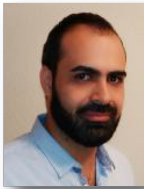


## CAMINABILIDAD EN LAS ACERAS DE MADRID

TAREK AL SHAMMAS<sup>1</sup>, FRANCISCO J. ESCOBAR<sup>1</sup>  
*tarek.al@edu.uah.es*



Tarek Al Shammás es estudiante de doctorado del Programa en Tecnologías de la Información Geográfica coordinado por el Departamento de Geología, Geografía y Medio Ambiente de la Universidad de Alcalá. Tiene un Master en Ingeniería Civil por la Universidad de Damasco y ha trabajado con herramientas SIG en planificación urbanística.

**Resumen:** La caminabilidad es definida como la forma en que el entorno influye en la toma de decisiones a utilizar para desplazarse, cuantificando los factores que incentivan la movilidad peatonal y ello depende de las características del entorno urbano con el que interactúan. La caminabilidad se relaciona con la salud de los individuos, así como con el transporte urbano y la sostenibilidad. Además de factores ya utilizados en propuestas previas, en este artículo analizamos la influencia que factores relacionados con la comodidad, como el ruido y la sombra disponible, tienen sobre el cálculo de índices de caminabilidad. La zona de estudio es el distrito Centro de Madrid, especialmente importante al ser la ciudad de España con mayor población y que está experimentando un profundo proceso de peatonalización.

**Palabras clave:** Índice de Caminabilidad, Comodidad, Datos Oficiales, Madrid.

**Abstract:** The walkability is a mean to analyze how the built environment affects the decision making used for walking in a city. It can be used to quantify the factors that encourage pedestrian mobility. This depends on factors such the urban environment they interact with. On the one hand, walkability is related to individual health issues, and on the other, issues of urban transport and sustainability. In addition to factors already used in previous literature, this article adds comfort factors such as noise and available shade. The results are applied to the Centro district of Madrid, especially important since it is the city of Spain with greater population and it is going through a process of transformation to encourage pedestrian mobility.

**Keywords:** Walkability Index, Comfort, Official Data, Madrid.

---

<sup>1</sup> Dpto. de Geología, Geografía y Medio Ambiente. Universidad de Alcalá.

## 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años ha aumentado la incentivación para adoptar el caminar como una actividad regular en la vida cotidiana (Blair, 2009). Esto se debe a que el ejercicio cotidiano, como es caminar, se relaciona positivamente con hábitos saludables (Ewing, Schmid, Killingsworth, Zlot, & Raudenbush, 2003), con la reducción de la contaminación del aire (Debyser, 2014) y con sostenibilidad del transporte (Saelens, Sallis, & Frank, 2003). Un reciente ejemplo de esta tendencia es la demarcación de Madrid Central como área restringida al tráfico. Madrid Central será una zona más protegida a la polución donde se promoverá la movilidad peatonal (Ayuntamiento de Madrid, 2018).

Muchos expertos sostienen que existe una relación directa entre la decisión de caminar y la presencia de ciertas características del entorno (Pikora, Giles-Corti, Bull, Jamrozik, & Donovan, 2003). Estas se han agrupado bajo diferentes categorías: funcionalidad, seguridad, estética del camino, proximidad de destinos, conectividad y densidad poblacional (McCormack & Shiell, 2011). El efecto de dichos factores se puede cuantificar y agregar en un índice de caminabilidad (IC), que cuantifica la potencia del entorno construido para incentivar a las habitantes a pasear por él (Abley, 2005).

Algunas investigaciones centradas en los índices de caminabilidad se han referido a la importancia del factor de confort que incluye la sombra en verano, el sol en invierno y la ausencia de ruido. Sin embargo, sus reflexiones no han pasado de meras discusiones teórico-cualitativas, sin llegar a proponer índices de caminabilidad que incluyeran estos aspectos (Maghelal & Capp, 2011). Ello puede ser debido a la escasez de datos al respecto, a la dificultad para modelizarlos o a que son considerados secundarios (Dannenberg, Cramer, & Gibson, 2004).

En términos generales, la literatura presenta dos maneras de medir el valor de cada factor del índice de la caminabilidad (Maghelal & Capp, 2011). La primera depende de intenso trabajo de campo destinado a capturar la información del entorno construido del área de estudio (Dannenberg et al., 2004). En la práctica esa manera conduce a resultados muy detallados, aunque necesita de muchos recursos. La segunda se basa en información disponible en fuentes secundarias, por ejemplo estadísticas y redes de infraestructura del área de estudio (Walk Score© 2017). La ventaja de esta última consiste en la facilidad para obtener información rápidamente, pero, en contrapartida, sus resultados son menos detallados.

Con el desarrollo de las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDEs), en la mayoría de áreas residenciales en los países desarrollados existe una amplia y detallada información estadística y espacial. En este sentido, el Ayuntamiento de Madrid proporciona acceso gratuito a una gran cantidad de información (Ayuntamiento de Madrid, 2016). Asimismo, se está dando un progresivo desarrollo de

los Sistemas de Información Geográfica en amplios sectores de actividad, que no solo permite archivar y procesar espacialmente estas informaciones, sino también presentar los resultados de una manera fácilmente interpretable (ESRI, 2018a). Bajo estas circunstancias, es hoy factible cuantificar los aspectos del entorno construido utilizando técnicas SIG, sin necesidad de costosas campañas de trabajo de campo.

El principal objetivo de este estudio es proponer un IC que incluya consideraciones adicionales a las ya incluidas en índices anteriores, como veremos a continuación. En primer lugar, los datos de los factores del índice se calculan a partir de fuentes oficiales de información preexistentes, cuyas bases de datos están disponibles gratuitamente online.

En segundo lugar, el IC debe de tener en cuenta los factores de confort, incluidas las condiciones de sombra/sol y de ruido. Esto requiere construir un IC dependiente del día del año y la hora del día.

La disponibilidad de este IC, computado a través de diferentes condiciones, ayudará a los investigadores, planificadores y profesionales a comprender el comportamiento de los ciudadanos relacionados con la caminabilidad y a tomar decisiones informadas para incentivar la movilidad peatonal.

Será posible obtener un valor del IC a cualquier hora del día y cualquier día del año mediante la aplicación de la técnica del índice propuesto en este estudio. Como demostración, el primer día de julio a las 11.00 horas ha sido seleccionado como el momento para computar y presentar los resultados del IC propuesto.

## **2. METODOLOGÍA**

### **2.1. Área de estudio**

El distrito central de Madrid ciudad representa el área del estudio. Esta área contiene un gran número de destinos turísticos y de servicios al ciudadano, lo que la convierte en un área de especial importancia en cuanto a sus condiciones de caminabilidad. El Ayuntamiento de Madrid ha restringido recientemente el acceso motorizado a la mayor parte de esta zona (Ayuntamiento de Madrid, 2018) con el fin de disminuir el tráfico y convertirla en un área protegida donde se favorece la movilidad peatonal. La reducción del tráfico, además de disminuir la contaminación, contribuye a bajar el nivel del ruido en esta área, lo que constituye uno de los factores deseables para animar a las personas a caminar. Por otro lado, la región de Madrid puede sufrir un tiempo extremo en verano e invierno, por lo que la distribución de las secciones en sombra o en sol ser deseadas o no, dependiendo de la temperatura en el momento del trayecto.

## 2.2. Datos

Los datos de entrada son obtenidos desde el portal de datos abiertos del Ayuntamiento de Madrid. Estos datos son actualizados regularmente lo que facilita el desarrollo de nuevas aplicaciones e investigaciones que requieran de series de datos.

Dato	Formato	Institución	Uso
Distritos, Secciones Censales, Ejes de calles	Shapefile	Instituto Nacional de Estadística, Nomenclátor oficial y Callejero	Definición de factores y presentación de los resultados
Acera		Cartografía municipal, Urbanismo e infraestructuras	Captura de los valores del Índice de Caminabilidad.
Edificios, Parcelas de edificios, Niveles de calles y edificios	Imagen		Dirección General de Sostenibilidad y Control Ambiental, Medio ambiente y movilidad
Mapa Estratégico de Ruido		Factor de ruido	
Epígrafes de actividad económica	Archivo de texto	Censo de actividades	Factor de diversidad de actividades
Número de personas		Padrón Municipal, Demografía	Factor de densidad poblacional

**Tabla 1.** Datos recogidos.

La tabla 1 recoge todos los datos que se usaron en este estudio. La diferencia entre los formatos y su nivel de agregación espacial requiere un trabajo inicial de integración.

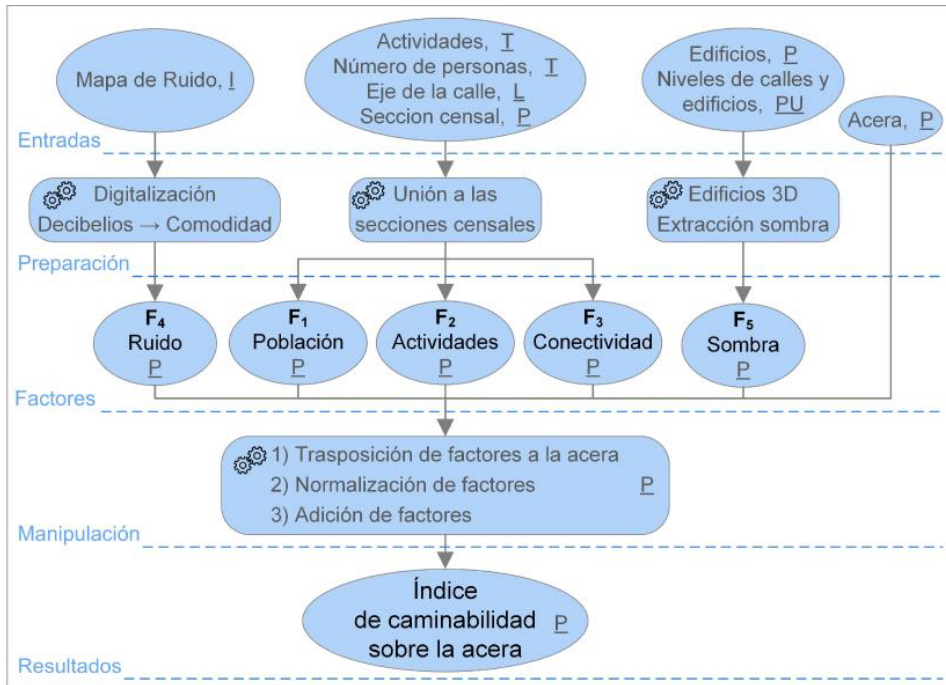
Los datos se recogieron para el año 2016, fecha más reciente en la que todos los datos están disponibles y actualizados.

Dado que nuestro estudio tiene en cuenta cinco factores de caminabilidad, los datos utilizados representan estos cinco aspectos del entorno. Los primeros tres (densidad de población, diversidad de actividades y conectividad) ya habían sido incluidos en estudios anteriores. En este estudio, estos tres factores son cuantificados individualmente en cada sección censal, que es el nivel más pequeño para el que se dispone de información. Los dos factores restantes (sombra/sol y ruido) son factores nuevos propuestos por este estudio. El factor de ruido es representa-

do por polígonos que se han digitalizado a partir del mapa acústico de Madrid. Por otro lado, el factor de sombra/sol se ha presentado como polígonos de la sombra de los edificios que evoluciona con la posición del sol (dependiente de la hora del día y el día del año).

Tras la recogida de datos, al tener estos formatos diferentes, exigen una preparación preliminar antes de acometer los cálculos. La figura 1 presenta el modelo cartográfico adoptado para el cálculo del IC propuesto.

Los factores de densidad de población ( $F_1$ ), diversidad de actividades ( $F_2$ ) y conectividad ( $F_3$ ) se consideran en cada sección censal respectivamente con el número de habitantes por  $\text{km}^2$ , el número de las actividades diferentes por  $\text{km}^2$  y la relación entre el número de intersecciones y la longitud total de las calles.



**Figura 1.** Mapa cartográfico del proceso, con formatos: I Imagen, P polígono, Pu Punto, T texto.

El factor ruido ( $F_4$ ) se considera en los polígonos del mapa acústico con un número que representa el confort relacionado con la ausencia de ruido. Según las clasificaciones de nivel de sonido, los sonidos por debajo de 40 dB son equivalentes a una noche tranquila, mientras que los sonidos por encima de 80 dB se

consideran perturbadores (Airport, 2014). Por eso, a los polígonos con un nivel de sonido igual o menor de 40 dB, se les atribuye el valor  $F_4=100$ , y a aquéllos cuyo nivel de sonido es igual o mayor de 80 dB, se les atribuye el valor ( $F_4=0$ ). Los valores intermedios se calculan mediante una interpolación lineal.

El factor sombra/sol ( $F_5$ ) se calcula a partir de un conjunto de polígonos extraídos de un modelo 3D de los edificios del distrito central de Madrid, usando la herramienta de volumen de sombra en el software ArcScene (ESRI, 2018b). El factor de sombra es binario, expresando la existencia o ausencia de la misma, ( $F_5 = \{1,0\}$ ).

Según el modelo cartográfico de la figura 1, el primer paso de la etapa de análisis de factores es transferir los valores de los mismos a las aceras a través de su superposición.

Debido a la diferencia entre las unidades de los factores medidos, es necesario modificar sus valores para permitir su adición. El rango elegido para normalizar los factores es [0-100] para los factores de densidad de población ( $F_1$ ), diversidad de actividades ( $F_2$ ), conectividad ( $F_3$ ) y ruido ( $F_4$ ) a través de la ecuación (1).

$$NF_{[x]} = \frac{F_{[x]} - \text{Min}(F_{[x]})}{\text{Max}(F_{[x]}) - \text{Min}(F_{[x]})} \cdot 100 : x = (1, 2, 3, 4) \dots (1)$$

Al llegar a esta etapa, todos factores del IC quedan preparados, con sus valores normalizados en los polígonos que forman las aceras del distrito central de Madrid. El IC se calcula en cada polígono aplicando la ecuación (2). Puesto que la hora elegida para calcular el IC es de un día en verano (1 de julio) y sería más favorable andar por zona de sombra, la ecuación (2) aumenta el IC cuando el polígono tiene sombra  $NF_5 = 100$  y lo reduce cuando el polígono no tiene sombra  $NF_5 = 0$ . Inicialmente calculamos la situación antes de las restricciones de tráfico asociadas a la normativa municipal de Madrid Central.

$$IC = NF_1 + NF_2 + NF_3 + NF_4 + NF_5 \dots (2)$$

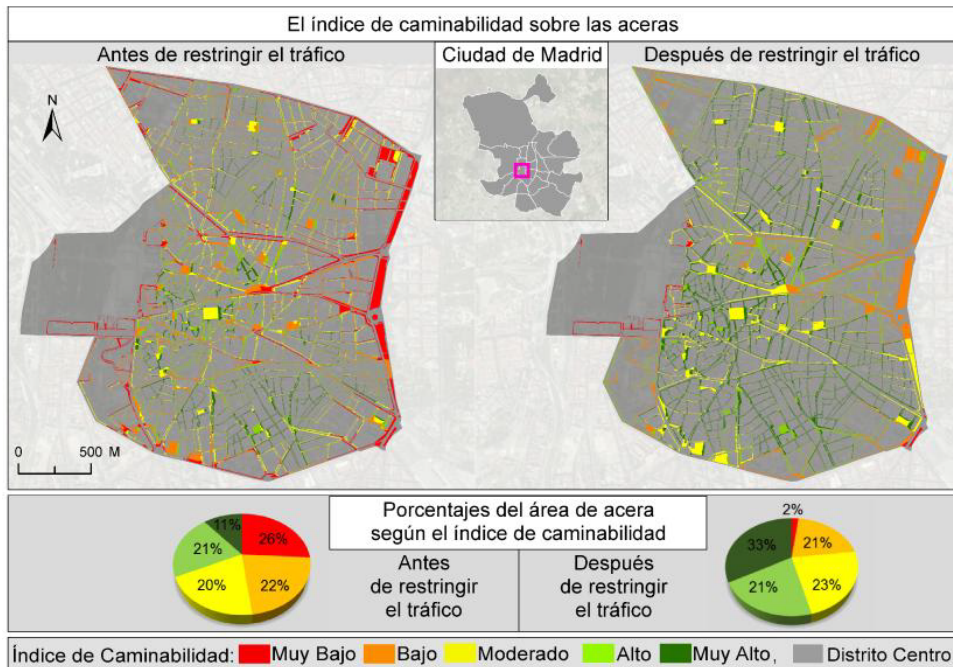
Donde IC es el Índice de Caminabilidad.  $NF_1$ ,  $NF_2$ ,  $NF_3$ ,  $NF_4$ ,  $NF_5$  son los valores normalizados de los factores de densidad de población, diversidad de actividades, conectividad, el ruido y la sombra respectivamente.

Por otro lado, para representar el IC después de la restricción al tráfico en la mayor parte de Centro de Madrid, la ecuación 1 se reaplica, pero con generalización del valor  $NF_4 = 100$  sobre todos polígonos de la acera, representando así el estado de contaminación acústica reducida alcanzado en la zona (después 2019).

Todos los mapas para este estudio se realizaron mediante el software de Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcMap (ESRI, 2018a).

### 3. RESULTADOS

Los resultados obtenidos son presentados en forma de mapas en la figura 2. En esta figura se comparan los resultados obtenidos para el distrito Centro de Madrid antes y después de la entrada en vigor de las restricciones al tráfico.



**Figura 2.** El índice de caminabilidad sobre las aceras del distrito Centro de Madrid, antes y después de las restricciones al tráfico y los porcentajes de área de la acera según los valores del IC.

Además, se ilustra la diferencia entre los porcentajes de área de acera según el IC. Todos los valores del índice se agrupan en cinco niveles, desde el muy bajo hasta el muy alto. Estos niveles se identifican por cortes naturales o Jenks (ESRI, 2018) método que maximiza las diferencias entre clases.

Los resultados exponen valores diferentes de IC para cada lado de la acera en algunas calles. Esta diferencia se explica por el efecto del factor sombra/sol, que

aumenta el valor del índice donde existe la sombra al tratarse del mes de julio.

Al analizar la situación antes de la restricción de tráfico, se observa que el IC presenta valores especialmente bajos cerca de las calles principales, debido principalmente al valor del factor de ruido, afectado por el tráfico. En el mapa con la restricción de tráfico se observa la mejora en dichas calles.

#### 4. CONCLUSIONES

En este documento se ha presentado una propuesta novedosa para el cálculo de un IC sobre las aceras en distrito Centro de la ciudad de Madrid, utilizando datos oficiales sin necesidad de trabajo del campo. Asimismo, se ha analizado la importancia de implicar los factores de confort para cuantificar el IC. Los resultados muestran la ventaja comparativa de la restricción de tráfico en el distrito Centro para incentivar la movilidad peatonal. No obstante, el efecto de la sombra no refleja con detalle la situación en aceras como el Paseo del Prado que se localiza a lo largo del lado Este del distrito Centro. Al no tener en cuenta la sombra de los árboles, el estudio no refleja el confort real en esta zona. Futuros estudios deberían profundizar en este aspecto e incluir en el modelo, no solo la sombra provocada por los edificios, sino también la provocada por la vegetación urbana.

#### 5. BIBLIOGRAFÍA

- Abley, S. (2005). *Walkability*. Chartered Traffic and Transportation Engineer.
- Airport, L.A.I. (2014). Appendix G noise terminology. *Los Angeles World Airports*, May, pp. 1-10.
- Ayuntamiento de Madrid (2016). Portal de Datos Abiertos de Madrid.
- Ayuntamiento de Madrid. (2018). La Junta de Gobierno aprueba inicialmente la Ordenanza de Movilidad Sostenible.
- Blair, S.N.S. (2009). Physical inactivity: the biggest public health problem of the 21st century. *Br J Sports Med*, 43 (1), pp. 1-2.
- Dannenberg, A.L., Cramer, T.W. & Gibson, C.J. (2004). Assessing the walkability of the workplace: A New Audit Tool. *American Journal of Health Promotion*, 20 (1), pp. 39-45.
- Debyser, A. (2014). Urban mobility. Shifting towards sustainable transport systems. *European Parliament Research Service*.
- ESRI. (2018). Métodos de clasificación de datos.
- ESRI Environmental Systems Research Institute. (2018a). ArcMap Desktop.
- ESRI Environmental Systems Research Institute. (2018b). ArcScene Desktop.



- Ewing, R., Schmid, T., Killingsworth, R., Zlot, A. & Raudenbush, S. (2003). Relationship between urban sprawl and physical activity, obesity, and morbidity. *American Journal of Health Promotion*, 18 (1), pp. 567-582.
- Maghelal, P.K., & Capp, C.J. (2011). Walkability: A review of Existing Pedestrian Indices. *Journal of the Urban and Regional Information Systems Association*, 23 (2), pp. 5-19.
- McCormack, G.R., & Shiell, A. (2011). In search of causality: a systematic review of the relationship between the built environment and physical activity among adults. *Int J Behav Nutr Phys Act*.
- Pikora, T., Giles-Corti, B., Bull, F., Jamrozik, K. & Donovan, R. (2003). Developing a framework for assessment of the environmental determinants of walking and cycling. *Social Science & Medicine*, 56 (8), pp. 1693-1703.
- Saelens, B.E., Sallis, J.F., & Frank, L.D. (2003). Environmental correlates of walking and cycling: Findings from the transportation, urban design, and planning literatures. *The Society of Behavioral Medicine*, 25 (2), pp. 80-91.
- WalkScore©2017. (n.d.). Get Your Walk Score.