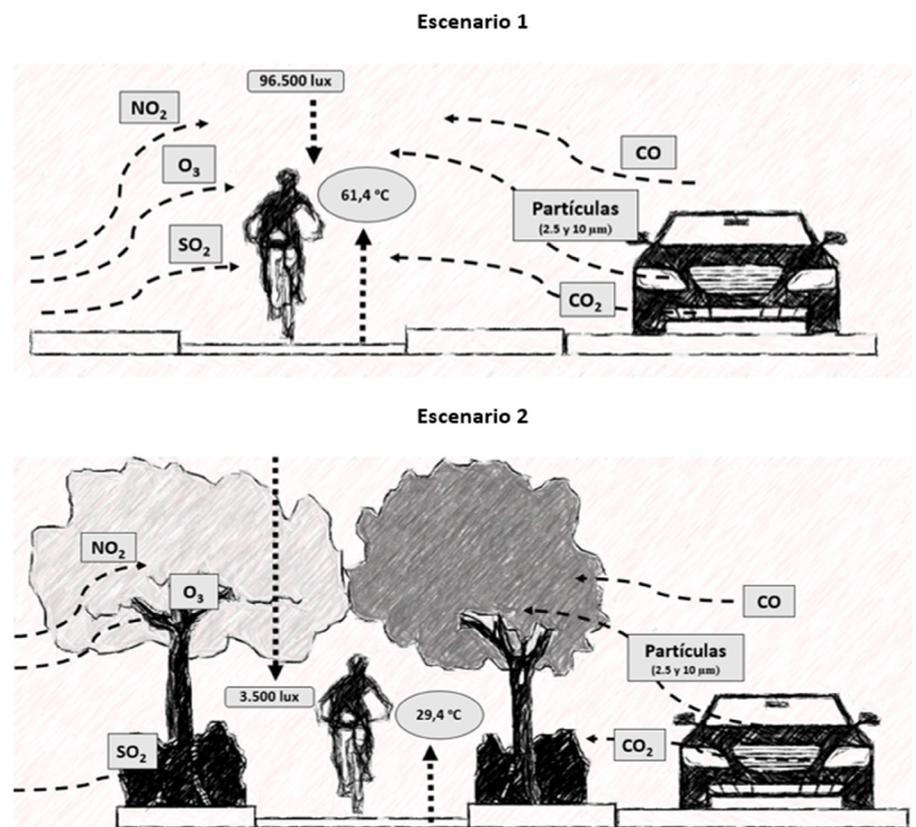
(que dependen de la capacidad de reflexión del material y de su capacidad volumétrica de calor función de su calor específico, así como de la conductividad del mismo) que deben ser puestos de manifiesto, ya que su comportamiento en relación con la cesión de calor a la baja atmósfera urbana, donde transita el peatón, puede ser muy variable, llegando a ser intensa, especialmente en determinadas horas del día en el periodo de verano o estío.

Una cuestión relevante, especialmente en los periodos de verano y estío, es la radiación solar total incidente sobre nuestras calles, que incluye a la radiación ultravioleta (UVA, UVB, UVC), una parte del espectro de radiación solar que constituye alrededor del 7% del mismo. La medida de radiación solar incidente en condiciones de sombra por efecto de los árboles o en condiciones de soleamiento total constituye un excelente indicador de confort urbano, que debe ser tenido en cuenta en nuestros barrios. El albedo de la superficie urbana es una medida del porcentaje de radiación reflejada de una superficie determinada con respecto al total incidente y se expresa en porcentaje. Es un indicador de la capacidad de reflexión de radiación que tiene un determinado pavimento o superficie urbana. La radiación ultravioleta (UV) constituye aproximadamente un 7% de la radiación total incidente del sol, dividida en tres franjas denominadas A, B y C, que integran la radiación UVA (400-315 nm), UVB (315-280 nm) y UVC (280-100 nm). Normalmente se habla de la radiación ultravioleta cercana (400-300 nm), la radiación ultravioleta media (300-200 nm) y la radiación ultravioleta lejana (220-122 m). La radiación UVC es la más perjudicial para la vida por sus intensos efectos mutagénicos. La radiación ultravioleta puede provocar diversos efectos entre los que se incluye cáncer de piel, envejecimiento de la piel, manchas, así como afecciones a nivel ocular. Los diferentes pavimentos urbanos tienen capacidades diferentes en relación con el balance térmico urbano. Unos captan la energía de la radiación de forma más rápida que otros, y algunos desprenden el calor absorbido durante el día a diferente velocidad que otros, reteniendo más tiempo el calor. Por ello, la salida de calor del pavimento hacia la baja atmósfera de la ciudad, por donde circula la movilidad activa, será diferente, y con ello la experiencia térmica del ciudadano. Este hecho se está estudiando en el proyecto Metabolismo Verde, llevado a cabo por la Consultoría Estratégica de Servicios y Territorios (CESYT) y la Universidad de Sevilla, bajo el patrocinio de CDTI y por Teresa Figueroa-Luque (en realización). Resulta imprescindible analizar la calidad del aire y el confort térmico del carril bici en las ciudades para implementar las mejoras necesarias fundamentalmente en relación con las soluciones basadas en la naturaleza a través de la infraestructura verde, con el fin de conseguir la calidad ambiental adecuada (Santiago, Martilli y Martin, 2017; Buccolieri *et al.*, 2018). La contemplación de los escenarios previstos en relación con el cambio climático en nuestras ciudades, con un importante incremento del efecto isla de calor, hace necesaria la visualización de la infraestructura verde como una solución para disminuir los efectos negativos del incremento de las temperaturas y la emisión de calor de los pavimentos, incluido el carril bici, en las ciudades (Barragán, 2010; CESYT y Universidad de Sevilla, 2020; Figueroa-Luque T., en realización).

## La bicicleta en las ciudades: implicaciones en la salud urbana de la movilidad activa

La movilidad sostenible constituye uno de los principales retos para las ciudades del siglo xxi (Calvo Salazar, 2013). La bicicleta se ha convertido en una herramienta esencial de movilidad alternativa tanto en las ciudades como en los entornos periféricos metropolitanos. La bicicleta constituye una prioridad en el modelo de desarrollo de las ciudades que desean ser sostenibles (Marqués Sillero, 2017). La movilidad activa, ciclista y peatonal, está en el centro de las acciones en el marco de los Planes Estratégicos ante el Cambio Climático de las ciudades (Figueroa Clemente *et al.*, 2009). En el escenario de Emergencia Climática decretado por el Gobierno de España, y asumido por ciudades y universidades, la movilidad basada en la bicicleta adquiere un alto e incuestionable valor. La movilidad ciclista constituye una forma de desplazamiento saludable, sostenible, social, económica y limpia en relación con el Cambio Climático, ya que contribuye a la descarbonización de la ciudad. Por supuesto, la bicicleta constituye un medio ecológico de transporte no solo para los residentes de la ciudad, sino también para los turistas que la visitan. Descubrir la ciudad a golpe de pedal no es solo una forma de visitarla, sino un camino de vida más saludable. Pero los usuarios de la bicicleta están expuestos a variables ambientales que pueden incidir en su salud, bienestar y confort (Figura 1). Los beneficios y riesgos de la movilidad urbana son objeto de estudios actualmente, poniendo el énfasis en la exposición al aire contaminado, la actividad física y los accidentes de tráfico (Rojas-Rueda *et al.*, 2011).

La infraestructura verde, a través del arbolado, arbustos y matorrales dispuestos en seto, pueden filtrar de forma eficiente la contaminación de la ciudad generada por la movilidad motorizada. Igualmente, se consigue a través de la infraestructura verde un mayor confort térmico.



**Figura 1.** Visualización de dos posibles escenarios para los ciclistas en la ciudad. Escenario 1: Carril bici con alta exposición a gases contaminantes y partículas así como a radiación solar. Escenario 2: Carril bici con menor exposición a gases contaminantes, partículas y radiación solar debido a la infraestructura verde. Fuente: Elaboración propia.

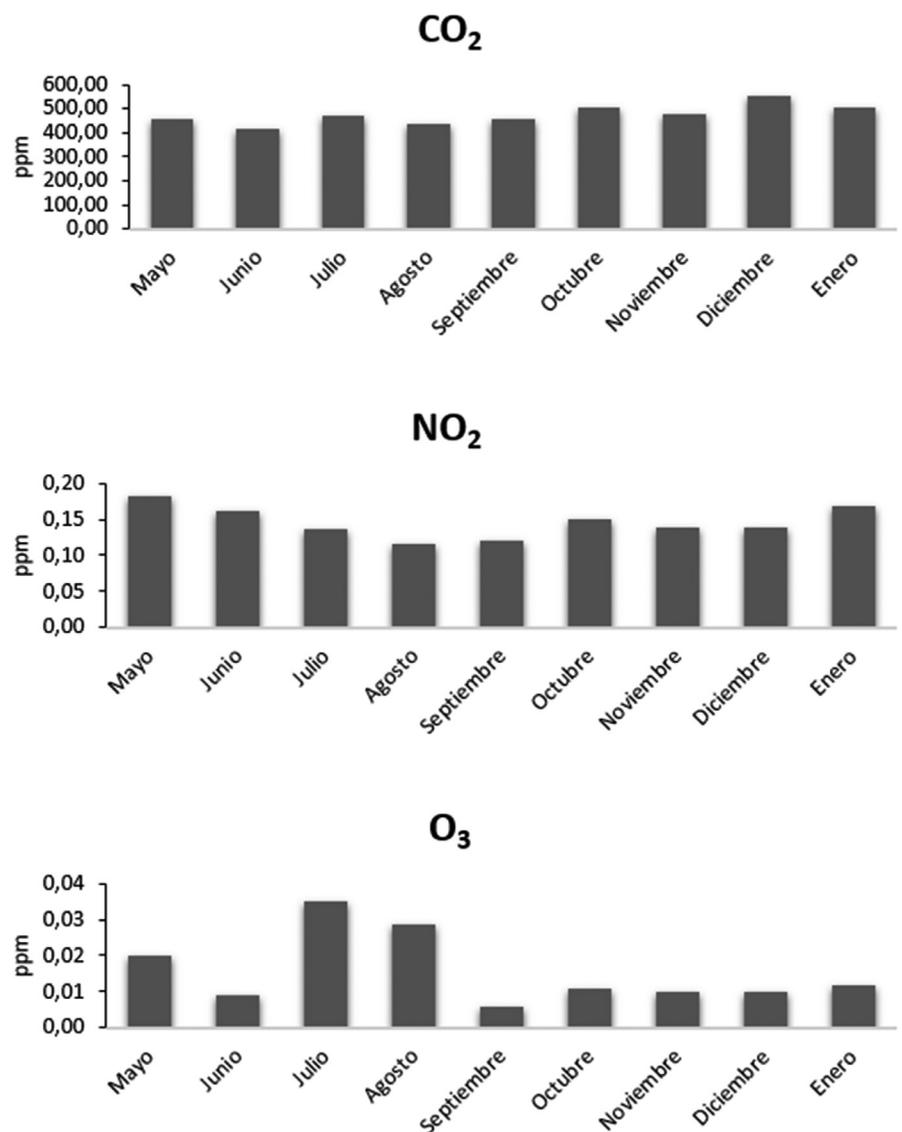
mico en los carriles bici a través de una adecuada disposición del arbolado. De acuerdo con este estudio, los beneficios para la salud de la actividad física que genera la bicicleta en Barcelona fueron mayores que los riesgos por inhalación de contaminantes del aire urbano y accidentes de tráfico. El tema del efecto en la salud de los usuarios de la bicicleta en la ciudad de la contaminación aérea es un tema que debe ser estudiado en todas las ciudades partiendo de estudios detallados de la calidad del aire a lo largo de los carriles bici; al igual debe determinarse el confort radiativo y térmico en los mismos para evitar incidencias en la salud derivadas de golpes de calor, sofocaciones o insolación (Figuerola-Luque T., 2018; en realización).

La mejora de la calidad ambiental de los carriles bici puede lograrse mediante la infraestructura verde; en este sentido el Proyecto Metabolismo Verde que desarrolla la Universidad de Sevilla con la Consultoría Estratégica de Servicios y Territorios (CESYT), a través de un proyecto patrocinado por el CDTI, abre caminos para el diseño y gestión del sistema verde viario. Muchas ciudades de Europa muestran un extenso desarrollo de carriles bici y una atención adecuada a esta forma de movilidad activa: Copenhague, Utrecht, Amsterdam, Estrasburgo, Malmö, Burdeos, Amberes, Liubliana, Berlín, Dublín, Estrasburgo, Barcelona y Sevilla. El Dr. Ingo Proböse, director del Centro de Salud de la Universidad Alemana del Deporte (DSHS) y autor del informe *Cycling & Health*, expone los beneficios de la utilización de la bicicleta como forma de movilidad: reduce riesgo de infarto, reduce el colesterol, estimulación muscular, estimulación del sistema inmunológico, reduce el estrés, generación de endorfinas. La movilidad activa es imprescindible para alcanzar en las ciudades un adecuado nivel de salud y confort. Dentro de la movilidad activa, la bicicleta es esencial para trayectos de cierta distancia que exceden la movilidad peatonal. Por ello, hay que estudiar el nivel de calidad del aire y confort en los trayectos habituales utilizados por los ciclistas urbanos, especialmente los referidos a carriles bici. El establecimiento del nivel de calidad del aire y el confort térmico y radiativo de los carriles bici es esencial. La infraestructura verde resulta indispensable en muchos casos donde, por ejemplo, la contaminación que genera la movilidad motorizada es difícilmente reducible por razones de fluidez del tráfico y circulación general urbana (Ochoa de la Torre, 2009; Buccolieri *et al.*, 2018; CESYT y Universidad de Sevilla, 2020; Figuerola-Luque T., en realización).

## El arbolado en las ciudades: implicaciones de la infraestructura verde en la salud urbana

Como ya hemos indicado, se debería cuantificar la realidad de la calidad del aire en los carriles bici de las ciudades y evaluar qué medidas deberían ponerse a punto para conseguir carriles bici saludables. Se ha medido (Figura 2) la calidad del aire (cuantificando  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  y  $\text{O}_3$ ) en un carril bici de una avenida de la ciudad de Sevilla sin protección de infraestructura verde en el marco del proyecto Ciudad Saludable, llevado a cabo por EMASESA, el Ayuntamiento de Sevilla y la Universidad de Sevilla en 2017 y 2018. Con respecto al dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), los valores medios diarios mensuales se sitúan entre 400 y 500 ppm, alcanzándose valores máximos superiores a 600 ppm en el otoño e invierno, con picos cercanos a 700 ppm. Los valores de dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) varían entre los distintos meses, siendo menor su concentración

Figura 2. Evolución de la contaminación ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ) a lo largo del año en un carril bici situado en una avenida de la ciudad de Sevilla. Fuente: Elaboración propia.



en la atmósfera urbana en los meses de verano (ligeramente superiores a 0,10 ppm) y superiores en los meses invernales (superiores a 0,15 ppm). En relación con el ozono ( $\text{O}_3$ ) los valores encontrados son muy superiores en verano (julio y agosto por encima de 0,03 ppm) con respecto a los valores registrados en invierno (alrededor de 0,01 ppm), debido al efecto que tiene la temperatura y la radiación solar en la generación de ozono troposférico a partir de gases contaminantes urbanos precursores generados en gran parte por la movilidad motorizada. Los valores más elevados se encuentran entre las 12.00 h y las 18.00 h de los meses de verano. Los valores encontrados en el carril bici se podrían mejorar con la implantación del arbolado adecuado con la correcta elección de las especies, su alineamiento y su gestión posterior con el fin de que la infraestructura verde ejerza su función limpiadora de la atmósfera urbana y también atenuadora de extremos térmicos.

En la Figura 3 se muestran los resultados de las medidas de la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) tomadas en el pavimento en un carril bici de la ciudad de Sevilla durante los meses de junio, julio y agosto en relación con la protección del arbolado, en comparación con la alcanzada al sol o con sombra física (sombreado de los edificios). Se midió la temperatura, mediante un termómetro de infrarrojos, al inicio de la mañana (9.00-11.00), mediodía (13.00-15.00) y tarde (18.00-20.00). Los valores siem-

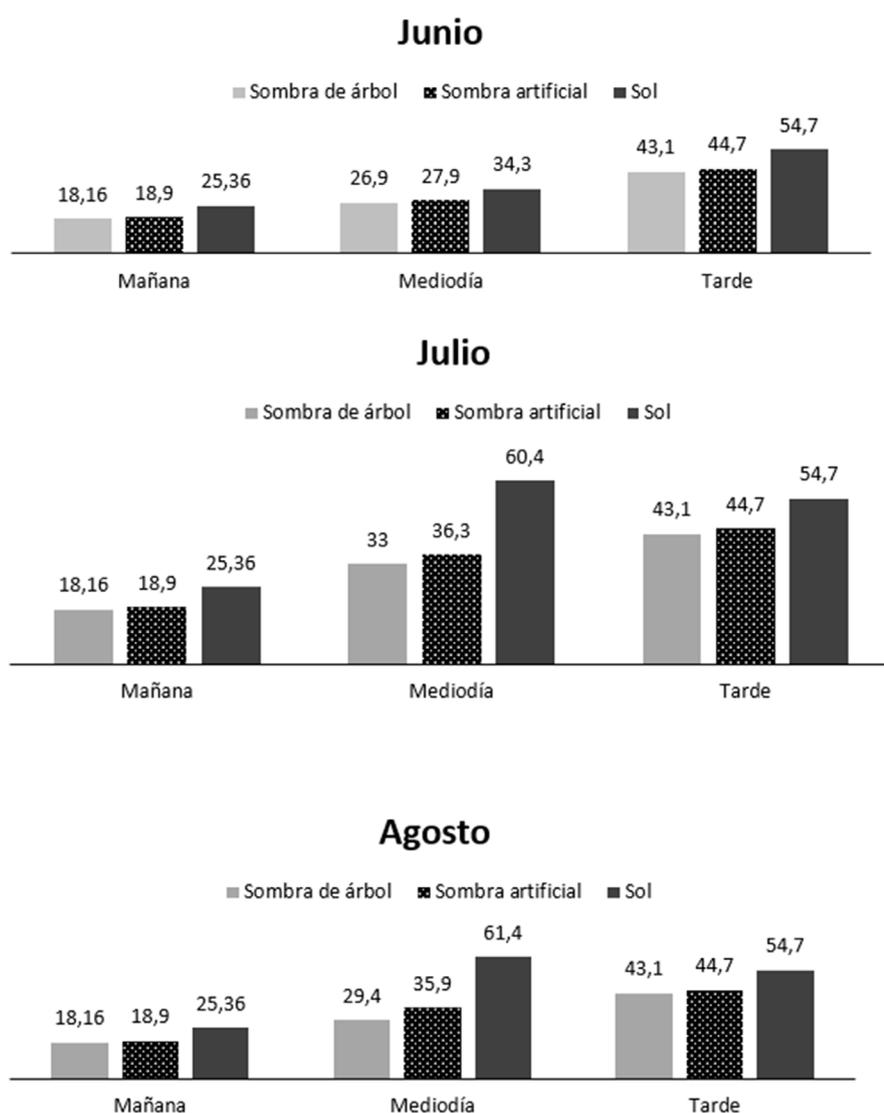


Figura 3. Medidas de la temperatura (°C) del pavimento de un carril bici durante los meses de junio, julio y agosto en relación con la protección del arbolado en comparación con la alcanzada al sol o con sombra física (sombreado de los edificios). Fuente: Elaboración propia.

pre son superiores en el periodo de tarde, encontrándose los más elevados en el mes de julio, con valores similares en agosto. En todos los meses hay diferencias marcadas entre los valores registrados al sol en comparación con sombra de árbol y sombra de edificios, encontrándose los valores que generarían un mayor confort ambiental bajo la cobertura del arbolado. En el mes de julio se miden valores de 60,4°C en el pavimento al sol y 33°C en el pavimento del carril bici a la sombra del arbolado.

Se ha cuantificado la emisión de calor del pavimento (expresada en  $W/m^2$ ) del carril bici mediante un piranómetro a lo largo del día, en los mismos intervalos indicados para la medida de la temperatura. La emisión de calor siempre es notablemente mayor en las medidas de tarde, mostrándose diferencias más elevadas entre las situaciones evaluadas al mediodía, con valores de 8  $W/m^2$  en el mes de agosto a la sombra del arbolado, en comparación con valores superiores a 120  $W/m^2$  al sol. La emisión de calor del pavimento del carril bici sin atenuación por parte de arbolado genera una elevada temperatura a nivel del ciclista que puede tener efectos negativos sobre la salud en los momentos más cálidos, es decir, en el intervalo de horas entre las 12.00 h y las 20.00 h, especialmente en verano.

En la Figura 5 se muestra la radiación solar incidente, medida mediante un radiómetro (lux), en un carril bici con arbolado y en ausen-

Figura 4. Emisión de calor del pavimento ( $W/m^2$ ) de un carril bici durante los meses de junio, julio y agosto en un ciclo diario en ausencia de sombra de árbol, sombra física y sombra de arbolado. Fuente: Elaboración propia.

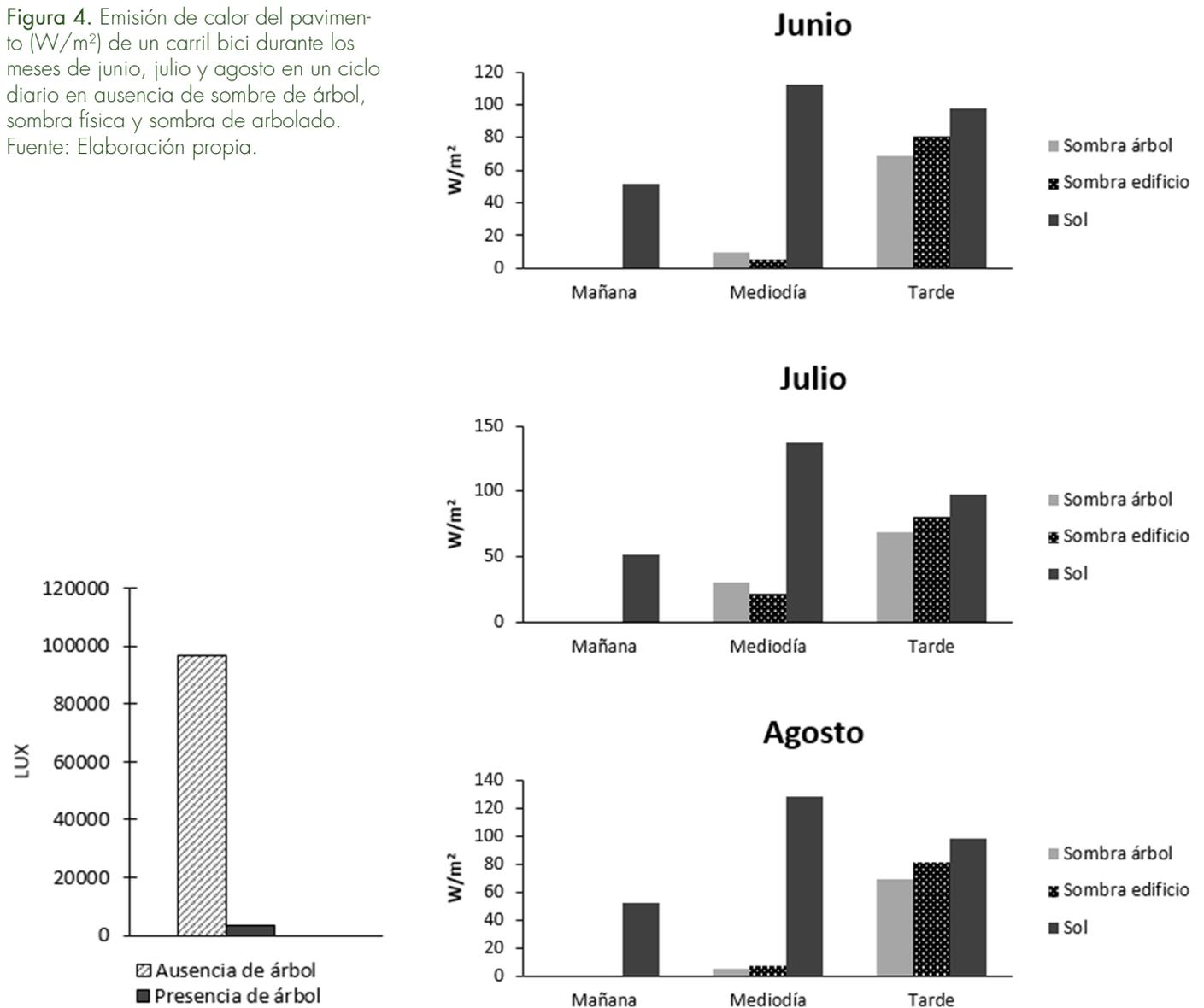
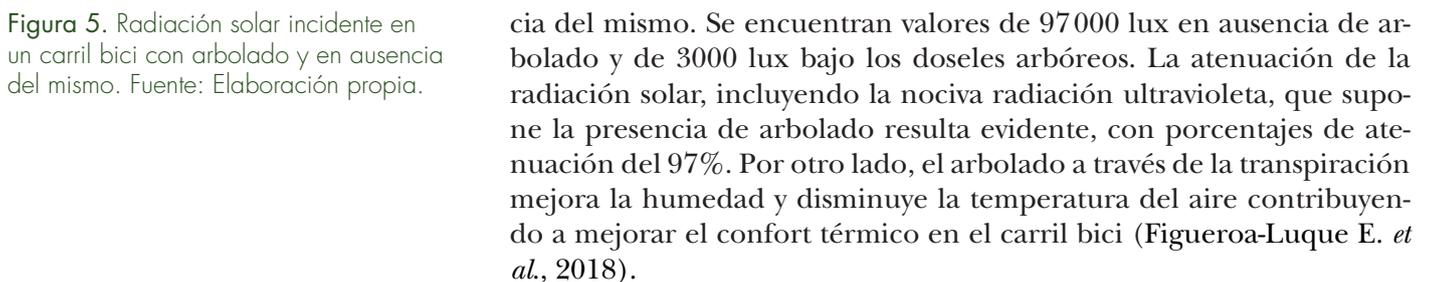


Figura 5. Radiación solar incidente en un carril bici con arbolado y en ausencia del mismo. Fuente: Elaboración propia.



cia del mismo. Se encuentran valores de 97000 lux en ausencia de arbolado y de 3000 lux bajo los doseles arbóreos. La atenuación de la radiación solar, incluyendo la nociva radiación ultravioleta, que supone la presencia de arbolado resulta evidente, con porcentajes de atenuación del 97%. Por otro lado, el arbolado a través de la transpiración mejora la humedad y disminuye la temperatura del aire contribuyendo a mejorar el confort térmico en el carril bici (Figueroa-Luque E. *et al.*, 2018).

## Conclusiones: salud urbana, bicicletas y árboles en un nuevo modelo de ciudad en el escenario del siglo XXI

La salud urbana depende de la matriz ambiental de las diferentes calles de la ciudad por donde circulan los usuarios urbanos de la bicicleta a través del carril bici. Diferentes estudios ponen de manifiesto que, a pesar de cuestiones derivadas de la inhalación de contaminantes o el riesgo de accidentes, la circulación en bicicleta tiene beneficios para la salud (Rojas-Rueda *et al.*, 2011). Nuestros resultados muestran que la circulación por el carril bici en las ciudades transcurre en una capa atmos-

férica urbana que muestra contaminación, fundamentalmente debida al tráfico motorizado en muchas partes de la ciudad, que puede afectar a la salud de los usuarios de la bicicleta. Pero hay que procurar que en los denominados Planes de la Bicicleta en las ciudades se estudie el nivel de contaminación en los carriles bici de la ciudad. Muchos estudios ponen de manifiesto la limpieza del aire que ejerce la infraestructura verde en relación con la calidad del aire (Santiago, Martilli y Martín, 2017; Buccolieri *et al.*, 2018; CESYT y Universidad de Sevilla, 2020; Figueroa-Luque T., en realización) y también la atenuación de los rigores térmicos junto con el exceso de radiación solar (CESYT y Universidad de Sevilla, 2020; Figueroa-Luque T., en realización). Por ello, se hace necesaria una evaluación de la situación del carril bici de la ciudad en relación con la contaminación urbana y la presencia de infraestructura verde. Una correcta elección de las especies es imprescindible, así como un adecuado alineamiento de los ejemplares y una gestión posterior del arbolado que permita la función de purificación del aire. La cuestión del balance radiativo y térmico urbano es una cuestión trascendental especialmente en los escenarios previstos de cambio climático.

Hemos puesto de manifiesto que la presencia del arbolado en el carril bici favorece condiciones de menos incidencia de la radiación solar, lo cual minimiza la posibilidad de insolación. Las temperaturas que se alcanzan en el pavimento del carril bici en verano son muy superiores en el pavimento al sol comparado con el pavimento a la sombra del arbolado. Idénticos resultados se encuentran en relación con la emisión de calor del pavimento del carril bici, muy superior en ausencia de arbolado. Esta situación favorece la aparición de golpes de calor y sofocamientos en los usuarios de la bicicleta, cuestión que se incrementará con las subidas de las temperaturas en las ciudades asociadas al cambio climático.

La conclusión de nuestra investigación incide en la importancia de la cuantificación de la matriz ambiental del carril bici de nuestras ciudades, con el fin de que la mejora de la salud personal que significa el uso de la bicicleta en relación con el ejercicio físico no se vea disminuida por una mayor exposición a la contaminación urbana (Barragán, 2010; Rojas-Rueda *et al.*, 2011; Santiago *et al.*, 2017; Santamaría, 2017; Buccolieri *et al.*, 2018; CESYT y Universidad de Sevilla, 2020; Figueroa-Luque T., en realización) o bien a efectos térmicos en relación con la isla de calor urbana (Ochoa de la Torre, 2009; CESYT y Universidad de Sevilla, 2020; Figueroa-Luque T., en realización).

Finalmente, insistir en la importancia que tiene la infraestructura verde, muy especialmente el arbolado, en la facilitación de una matriz urbana saludable, a través de la limpieza del aire y la disminución de rigores térmicos y radiativos, para los usuarios de la movilidad activa y especialmente para los ciclistas urbanos, desarrollando espacios específicos de circulación ciclista con alta calidad ambiental. Una aproximación como la que proponemos conduciría a una red de carril bici saludable en nuestras ciudades, imprescindible en la situación ambiental actual y ante los escenarios previstos de cambio climático.

## Agradecimientos

Agradecemos a la empresa MAGTEL el soporte económico para realizar estudios de calidad del aire y confort térmico en la Avenida de El Greco en Sevilla, así como a EMASESA del Ayuntamiento de Sevilla.

También deseamos mostrar nuestro agradecimiento al Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) del Ministerio de Ciencia e Innovación, a través de Fondos FEDER, por el patrocinio para el estudio sobre infraestructura verde desarrollado por Consultoría Estratégica de Servicios y Territorios (CESYT) y la Universidad de Sevilla.

## Referencias Bibliográficas

- Barragán, Horacio.L. (ed.) (2010). *Desarrollo, salud humana y amenazas ambientales*. La Plata: Edulp; Editorial de la Universidad Nacional de La Plata.
- Buccolieri, Ricardo; Santiago, Jose Luis; Rivas, Esther; y Sánchez, Beatriz (2018). Review on urban tree modeling in CFD simulations: Aerodynamic, deposition and thermal effects. *Urban Forestry and urban Greening*, 31, 212-230.
- CESYT y Universidad de Sevilla (2020). *Proyecto Infraestructura Verde*. CDTI.
- Calvo Salazar, Manuel (2013). *Movilidad sostenible de nuestras ciudades*. Sevilla: Editorial de la Universidad de Sevilla (Colección Sostenibilidad, 1).
- Figueroa Clemente, Manuel Enrique (2018). *La ciudad como sistema complejo en un paisaje de incertidumbre*. Sevilla: Instituto de Academias de Andalucía.
- Figueroa Clemente, Manuel Enrique; y Díaz Galiano Moya, Luis Alberto (2018). Los árboles urbanos y la salud ambiental. *La Cultura del Árbol. Revista Oficial de la Asociación Española de Arboricultura*, 80, 54-59.
- Figueroa Clemente, Manuel Enrique; Figueroa-Luque, Enrique; Cano García, Laura; Figueroa-Luque, Teresa; y Mateos Martínez, Elena (2018). *Ciudad Saludable: los indicadores ambientales en el proyecto de mejora urbanística de la Avenida de El Greco en Sevilla*. EMA-SESA. Ayuntamiento de Sevilla.
- Figueroa-Luque, Teresa (en realización). *La salud y el medio ambiente urbana en la ciudad del siglo XXI* (Tesis Doctoral). Universidad de Sevilla.
- Figueroa-Luque, Teresa; Cano García, Laura; y Figueroa-Luque, Enrique (2018). Salud, árboles y ciudad. *La Cultura del Árbol. Revista Oficial de la Asociación Española de Arboricultura*, 81, 44-51.
- Figueroa-Luque, Enrique *et al.* (2019). El árbol y la fracción oculta del ciclo del agua urbano. La salud y el confort ante escenarios de Cambio Climático. *La Cultura del Árbol. Revista Oficial de la Asociación Española de Arboricultura*, 83, 36-42.
- Froböse, Ingo (2004). *Cycling & Health. Kompendium gesundes Radfahren*. Alemania: Zentrum für Gesundheit.
- Guyton, Arthur; y Hall, John.E. (2016). *Tratado de Fisiología Médica*. Jackson: Elsevier.
- Marqués Sillero, Ricardo (2017). *La importancia de la bicicleta. Un análisis del papel de la bicicleta en la transición hacia una movilidad urbana más sostenible*. Sevilla: Editorial de la Universidad de Sevilla (Colección Sostenibilidad, 4).
- Mumford, Lewis (2014). *La ciudad en la historia*. Logroño: Pepitas de calabaza.
- Mumford, Lewis (2018). *La cultura de las ciudades*. Logroño: Pepitas de calabaza.
- Ochoa de la Torre, José Manuel (2009). *Ciudad, vegetación e impacto climático. El confort de los espacios urbanos*. Barcelona: Erasmus.
- Rojas-Rueda, David; de Nazelle, Audrey; Tainio, Marko; y Niuewenhuijsen, Mark J. (2011). The health risks and benefits of cycling in urban environments compared with car use: health impact assessment study. *BMJ*, 343, d4521. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmj.d4521>
- Santamaría, Jesus Miguel (2017). *Proyecto Life+Respira*. LIFE Unión Europea.
- Santiago, Jose Luis; Martilli, Alberto; y Martin, Fernando (2017). On dry deposition modeling of atmospheric pollutants on vegetation at the microscale applications to the impact of street vegetation on air quality. *Boundary Layer Meteorology*, 162, 451-474.
- Terradas, Jaume (2001). *Ecología Urbana*. Barcelona: Rubes.
- The Worldwacht Institute (2016). *Ciudades Sostenibles. la situación del mundo 2016. Del sueño a la acción*. Madrid: Icaria Editorial.
- World Health Organization (2016). *Health as the pulse for the new urban agenda*. Quito: WHO.

## Páginas web consultadas

- [https://www.cerodosbe.com/es/transportes/mejores-ciudades-europa-recorrer-bicicleta\\_566834\\_102.html](https://www.cerodosbe.com/es/transportes/mejores-ciudades-europa-recorrer-bicicleta_566834_102.html)
- <https://www.mapfre.es/seguros/particulares/otros-seguros/articulos/las-mejores-ciudades-de-europa-para-ir-en-bici.jsp>
- <https://www.salud180.com/nutricion-y-ejercicio/que-hace-la-bicicleta-por-tu-salud>
- <https://www.ciclosfera.com/un-estudio-beneficios-de-ir-en-bicicleta/>
- <https://www.cyclehelmets.org/1015.htm>

Figuroa-Luque, Enrique; Figuroa-Luque, Teresa; Mateos Martínez, Elena; Luque Palomo, Teresa; y Figuroa Clemente, Manuel Enrique (2020). Salud urbana, bicicletas y árboles. *Hábitat y Sociedad*, 13, 47-62.

<<http://dx.doi.org/10.12795/HabitatySociedad.2020.i13.04>>

