

CIUDAD Y TERRITORIO

ESTUDIOS TERRITORIALES

ISSN(P): 2697-231X ; ISSN(E): 2697-2328

Vol. LIV, N^o Monográfico 2022

Págs. 37-66

<https://doi.org/10.37230/CyTET.2022.M22.2>

CC BY-NC-ND



Caminabilidad y movilidad en ciudades medias: un análisis a partir de los desplazamientos escolares

Borja RUIZ-APILÁNEZ-CORROCHANO(1)
Eloy SOLÍS-TRAPERO(2)
Irene GARCÍA-CAMACHA-GUTIÉRREZ(3)
Alicia GALÁN-ÁLVAREZ(4)

(1) (2) Profesor Contratado Doctor

(3) Profesora Contratada Doctora

(4) Arquitecta Doctoranda

(1)(2)(3)(4) Universidad de Castilla-La Mancha

Resumen: La consecución de los objetivos de desarrollo sostenible pasa por la transformación de la movilidad urbana. Este artículo estudia la relación entre la forma urbana y el reparto modal en ciudades medias. Empleando técnicas avanzadas de análisis estadístico mediante modelos discriminantes, se investiga la asociación existente entre la distancia de los itinerarios, la caminabilidad de los entornos urbanos y la elección modal para los desplazamientos escolares, recogidos en una encuesta a más de mil estudiantes de educación secundaria. Los resultados muestran cómo la densidad residencial y la diversidad funcional, sobre todo en el entorno de los centros escolares, así como la densidad residencial y el diseño viario a lo largo de los caminos escolares son capaces de explicar casi la elección del modo de transporte en casi un 90% de los recorridos realizados a pie o en coche.

Palabras clave: Desarrollo sostenible; Forma urbana; Movilidad sostenible; Movilidad activa; Movilidad escolar.

Recibido: 05.08.2021; Revisado: 17.11.2021

Correo electrónico: borja.ruizapilanez@uclm.es; N^o ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2857-3965>

Correo electrónico: eloy.solis@uclm.es; N^o ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2950-730X>

Correo electrónico: irene.garciacamacha@uclm.es; N^o ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3296-056X>

Correo electrónico: alicia.galan1@alu.uclm.es; N^o ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8144-0128>

Los autores agradecen los comentarios y sugerencias realizados por los evaluadores anónimos, que han contribuido a mejorar y enriquecer el manuscrito original

Walkability and mobility in medium-size cities: an analysis based on transportation to school

Abstract: The achievement of the sustainable development goals requires a shift in urban mobility. This article studies the relationship between urban form and modal choices in medium cities. Using advanced techniques of statistical analysis including discriminant models and based on a survey of one thousand secondary school students, the study investigates the association between transportation mode choices and the length of school trips, the walkability of the built environment. The results show how residential density and functional diversity, especially in the surroundings of schools, as well as residential density and road design along school roads are able to explain almost 90% of choices of school trips made either on foot or by car.

Keywords: Sustainable development; Urban form; Sustainable transportation; Active transportation; Transportation to school.

1. Introducción

La movilidad juega un papel importante para la consecución de varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que las NACIONES UNIDAS (s.f.) propone que los países miembros alcancemos en el año 2030. La meta 11.2 aspira a “proporcionar acceso a sistemas de transporte seguros, asequibles, accesibles y sostenibles para todos y mejorar la seguridad vial [...] prestando especial atención a las necesidades de las personas en situación de vulnerabilidad, las mujeres, los niños, las personas con discapacidad y las personas de edad”. Más allá de esta referencia explícita al transporte, muchas otras metas del objetivo 11, “Ciudades y Comunidades Sostenibles”, guardan relación más o menos directa con este, aunque *a priori* no resulte evidente —p. ej.: “proteger y salvaguardar el patrimonio [...] natural del mundo” (meta 11.4), “reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, prestando especial atención a la calidad del aire” (meta 11.6), “proporcionar acceso universal a zonas verdes y espacios públicos seguros, inclusivos y accesibles” (meta 11.7), “apoyar los vínculos económicos, sociales y ambientales positivos entre las zonas urbanas, periurbanas y rurales” (meta 11.a)—.

Además, dada la relevancia del transporte en los estilos de vida dominantes en la sociedad occidental contemporánea y su gran impacto sobre el medio ambiente y la salud de las personas, su papel en la consecución de los ODS atañe también a otras metas, como las que señalamos a continuación, asociadas a los objetivos de: a) salud y bienestar —“reducir en un tercio la mortalidad prematura por enfermedades no transmisibles mediante la prevención y el tratamiento y promover la salud mental y el bienestar” (meta

3.4), “reducir a la mitad el número de muertes y lesiones causadas por accidentes de tráfico” (meta 3.6), “reducir sustancialmente el número de muertes y enfermedades producidas por productos químicos peligrosos y la contaminación del aire” (meta 3.9)—; b) industria, innovación e infraestructuras —“desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad, incluidas infraestructuras regionales y transfronterizas, para apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano, haciendo especial hincapié en el acceso asequible y equitativo para todos” (meta 9.1)—; c) acción contra el cambio climático —“mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana” (meta 13.3)—.

En 2019, el GOBIERNO DE ESPAÑA (s.f.) aprobó la *Agenda Urbana Española*. Alineada con la *Nueva Agenda Urbana* (NACIONES UNIDAS, 2017), intenta favorecer la proximidad y la movilidad sostenible, considerándola como un factor determinante para la consecución de los ODS. Este documento destaca entre sus líneas de actuación los modelos urbanos de usos mixtos, de proximidad y el desarrollo de redes peatonales y ciclistas. En definitiva, plantea la necesidad de promover una ciudad para el peatón que proporcione una vida más saludable y activa. Las diferentes agendas a nivel territorial, europeo y mundial comparten objetivos en relación con el medio ambiente, la salud y el bienestar de los ciudadanos. Esta investigación se centra en un aspecto decisivo para la consecución de estos: la forma urbana.

Aunque los estudios existentes parecen confirmar la relación entre morfología urbana y elección modal, sin embargo, como muestra

en la revisión bibliográfica, hay numerosos interrogantes en lo que respecta a la influencia concreta de distintas características. Las incertidumbres son mayores si nos referimos a niños y adolescentes, y todavía lo son más para el caso concreto de ciudades medias tanto peninsulares como mediterráneas, debido a la menor cantidad de estudios en estos ámbitos nuestros.

Mientras que, durante la infancia, la elección modal está determinada por los padres (McMILLAN, 2005), la adolescencia es una etapa importante para el estudio de la movilidad activa, ya que coincide con una mayor independencia en los desplazamientos de los adolescentes dentro del propio barrio, que se desarrolla gradualmente hasta adquirir una movilidad independiente de los adultos (GILES-CORTI & al., 2009; HILLMAN & al., 1990). La particularidad de esta etapa vital, hacia la autonomía personal, así como el vacío en la literatura sobre caminabilidad y forma urbana en adolescentes, hacen que la investigación específica en este periodo vital sea especialmente relevante. El caso de los desplazamientos escolares (un desplazamiento diario en niños y adolescentes) es un fenómeno aún poco estudiado en España, como muestra la revisión de la literatura.

El objetivo principal de esta investigación es comprobar la relación entre la forma urbana y la elección modal, en el caso del desplazamiento escolar en adolescentes de una ciudad mediterránea de tamaño medio. Para ello, se propone: 1) investigar la relación de la distancia y otros factores morfológicos identificados con la caminabilidad (densidad residencial, conectividad de la red peatonal y mezcla de usos) con la elección modal para el caso de adolescentes en el caso de ciudades medias de tradición urbanística mediterránea, como son las españolas; 2) identificar las variables morfológicas decisivas en la elección del modo de transporte, con énfasis en el peatonal; y 3) desde un punto de vista metodológico, contrastar el efecto de emplear distintos modos de medición de las variables morfológicas consideradas.

Tras esta introducción, el artículo se organiza según cuatro apartados más. El segundo es una revisión bibliográfica de los estudios que abordan la relación entre forma urbana y movilidad, con énfasis en los modos peatonales. El tercero describe el ámbito geográfico donde se desarrolla la investigación y los métodos empleados. Incluye los datos generales de la encuesta de movilidad que se realizó específicamente para el presente estudio, la descripción de las variables morfológicas analizadas y las características del análisis. El cuarto apartado

expone, primero, los resultados de la encuesta, y después, los de los análisis estadísticos, identificando las variables urbanas con capacidad discriminante. Por último, se proponen unas conclusiones.

2. Forma urbana y movilidad escolar

El interés científico por analizar la relación entre forma urbana y elección modal se inicia a finales del siglo pasado. Los dos siguientes apartados ofrecen una revisión bibliográfica a partir de los estudios seminales, la evolución de estas líneas de investigación y las experiencias en España. Primero de la relación entre forma urbana y elección modal, centrándonos en la movilidad peatonal y la génesis del concepto de caminabilidad. Segundo, en lo que respecta a la movilidad escolar, que como se verá tiene especial relevancia y ha sido menos estudiado.

2.1. Caminabilidad: la relación entre forma urbana y movilidad peatonal

A partir de una encuesta de movilidad en el Área de la Bahía de San Francisco y las características morfológicas de cincuenta barrios de esta región metropolitana de los EE. UU., a mediados de los noventa del siglo pasado, CERVERO & KOCKELMAN (1997) señalaron que hay tres características de la forma urbana que afectan significativamente a nuestra elección del modo de transporte: la densidad, la diversidad y el diseño. Estos factores se conocen como "las tres d" (3D).

La densidad era una característica relacionada con la compacidad, con la proximidad y con la generación de una masa crítica de orígenes y destinos. Para su evaluación se consideraban tres variables: la densidad de población, la densidad de empleos y la accesibilidad laboral. La diversidad se evaluaba a partir de siete variables, entre las que se incluía el cálculo de la entropía media en función de todos los usos de suelo presentes. El diseño, a partir de cuatro características del viario, incluyendo la proporción de intersecciones de cuatro segmentos, cuatro rasgos de la infraestructura peatonal y ciclista, y las facilidades para acceder en coche de los comercios y servicios, en función del tipo y dotación de aparcamiento.

La investigación mostró que la densidad, la diversidad de usos del suelo y el diseño en general reducían el número de desplazamientos

e incrementaban el transporte en otros modos distintos al automóvil de forma estadísticamente significativa, aunque de forma modesta a moderada. Además, las variables que influían y la intensidad con que lo hacían variaba para los distintos modelos estadísticos analizados, según los motivos de viaje (laboral o no laboral) y los modos. Con especial atención al uso del automóvil con ocupación plural (*non-single-occupant vehicle*) y de los modos diferentes al vehículo privado (*non-personal vehicle modes*), es decir, a pie, en bici o en transporte público. Ninguno de estos modos se analizó por separado debido a su baja frecuencia.

De forma casi simultánea, HANDY (1997) analizaba en seis barrios de la capital de Texas (EE. UU.) la relación entre la forma urbana y la movilidad peatonal, a partir de una encuesta postal respondida por unos 250 vecinos de cada área. La encuesta recogía, entre otros, los hábitos de movilidad (cantidad mensual de viajes, de viajes para ir a comprar, con sus porcentajes de viajes a pie, y el número de salidas a pasear): Los barrios, con una población en torno a las 5.000 personas, presentaban características morfológicas diferentes, que se recogieron mediante 29 variables relacionadas con: la red viaria (9), el sistema de transporte público (3), la oferta comercial (14) y otras características del tráfico y la sección viaria específicas de las zonas comerciales de los barrios (3).

La encuesta encontró diferencias estadísticamente significativas entre los residentes de los distintos barrios en algunos hábitos de movilidad peatonal relacionada con las compras y la salida a dar paseos (número de viajes mensuales, porcentaje de personas que fueron a pie a comprar al menos una vez al mes, número medio de viajes a pie): El análisis sugería que la forma urbana jugaba un papel en la elección modal. Por una parte, la distancia jugaba un papel fundamental. Por otra, el diseño urbano del destino (en aquel caso, la zona comercial) también tenía importancia.

Desde entonces, distintas variables y medidas se han venido ensayando para caracterizar las formas urbanas y comprobar su influencia sobre la elección modal, y especialmente sobre el modo peatonal. Con este interés, mediada la siguiente década, desde el ámbito de las ciencias de la salud, se acuñó el término 'caminabilidad' (*walkability*) para referirse a la aptitud o la capacidad de promoción del caminar que ofrecía un entorno urbano, en función de sus características morfológicas.

FRANK & al. (2005) realizaron esta evaluación mediante un índice (*Walkability Index*) construido a partir de tres medidas objetivas de variables relacionadas con cada una de las 3D propuestas por CERVERO & KOCKELMAN (1997): La densidad, mediante la densidad residencial neta, cuantificada como el número de viviendas por unidad de superficie de parcelas de uso residencial. La diversidad, mediante la *land-use mix* o mezcla de usos del suelo (MUS) que se describe en la metodología. El diseño, mediante la conectividad vial (*street connectivity*), a partir del número de intersecciones por unidad de área.

La influencia de estas variables sobre la actividad física se analizaba a partir de los datos recogidos con acelerómetros portados durante dos días por 523 adultos residentes en el área metropolitana de Atlanta (EE. UU.): Este índice de caminabilidad resultó estadísticamente significativo para explicar, unido a distintas variables sociodemográficas, variaciones en los minutos de actividad física moderada, asociada a los desplazamientos peatonales.

De forma simultánea, desde el campo del urbanismo, LEE & MOUDON (2006) proponen una alternativa a las 3D que denominaron 3D+R. Esta plantea una revisión de la tríada 'densidad, diversidad y diseño', de forma que pase a ser la cuaterna 'destinos, distancia, densidad y ruta'. La propuesta se basaba en los resultados de una investigación sobre el efecto de más de 900 variables relacionadas con la forma urbana en la actividad peatonal (registrada mediante 4 variables diferentes) de 608 residentes del área metropolitana de Seattle (EE. UU.): De todas ellas, 18 resultaron significativas. Los modelos estadísticos que las incluían eran capaces de mejorar un 10% la bondad predictiva de los modelos que solo consideraban variables sociodemográficas.

Las variables incluidas en el grupo 'destinos' eran las que consideraban la densidad de determinados usos del suelo o agrupaciones de ellos (centros de barrio o *neighborhood centers*, de acuerdo con los autores), como tiendas de alimentación, o agrupaciones de tiendas de alimentación, restaurantes y comercio. Las del grupo 'distancia' eran las que medían los trayectos más cortos a determinados usos de suelo, como la distancia a la tienda de alimentación más próxima, o la distancia a la agrupación de oficinas más próxima. 'Densidad' incluía la densidad residencial neta en la parcela del domicilio y en 1 km a la redonda (ambas calculadas en viviendas por unidad de superficie). 'Ruta' incluía variables calculadas a partir de las características del camino entre el domicilio y los destinos

considerados, como la rectitud (el cociente entre las distancias viaria y euclídea) del trayecto a la tienda de alimentación más próxima, o la longitud del viario con aceras en el área de influencia (AI) de 1 km.

El análisis de los trayectos y la consideración de dos modos de medir las distancias entre origen y destino supusieron una aportación muy relevante desde el punto de vista metodológico. La distancia euclídea medida en línea recta, más común hasta entonces, se complementaba y comparaba con la distancia viaria, medida a través de la red de calles. Otro cambio sustancial a la hora de evaluar la forma urbana estaba en la delimitación de las áreas de análisis. En lugar de definir las según los límites administrativos (generalmente barrios o distritos), se analiza el entorno específico de cada domicilio, definiendo áreas equivalentes a partir de 1 km, considerando tanto la distancia euclídea como la viaria.

Durante los años siguientes, numerosos estudios siguen explorando la influencia que tienen distintas variables morfológicas en distintos tipos de actividad física (sobre todo la asociada a los desplazamientos cotidianos) y en la elección modal. La investigación continúa analizando la influencia de las características de la forma urbana a partir de distintas variaciones del índice de caminabilidad y las variables relacionadas con las 3D —densidad (CARLSON & al., 2018), diversidad (CHRISTIAN & al., 2011) y diseño (SALLIS & al., 2016)—, con las 3D+R —destinos (CERIN & al., 2007), distancia, densidad y ruta (ROTHMAN & al., 2014)—. También se siguen investigando otros modos de evaluar la caminabilidad —como el índice *Walk Score* (DUNCAN & al., 2011), muy popular en el sector inmobiliario norteamericano— y otras variables morfológicas, incluso aquellas recurrentes en la literatura pero que no resultaron significativas para LEE & MOUDON (2006), como el volumen de tráfico motorizado (GILES-CORTI & al., 2011; TRAPP & al., 2011), la anchura de la calle (GILES-CORTI & al., 2011), o la presencia de parques (RIOUX & al., 2016), a veces con resultados contradictorios. El foco se pone sobre los modos activos, fundamentalmente en el peatonal, pero también relacionándolo con el transporte público —p. ej.: evaluando la caminabilidad del entorno de las estaciones (JEFFREY & al., 2019; NAWROCKI & al., 2014)—.

Estos estudios se vienen realizando con mayor profusión en Norteamérica y Australia que en Europa y otras regiones (D'HAESE & al., 2015). En el contexto español los estudios son limitados, aunque algunos investigadores han

utilizado estas variables morfológicas para evaluar la relación entre forma urbana, caminabilidad y movilidad. Sin embargo, la mayoría lo analizan en ciudades grandes. En Madrid, se ha estudiado el efecto de la densidad urbana y la MUS en la caminabilidad, la configuración de la red de calles (LAMÍQUIZ & LÓPEZ-DOMÍNGUEZ, 2015), el caso de espacios *gentrificados* que invitan a caminar (GULLÓN & al., 2017), así como la importancia de los espacios públicos como destinos accesibles para caminar (BILAL & al., 2016).

2.2. La movilidad escolar: un fenómeno sensible menos estudiado

A pesar de que la ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (2010) recomienda que los niños y adolescentes de 5-17 años realicen al menos una hora de actividad física diaria, muchos tienden a desarrollar estilos de vida sedentarios. En Europa se aprecia una prevalencia de sobrepeso y obesidad combinada que afecta especialmente a la península ibérica (ORTEGA & RUIZ-CANELA, 2020). Aunque este fenómeno se haya estabilizado en los últimos años, la prevalencia del sobrepeso y obesidad infantil y juvenil en España es aún muy elevada, cerca del 40% en 2012, situándose entre las más altas de Europa (SÁNCHEZ-CRUZ & al., 2013). Según la Encuesta Nacional de Salud (MINISTERIO DE SANIDAD CONSUMO Y BIENESTAR SOCIAL, 2017), un 76% de niños españoles de 5-9 años pasa, de lunes a viernes, más de una hora al día frente a una pantalla. El porcentaje aumenta hasta un 84% en la franja de edad de 10-14 años.

Una forma de combatir el sedentarismo y sus consecuencias negativas para la salud es a través del desplazamiento activo al colegio. Caminar o ir en bici a la escuela tiene además otros beneficios sobre los estudiantes. Los niños y adolescentes que caminan o van en bici al colegio realizan más actividad física (FAULKNER & al., 2009) y presentan una mejor salud cardiovascular (DAVISON & al., 2008) así como un mejor rendimiento académico (SULLIVAN & al., 2017).

El estudio de la movilidad activa en niños y adolescentes es relativamente reciente y es un fenómeno menos investigado que en el caso de los adultos. La literatura ha identificado diversos factores que influyen en la elección modal, que van desde los individuales y propios de cada persona (características demográficas, situación familiar, factores culturales) a los que nos ofrece el medio urbano (TIMPERIO & al., 2006). Como recuerda McMILLAN (2005) y han

propuesto otros autores, el estudio de los motivos que explican la elección modal incumbe a las disciplinas de transporte, urbanismo y salud pública, entre otras.

La forma urbana es un factor importante a la hora de comprender los motivos por los que optamos por un medio de transporte en nuestros desplazamientos obligados. Muchas de sus características, como la mezcla de usos, la densidad residencial o la anchura de las calles, se pueden medir objetivamente y es posible contrastar su influencia con la información de encuestas a padres y estudiantes (DAVISON & al., 2008).

En la actualidad, diversos estudios han confirmado la relación del medio físico urbano con la elección modal en escolares (D'HAESE & al., 2015; IKEDA & al., 2018; STEWART, 2011). La densidad residencial, la mezcla de usos, su accesibilidad, la presencia de carriles bici y aceras y la seguridad frente al tráfico son algunas de las variables de la forma urbana que afectan a la elección modal en diversos continentes (D'HAESE & al., 2015).

El desplazamiento de niños y adolescentes al centro de estudios forma parte de la movilidad obligada diaria y es posible que se transforme en una rutina saludable, de ahí la vital importancia de su estudio y promoción. Medidas precisas y objetivas de la forma urbana, por ejemplo, a través de sistemas de información geográfica (SIG), y su representación digital, son cruciales para el desarrollo de estudios empíricos sobre la elección modal en escolares (WONG & al., 2011).

En España son limitados los estudios que abordan la caminabilidad en niños y adolescentes. Entre ellos cabe destacar el de VILLA-GONZÁLEZ & al. (2012), en cuatro colegios pertenecientes a la provincia de Granada, y el de CHILLÓN & al. (2012), en Madrid. Los dos muestran que solamente cerca de la mitad los niños y adolescentes españoles se desplazan al centro de estudios de modo activo y que estos porcentajes han decrecido en los últimos años —del 61% al 46%, en el caso de Madrid—. En ambos casos, una mayor distancia demostró ser el elemento determinante de la forma urbana en la elección de medios de transporte motorizados. MOLINA-GARCÍA & al. (2017) también han investigado en Valencia la relación de la morfología urbana, a través de un índice de caminabilidad como el propuesto por FRANK & al. (2005), y otros aspectos socioeconómicos, con el porcentaje de actividad física moderada a vigorosa en adolescentes, medido con acelerómetros. Los adolescentes que estudiaban en barrios caminables y de mayor poder adquisitivo resultaron

más activos, también debido a su participación en actividades deportivas.

3. **Ámbito de estudio y métodos de investigación**

Para abordar el objetivo de la investigación, se realiza un análisis estadístico que estudia la relación entre 48 variables caracterizadoras de la forma urbana y el modo de transporte preferente para los desplazamientos cotidianos obligados en el municipio de Toledo (España): Toledo es una ciudad de tamaño medio, cabeza de un Área Urbana Funcional (AUF) de definición variable.

De acuerdo con EUROSTAT (s.f.), el INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (INE, 2021), incluye en el AUF a los municipios en los que al menos el 15% de la población activa se desplaza a Toledo por motivos de trabajo. El AUF de Toledo incluye nueve de los trece municipios limítrofes y cinco más. Según el INE, en 2020, la población del municipio supera los 85.000 habitantes y la del AUF es de casi 155.000. Mientras que, según el informe sobre las áreas urbanas de España del MINISTERIO DE TRANSPORTES MOVILIDAD Y AGENDA URBANA (MITMA, 2021), la de Toledo incluye siete de los municipios vecinos y su población, en 2019, era de 123.500 habitantes, frente a los 153.000 que tenía el AUF ese mismo año.

Desde un punto de vista demográfico, en las 86 grandes áreas urbanas de más de 50.000 habitantes definidas por el MITMA habita el 69% de la población española y se concentra el 76% del empleo. Más del 60% tienen una población de entre 50.000 y 200.000 habitantes. La población del área urbana de Toledo coincide casi exactamente con el punto medio de este intervalo (125.000), haciendo especialmente pertinente su elección como caso de estudio.

Toledo presenta una geografía dispersa, donde varias urbanizaciones de edificación residencial unifamiliar y otros barrios como el polígono residencial iniciado en los años sesenta del siglo pasado (todavía en desarrollo con variaciones morfológicas) quedan disgregados del núcleo urbano principal, pero cuentan con un gran peso demográfico y una gran extensión territorial. La creciente zonificación espacial y funcional que se produjo en esta ciudad a lo largo del siglo XX trajo consigo un déficit en la diversidad funcional de los barrios, empobreciendo la vida urbana y

umentando el uso del vehículo privado (SOLÍS & al., 2019), ofreciendo un repertorio amplio y diverso de las formas de crecimiento urbano (SOLÀ-MORALES, 1997) más características en nuestro ámbito. Centro histórico monumental, arrabales de la ciudad medieval, poblado obrero, ensanche decimonónico, polígono residencial y urbanizaciones de *unifamiliares*, todos ellos con centros de educación secundaria y bachillerato.

3.1. Datos relativos a la movilidad

Los datos relativos a los desplazamientos escolares se recogieron en octubre de 2020 mediante un formulario electrónico anónimo que se facilitó a diecisiete de los veinte centros de educación secundaria y/o bachillerato existentes en el municipio de Toledo ya que, de los tres restantes, dos no desearon colaborar con el estudio y el tercero se descartó por tratarse de un internado. Para fomentar la participación, se sortearon prendas deportivas donadas por Joma Sport®. Dado que, según la Consejería de Educación de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, en el municipio de Toledo hay unas 12.000 plazas para estudiantes de secundaria y bachillerato, asumiendo una distribución normal, el estudio precisaba de una muestra no inferior a 373 escolares para garantizar un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5% en las respuestas asumiendo un muestreo aleatorio simple.

El cuestionario constaba de cuatro partes y un número de preguntas en parte variable, en función de las respuestas obtenidas, sin superar las 40. La primera parte se refería al domicilio del estudiante —para minimizar los errores y la ausencia de información se recogía paso a paso preguntando sucesivamente por el municipio, el tipo de vía, el nombre de la vía, el número y el código postal— y el centro escolar al que asistía, mediante una pregunta de opción múltiple y respuesta única. Las respuestas a esta última pregunta se utilizaron como criterio de exclusión del análisis ya que, para cada centro, se preparó una encuesta con un enlace específico. Si el centro indicado por el estudiante en su respuesta no coincidía con el que correspondía, esta quedaba descartada.

La segunda parte constaba de preguntas de opción múltiple y respuesta única para conocer el modo habitual de desplazamiento de los estudiantes (a pie, en bici, en otro modo

activo, en vehículo privado, en autobús urbano o en autocar escolar, distinguiendo entre los viajes de ida y vuelta): También incluía preguntas de opción y respuesta múltiple sobre el nivel de autonomía y compañía en la que se realizaban estos trayectos (solo, con alguno de sus padres, con otros adultos, con algún hermano, con algún compañero, con otros menores).

La tercera parte de la encuesta recogía la opinión de los usuarios sobre diversos aspectos de las infraestructuras peatonal y ciclista, la percepción de seguridad y su nivel de autonomía. La cuarta y última recababa aspectos demográficos y socioeconómicos. Para la presente investigación, solo se utilizó la información recogida en la primera parte del cuestionario y la relativa a los modos de transporte de esta segunda parte.

La ubicación de los centros escolares se realizó sobre cartografía digital, comprobando *in situ* la localización precisa de las puertas de acceso. La de los domicilios se localizó a partir de la dirección indicada por cada participante en dos fases. En la primera, se utilizó el servicio de geolocalización automática *ArcGIS Online Geocoding Service* (ESRI, s.f.). En la segunda, se realizó una revisión y modificación de aquellas que obtuvieron mala puntuación según la herramienta automática o presentaban una ubicación dudosa (p. ej.: en medio de una calle o en medio de una manzana).

Conocidos los orígenes y los destinos para cada viaje, se calculó la distancia euclídea y la distancia variara entre los extremos de cada itinerario. Para medir esta última, se generó un modelo de red viaria que incluía solo las vías accesibles a los peatones, incluyendo las rutas peatonales y senderos no accesibles al tráfico motorizado, a menudo frecuentados por niños y adolescentes (BEJLERI & al., 2011).

Para ello, primero se descartaron aquellas vías inaccesibles para los peatones (p. ej.: autopistas y autovías) y se añadieron otras solo accesibles a estos no incluidas inicialmente (p. ej.: sendas a través de parques o calles peatonales). Después, se realizaron operaciones de simplificación de la geometría, fundamentalmente relativas a la definición de los ejes y de las intersecciones. Por último, aunque la mayoría de la red peatonal se modela según el eje del viario, hay calles en las que las condiciones o su diseño (p. ej.: la anchura o la ubicación de los cruces peatonales) aconsejaron representar varios

itinerarios peatonales diferentes (p. ej.: uno para cada acera) e indicar de forma precisa los puntos de conexión entre ellas (p. ej.: pasos de peatones) (FIG. 1).

3.2. Variables y medición de las características de la forma urbana

A partir de las distancias viaria y euclídea, calculamos la primera variable morfológica: la 'rectitud' del itinerario —el cociente entre la primera y la segunda de estas medidas—. La rectitud depende directamente de la geometría de la red viaria y, siguiendo a (LEE & MOUDON, 2006), numerosos investigadores han venido considerándola durante los últimos años (BEJLERI & al., 2011; CAMPOS-SÁNCHEZ & al., 2020).

El resto de variables para cuantificar las principales características de la forma urbana relacionadas con la elección modal se seleccionaron siguiendo a CERVERO & KOCKELMAN (1997) y a FRANK & al. (2005). Son variables que tratan de medir las tres características más empleadas para definir la caminabilidad de un área urbana: la densidad residencial, la diversidad de usos de suelo y el diseño de la red viaria. Éstas se emplearon para la caracterización de las áreas en torno a los centros escolares y los domicilios de los estudiantes (origen y destino de los recorridos), así como las rutas —menos frecuente en la literatura, pero utilizados en investigaciones de los últimos años (p. ej.: HELBICH, 2017; ORESKOVIC & al., 2014; PANTER & al., 2010; SMITH & al., 2020).

Los datos necesarios para cuantificar la densidad residencial y la diversidad de usos se obtuvieron a partir de la información alfanumérica y cartográfica vectorial proporcionada por la DIRECCIÓN GENERAL DEL CATASTRO (s.f.). Para cuantificar las variables asociadas al diseño de la red viaria, se modelizó la misma a partir de los ejes de viario de la cartografía digital de *OpenStreetMap* (COLABORADORES DE OPENSTREETMAP, s.f.) accesibles al tráfico motorizado, simplificando su geometría.

Para investigar las diferencias entre los distintos métodos de cuantificar estas propiedades morfológicas, la definición de las áreas urbanas en torno a los extremos de los itinerarios de los estudiantes se realizó de distintas formas, en base a los criterios más comunes empleados las investigaciones recientes. Dado que las distancias más

utilizadas van de los 400 a los 1.600 m (1 milla), aquí se optó por emplear 500 m y 1 km. Utilizar distancias mayores no se estimó oportuno, dadas las extensiones habituales de una ciudad media en el ámbito en el que se encuadra nuestro estudio.

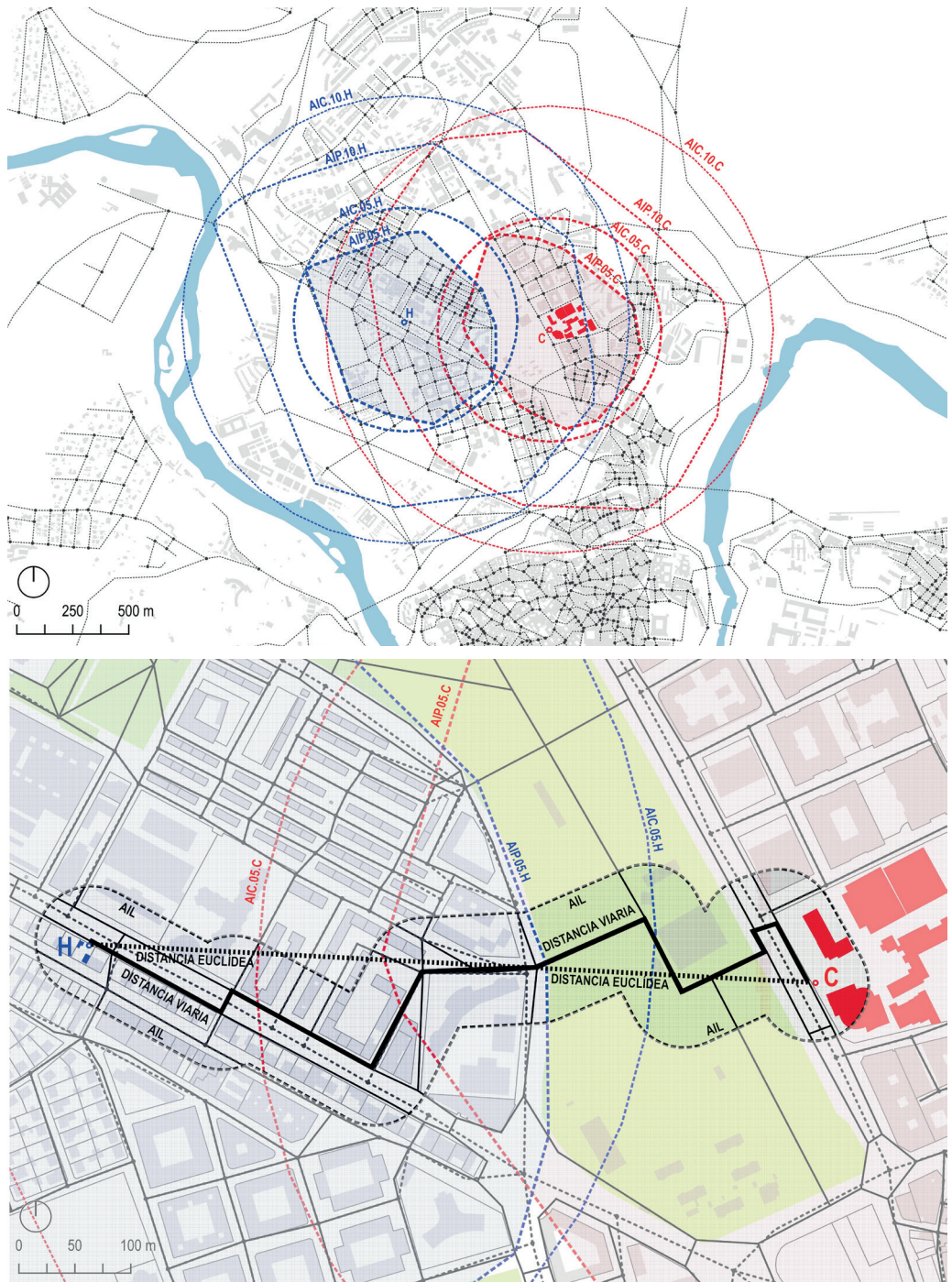
Fijada la distancia, el área de análisis en torno a los orígenes y destinos de los itinerarios (los domicilios y los centros escolares) la delimitamos según los dos modos más habituales. Bien como un círculo con radio igual a la distancia correspondiente, al que nos referiremos como "Área de Influencia Circular"(AIC). Bien como un polígono irregular construido a partir de los extremos de los itinerarios de la distancia correspondiente medida a través del viario, peatonal en nuestro caso, al que nos referiremos como "Área de Influencia Poligonal" (AIP). Los estudios más recientes se inclinan mayoritariamente por esta segunda metodología, y así lo hemos hecho también aquí (FIG. 1).

El AIP en torno a un punto y para una distancia dada se construyó a partir del modelo de la red viaria peatonal. Es el polígono resultante de unir los extremos de todas las rutas posibles de longitud igual a la distancia definida que parten del punto en cuestión. Las rutas se identificaron empleando las herramientas de análisis de redes incluidas en *QGIS* (OPEN SOURCE GEOSPATIAL FOUNDATION, 2020). Con estas también se modelizaron las rutas entre cada domicilio y el correspondiente centro escolar, como el itinerario más corto entre ambos a través de la red viaria peatonal modelizada.

Por último, el "Área de Influencia Longitudinal" (AIL) se delimitó a partir de una distancia de 50 m en torno al eje del itinerario entre cada domicilio y el centro escolar correspondiente, siguiendo un método similar al empleado por varios autores (HELBICH, 2017; ORESKOVIC & al., 2014; PANTER & al., 2010; SMITH & al., 2020) y con distancias de 50 a 100 m (FIG. 1).

La densidad residencial, la diversidad funcional y el diseño viario se caracterizaron para las AI: a) en torno a los domicilios, b) entorno a los centros escolares, y c) a lo largo los itinerarios peatonales que unían el domicilio y el centro escolar de cada estudiante, mediante 48 variables.

La densidad residencial se caracterizó a través de las siguientes 15 variables: a) número de viviendas en las AIP de 500 m y 1 km alrededor de cada domicilio (Viv.AIP.05.H, Viv.AIP.10.H), en las AIP de 500 m y 1 km alrededor de cada



Nota: En el plano inferior, sobre el modelo de la red viaria (en línea discontinua sobre los ejes de calles) se representa el modelo creado para la red viaria peatonal adoptado (en línea continua). Las discrepancias muestran las modificaciones realizadas en función de las posibilidades reales de desplazamiento a pie.

FIG. 1/ Arriba: ejemplos de AIC y AIP de 500 m y 1 km en torno a un hogar (H, azul) y un centro escolar (C, rojo) sobre el modelo de la red viaria (los puntos representan las intersecciones): Abajo: Representación de la distancia euclídea y la distancia viaria entre el hogar (H, azul) y el centro escolar (C, rojo) del mapa de arriba.

Fuente: Elaboración propia

centro escolar (Viv.AIP.05.C, Viv.AIP.10.C) y en las AIL de cada itinerario peatonal (Viv.AIL); b) densidad residencial bruta en las AIP de 500 m y 1 km alrededor de cada domicilio (DRB.AIP.05.H, DRB.AIP.10.H), en las AIP de 500 m y 1 km alrededor de cada centro escolar (DRB.AIP.05.C, DRB.AIP.10.C) y en las AIL de cada itinerario peatonal (DRB.AIL); y c) densidad residencial neta en las AIP de 500 m y 1 km alrededor de cada domicilio (DRN.AIP.05.H, DRN.AIP.10.H), en las AIP de 500 m y 1 km alrededor de cada centro escolar (DRN.AIP.05.C, DRN.AIP.10.C) y en las AIL de cada itinerario peatonal (DRN.AIL).

La diversidad funcional se caracterizó mediante la MUS, según proponen FRANK & al. (2004; 2005), en base a la entropía media ya utilizada por CERVERO & KOCKELMAN (1997). Esta medida toma el valor 1 cuando el reparto es homogéneo entre los usos considerados (en nuestro caso, residencial, comercial y oficinas) y 0 cuando el área es monofuncional. Se calcula mediante la fórmula:

$$MUS = \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i / \ln n$$

siendo p_i la proporción de m^2 de un uso de suelo i (en nuestro caso, residencial, comercial u oficinas) y n el número total de usos presentes de entre los considerados para evaluar la mezcla de usos, en un AI determinada.

A partir de la MUS, la diversidad funcional se caracterizó a través de las siguientes 5 variables: MUS en las AIP de 500 m y 1 km alrededor de cada domicilio (MUS.AIP.05.H, MUS.AIP.10.H), en las AIP de 500 m y 1 km alrededor de cada centro escolar (MUS.AIP.05.C, MUS.AIP.10.C), en las AIL de cada itinerario peatonal (MUS.AIL).

El diseño viario se caracterizó a través del número de intersecciones y del número mayorado de intersecciones. Este último es el resultado de sumar el número de intersecciones, pero computando cada una según el número de segmentos viarios que confluyen en ella menos dos. De forma que una intersección de tres segmentos cuenta como una, un cruce de cuatro cuenta como dos, y así sucesivamente.

Mediante el cálculo del número de intersecciones y el número mayorado de intersecciones y las densidades de ambos para cada AI considerada, el diseño viario se caracterizó mediante las siguientes 28 variables, además de la mencionada rectitud: a) número

de intersecciones en las AIC y en las AIP de 500 m y 1 km alrededor de cada domicilio (NI.AIC.05.H, NI.AIC.10.H, NI.AIP.05.H, NI.AIP.10.H), en las AIC y en las AIP de 500 m y 1 km alrededor de cada centro escolar (NI.AIC.05.C, NI.AIC.10.C, NI.AIP.05.C, NI.AIP.10.C), y en las AIL de cada itinerario peatonal (NI.AIL); b) densidad de intersecciones en las AIP de 500 m y 1 km alrededor de cada domicilio (DI.AIP.05.H, DI.AIP.10.H), y en las AIP de 500 m y 1 km alrededor de cada centro escolar (DI.AIP.05.C, DI.AIP.10.C), y en las AIL de cada itinerario peatonal (DI.AIL); c) número mayorado de intersecciones en las AIC y en las AIP de 500 m y 1 km alrededor de cada domicilio (NIM.AIC.05.H, NIM.AIC.10.H, NIM.AIP.05.H, NIM.AIP.10.H), en las AIC y en las AIP de 500 m y 1 km alrededor de cada centro escolar (NIM.AIC.05.C, NIM.AIC.10.C, NIM.AIP.05.C, NIM.AIP.10.C), y en las AIL de cada itinerario peatonal (NIM.AIL); y d) densidad mayorada de intersecciones en las AIP de 500 m y 1 km alrededor de cada domicilio (DIM.AIP.05.H, DIM.AIP.10.H), en las AIP de 500 m y 1 km alrededor de cada centro escolar (DIM.AIP.05.C, DIM.AIP.10.C), y en las AIL de cada itinerario peatonal (DIM.AIL).

3.3. El análisis estadístico como base del estudio relacional

Tras realizar un análisis descriptivo de la movilidad escolar adolescente a partir de los resultados de la encuesta, la investigación sobre la relación entre las características de la forma urbana sobre la elección modal de los estudiantes se realizó con *SPSS Statistics* (IBM CORPORATION, 2021).

Para el estudio de esta relación, la distancia y las variables morfológicas descritas en el apartado anterior se consideraron como variables independientes. Todas resultaron continuas y no normales (test de Kolmogorov-Smirnov). La variable 'modo de transporte' se trató como variable dependiente de carácter binario. Para el análisis de los desplazamientos de los residentes, se contrastó la relación de las variables morfológicas con la elección del modo peatonal ('a pie') frente a cualquier otro modo de vehículo automóvil de uso privado, como coches, furgoneta o motocicletas ('automóvil').

El objetivo fundamental del análisis era identificar las características morfológicas (variables independientes) que permiten diferenciar entre ambos grupos de estudiantes. Mientras

que en la literatura es frecuente encontrar modelos de regresión logística binaria cuyo propósito está más encaminado a predecir, en este caso, las probabilidades de pertenencia de un sujeto a los grupos a pie y en coche a partir de los atributos urbanos de su entorno, más que a identificar las variables morfológicas que permiten caracterizar los grupos maximizando sus diferencias, por lo que el modelo discriminante resulta más adecuado para la finalidad de esta investigación. La utilización de esta técnica estadística multivariante empleada para el fin que nos ocupa se propone como una novedad metodológica.

El análisis discriminante consiste en generar un modelo lineal que actúa como clasificador de una variable dependiente, en nuestro caso el modo de transporte, a partir de una combinación lineal de una selección de variables explicativas, que corresponde a las variables morfológicas en el caso que nos ocupa. El punto fuerte de este análisis es que la construcción del modelo se realiza en función de aquellos atributos que tienen mayor poder discriminante y que tienen un papel fundamental en la diferenciación de los grupos de la variable dependiente. Este análisis se utilizó, por tanto, para identificar cuáles de las variables independientes consideradas tienen mayor carácter discriminatorio para la elección de los dos modos de transporte considerados (a pie y en coche). La identificación de aquellos atributos de la forma urbana cuya asociación con la elección modal resultaba estadísticamente significativa se realizó mediante el método de inclusión por pasos.

Una vez identificados los aspectos morfológicos con capacidad explicativa, el siguiente objetivo era generar un modelo capaz de predecir el modo de transporte en función de estos. Para ello, previamente se analizó la posible colinealidad entre las variables independientes explicativas, con el objetivo de no incluir en el modelo discriminante aquellas que pudiesen resultar redundantes. Se consideró que dos variables eran colineales cuando el coeficiente de correlación de Spearman resultaba ser mayor o igual a 0,8 y esta correlación era significativa. Posteriormente se analizaron los diagnósticos de multicolinealidad que ofrece SPSS con un modelo de Regresión Lineal Múltiple (RLM), considerando la existencia de multicolinealidad cuando alguno de los factores de inflación de la varianza es inferior a 1 o alguno de los índices de condicionamiento es superior a 20, siguiendo el criterio de CAMPOS-SÁNCHEZ & al. (2020). Tras descartar las variables colineales y multicolineales de la selección preliminar, se construyó un

modelo discriminante con el resto de las variables explicativas.

Dado que, como era de esperar, la distancia juega un papel fundamental a la hora de explicar la elección modal, se realizaron dos análisis complementarios. Por un lado, comparamos la bondad de varios modelos discriminantes: 1) utilizando la distancia junto con el resto de las variables morfológicas como candidatas potenciales a variables predictoras, 2) considerando únicamente la distancia como variable predictora, y 3) incluyendo solo las variables morfológicas más vinculadas a las 3D como candidatas a explicativas. Por otro, se investigó a qué distancia se producía el cambio modal. Para ello se realizó primero un análisis ROC para evaluar la capacidad discriminatoria de la distancia. Después, calculando el Índice de Youden máximo y la eficacia máxima, se obtuvo el valor de la distancia que mejor permitía discriminar entre los itinerarios realizados a pie o en automóvil.

Para los itinerarios cuya distancia superaba el límite obtenido para el modo peatonal, se investigó el papel que la dotación de paradas de autobús urbano podía jugar para explicar la elección entre el automóvil y el transporte público. El estudio se realizó a partir del análisis de los valores de la V de Cramer.

Por último, con fines fundamentalmente metodológicos para futuras investigaciones, se investigó la relevancia que la distancia considerada (500 m y 1 km) y el modo de medirla (euclídea y viaria) para definir las áreas de análisis podía tener a la hora de cuantificar las variables morfológicas consideradas. Para ello se realizó un análisis de las posibles correlaciones existentes entre ellas a través del coeficiente de correlación de Spearman. Los resultados de todos los análisis se presentan y comentan en el siguiente apartado.

4. Resultados y discusión

Se recibieron 1.185 respuestas a la encuesta digital, de las que 48 (4,1%) se descartaron porque ofrecían dudas sobre su fiabilidad (p. ej.: indicar que los desplazamientos se realizaban en helicóptero) o por la falta de coherencia interna detectada en la pregunta relativa al centro escolar, según se ha descrito en la metodología. Las 1.137 respuestas válidas (95,9%) provinieron de estudiantes de 14 de los 17 centros escolares que difundieron la encuesta entre sus estudiantes, obteniendo un grado de respuesta

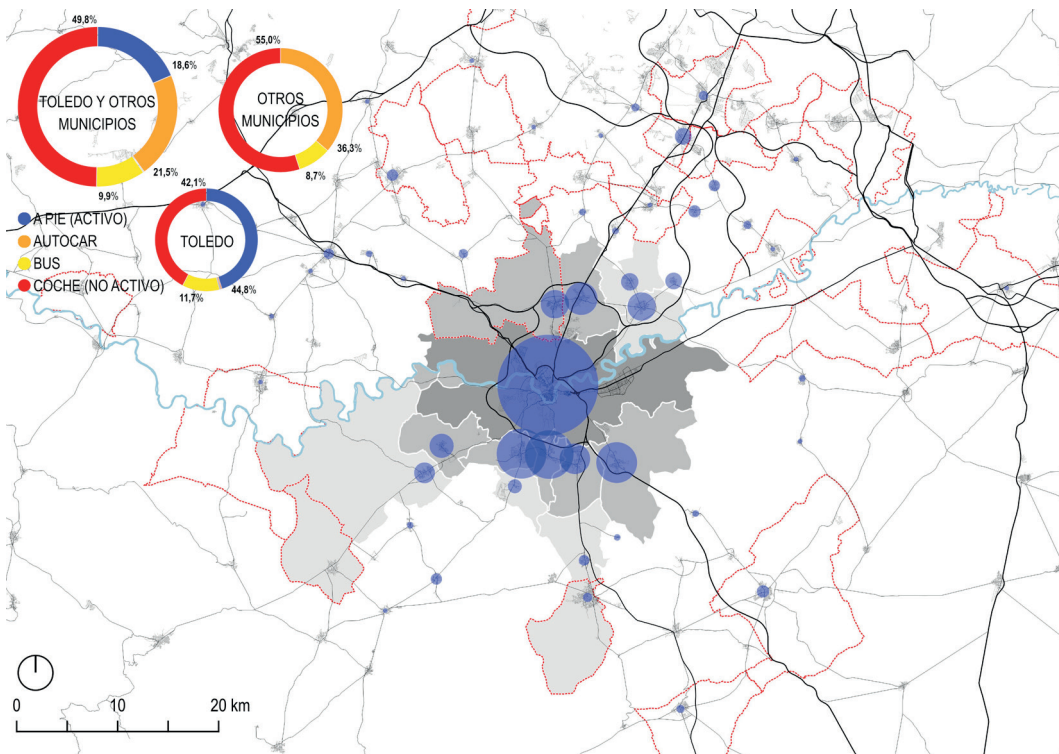
heterogéneo, según el centro, variable entre el 1,76% y el 21,81%, en parte explicable por el distinto número de estudiantes de cada uno (200-1.000) en las edades consideradas en este estudio.

La edad de los estudiantes fue de los 11 (3,2%) a los 18 (3,8%), con una media de 14,41,9 años. Siendo los extremos los grupos con menor representación, el grueso de la muestra (93,0%) se situaba entre los 12 y los 17 con una distribución por edades muy homogénea, en la que el grupo de 12-14 (15,4-17,2%) resultó ligeramente más numeroso que el de 15-17 (13,8-15,0%). Desde el punto de vista del género, la muestra fue muy equilibrada, con un 48,1% de chicas y un 51,1% de chicos (el 0,8% no contestó).

Atendiendo al lugar de residencia, el 41,4% de los estudiantes vivían en el propio municipio de

Toledo, mientras que el restante 58,6% lo hacían en otros municipios de la provincia. Estos se concentran en el área urbana (MITMA) y el AUF (INE) de Toledo, donde residen, respectivamente, el 40,0% y el 47,8% de los encuestados (Fig. 2).

El reparto modal en los viajes hacia y desde institutos considerando el total de los encuestados, muestra que la mitad se realizan en coche (49,8%). El resto, utiliza mayoritariamente los autocares escolares (21,5%) o los autobuses públicos (9,9%). Ni siquiera la quinta parte de los adolescentes camina habitualmente para ir al colegio (18,6%) y el uso de la bici es anecdótico (0,2%). Estos porcentajes varían de forma drástica si analizamos por separado a los que viven en Toledo y a los que no. Entre los últimos, el coche gana todavía más peso (55,0%), y el resto va al colegio en autocar escolar (36,3%) o en transporte



Nota: El tamaño de los círculos es proporcional al número de respuestas. Los municipios delimitados en color rojo cuentan con centros de educación secundaria y bachillerato en el término municipal. En torno al municipio de Toledo (gris oscuro) se señalan aquellos pertenecientes al área urbana (gris medio) y AUF (gris claro) de Toledo, según los criterios respectivos del MITMA y del INE.

Fig. 2 / **Ámbito residencial de los participantes en la encuesta de movilidad escolar y reparto modal según el municipio de residencia de los estudiantes.**

Fuente: Elaboración propia

público (8,7%). No es de extrañar que nadie vaya andando porque todos se encuentran a más de 8 km de distancia. Por el contrario, los que residen en la capital caminan de forma mayoritaria (44,8%). A otros tantos los llevan y traen habitualmente en coche (42,1%). El resto (8,7%) va en autobús urbano (FIG. 2).

Esta distribución de los repartos modales de los residentes en Toledo frente a los no residentes, así como las distancias de los itinerarios motivaron que el análisis de la relación entre forma urbana y la elección del modo de transporte se ciñese a los primeros. Entre estos, el estudio se restringió a comparar los itinerarios realizados fundamentalmente en coche (no activos) frente a los realizados mayoritariamente a pie (activos).

De los 411 encuestados que cumplen estas condiciones y sobre los que se realizará el análisis, el 44,3% son chicas (y el restante 55,7%, chicos). El 48,7% camina y al 51,3% le llevan en coche. Esta distribución uniforme entre modos, favorece la investigación y es similar a las de otros estudios

europeos realizados durante la última década (BOSCH & al., 2020; D'HAESE & al., 2011; DYGRYN & al., 2015; VILLA-GONZÁLEZ & al., 2012). Como señalan otros investigadores (AARTS & al., 2013; D'HAESE & al., 2011) el reparto modal no presenta alteraciones relevantes en relación con el género. Entre los que caminan, el 43,6% son chicas, frente a un 56,4% de chicos, y, de los que llevan en coche, las chicas representan el 45,0%.

La distribución por edades es similar a la del total de la muestra. Las edades extremas (11 y 18 años) tienen una representación menor (4,4% y 2,9%, respectivamente), mientras que el resto de las edades se reparten sin excesivas diferencias (12,9%-19,2%) siendo más numeroso el grupo de 12-14 (15,6%-19,2%) que el de 15-17 (12,9%-14,1%). En relación con los centros escolares a los que asisten, el reparto, como en el conjunto de la muestra, es muy heterogéneo (del 1,2% al 23,6%). Sin embargo, dadas las características metodológicas de nuestro estudio y la distribución de los domicilios, esto no se estima que sesgue los resultados (FIG. 3).



Nota: El color de los domicilios coincide con el de los centros escolares correspondientes. Se puede observar una gran dispersión espacial y una limitada relación geográfica entre orígenes y destinos.

FIG. 3/ Geolocalización de los domicilios de los estudiantes que participaron en la encuesta (puntos) y de sus centros escolares (círculos), con sus correspondientes AIP de 500 m y 1 km.

Fuente: Elaboración propia

Variable	uds.	Activos / A pie (n=211)					No Activos / En coche (n=198)					Todos (n=409)				
		Media	Mediana	SD	Min.	Máx.	Media	Mediana	SD	Min.	Máx.	Media	Mediana	SD	Min.	Máx.
DisVia	m	784	700	535	60	4.010	4.231	4.470	2.337	650	11.200	2.453	1.320	2.400	60	11.200
DisEuc	m	613	500	449	40	3.100	3.175	3.205	1.897	300	9.920	1.854	1.050	1.867	40	9.920
Viv.AIP.10.H	viv.	5.918	6.120	1.895	67	8.914	3.159	1.785	2.478	10	8.734	4.582	4.998	2.592	10	8.914
Viv.AIP.05.H	viv.	2.288	2.338	921	17	4.420	1.356	1.092	1.023	3	4.240	1.837	1.917	1.077	3	4.420
Viv.AIP.10.C	viv.	6.548	7.746	1.951	221	8.880	4.323	5.604	3.711	221	8.880	5.471	5.623	3.138	221	8.880
Viv.AIP.05.C	viv.	2.058	2.038	771	122	3.141	1.367	1.513	1.155	122	3.141	1.723	1.989	1.034	122	3.141
Viv.AIL	viv.	791	739	434	8	2.039	1.148	1.146	800	26	3.953	964	902	662	8	3.953
DRN.AIP.10.H	viv./ha	118	102	51	1	271	82	71	68	1	271	100	97	63	1	271
DRN.AIP.05.H	viv./ha	136	132	64	1	296	91	59	79	0	302	114	123	75	0	302
DRN.AIP.10.C	viv./ha	115	109	49	3	273	70	94	63	3	273	93	108	60	3	273
DRN.AIP.05.C	viv./ha	136	120	72	11	318	95	101	86	11	318	116	105	82	11	318
DRN.AIL	viv./ha	146	137	87	2	604	75	59	69	1	274	112	106	86	1	604
DRB.AIP.10.H	viv./ha	41	43	11	1	62	26	24	15	0	55	34	38	15	0	62
DRB.AIP.05.H	viv./ha	59	60	22	1	109	41	36	29	0	114	50	51	27	0	114
DRB.AIP.10.C	viv./ha	39	40	10	2	52	24	40	19	2	52	32	40	17	2	52
DRB.AIP.05.C	viv./ha	48	48	15	5	67	31	38	24	5	67	40	45	21	5	67
DRB.AIL	viv./ha	106	99	53	3	332	37	28	34	1	155	72	66	57	1	332
MUS.AIP.10.H	-	0,48	0,51	0,14	0,00	0,67	0,27	0,24	0,22	0,00	0,96	0,38	0,49	0,21	0,00	0,96
MUS.AIP.05.H	-	0,46	0,48	0,17	0,00	0,73	0,23	0,18	0,23	0,00	0,75	0,35	0,37	0,23	0,00	0,75
MUS.AIP.10.C	-	0,20	0,18	0,06	0,00	0,32	0,11	0,16	0,10	0,00	0,32	0,15	0,18	0,09	0,00	0,32
MUS.AIP.05.C	-	0,21	0,21	0,08	0,00	0,36	0,11	0,15	0,10	0,00	0,36	0,16	0,16	0,10	0,00	0,36
MUS.AIL	-	0,44	0,43	0,20	0,00	0,82	0,42	0,44	0,19	0,00	0,81	0,43	0,43	0,19	0,00	0,82
NLAIC.10.H	int.	243	160	174	30	581	144	77	132	23	572	195	145	162	23	581
NLAIC.05.H	int.	92	55	81	6	325	57	37	56	5	328	75	40	72	5	328
NLAIP.10.H	int.	182	138	145	10	509	101	58	109	5	462	143	87	135	5	509
NLAIP.05.H	int.	62	31	60	1	265	40	22	44	1	243	51	25	54	1	265
NLAIC.10.C	int.	264	218	142	56	572	211	154	170	56	572	238	185	158	56	572
NLAIC.05.C	int.	86	102	60	18	255	73	29	57	18	255	80	47	59	18	255
NLAIP.10.C	int.	202	173	114	47	474	164	123	130	47	474	184	140	124	47	474
NLAIP.05.C	int.	52	57	41	6	175	45	23	33	6	175	49	23	38	6	175
NLAAIL	int.	15	9	16	1	79	34	23	23	1	126	24	17	22	1	126
DLAIP.10.H	int./ha	1,19	0,81	0,93	0,12	3,95	0,82	0,71	0,66	0,08	3,66	1,01	0,74	0,83	0,08	3,95
DLAIP.05.H	int./ha	1,53	0,85	1,39	0,00	4,90	1,14	0,74	1,10	0,00	4,79	1,34	0,76	1,27	0,00	4,90
DLAIP.10.C	int./ha	1,16	1,46	0,64	0,34	3,46	0,91	0,71	0,65	0,34	3,46	1,04	0,82	0,66	0,34	3,46
DLAIP.05.C	int./ha	1,25	1,61	0,99	0,15	4,12	1,16	0,87	0,70	0,15	4,12	1,21	0,87	0,86	0,15	4,12
DLAAIL	int./ha	1,79	1,14	1,63	0,00	6,54	0,95	0,74	0,79	0,13	5,08	1,38	0,91	1,35	0,00	6,54
NIM.AIC.10.H	int.	326	221	226	32	763	188	95	175	26	747	259	194	214	26	763
NIM.AIC.05.H	int.	123	73	105	7	414	75	44	75	6	422	99	50	94	6	422
NIM.AIP.10.H	int.	244	184	189	11	666	132	65	144	7	605	190	115	177	7	666
NIM.AIP.05.H	int.	82	42	77	1	338	53	29	58	1	309	68	32	70	1	338
NIM.AIC.10.C	int.	355	306	189	64	745	282	210	233	64	745	320	241	215	64	745
NIM.AIC.05.C	int.	114	134	79	28	325	97	36	78	28	325	106	66	79	28	325
NIM.AIP.10.C	int.	270	236	150	54	620	217	168	178	54	620	245	188	166	54	620
NIM.AIP.05.C	int.	68	69	53	10	220	57	26	45	10	220	63	26	49	10	220
NIM.AIL	int.	20	13	21	1	109	46	33	31	3	169	33	23	30	1	169
DIM.AIP.10.H	int./ha	1,58	1,12	1,19	0,13	5,02	1,06	0,83	0,86	0,09	4,68	1,33	0,89	1,07	0,09	5,02
DIM.AIP.05.H	int./ha	2,04	1,17	1,79	0,00	6,32	1,50	0,96	1,46	0,00	6,13	1,78	1,07	1,66	0,00	6,32
DIM.AIP.10.C	int./ha	1,56	1,97	0,82	0,39	4,42	1,20	0,98	0,89	0,39	4,42	1,38	1,12	0,88	0,39	4,42
DIM.AIP.05.C	int./ha	1,63	2,04	1,25	0,25	5,18	1,45	0,99	0,93	0,25	5,18	1,54	0,99	1,11	0,25	5,18
DIM.AIL	int./ha	2,34	1,48	2,04	0,00	8,67	1,31	0,92	1,06	0,32	6,65	1,84	1,25	1,71	0,00	8,67
Rectitud	-	1,34	1,27	0,29	1,00	3,00	1,37	1,32	0,27	1,00	3,00	1,35	1,29	0,28	1,00	3,00

viv.: viviendas; int.: intersecciones

FIG. 4./ Variables consideradas (51) y principales estadísticos para los itinerarios activos (a pie), para los itinerarios no activos (en coche o vehículo privado motorizado) y para la totalidad de itinerarios analizados.

Fuente: Elaboración propia

4.1. Las variables con capacidad discriminante

El análisis estadístico consideró 51 variables asociadas a cada uno de los recorridos entre el hogar y el centro escolar de cada estudiante: 2 distancias (viaria y euclídea) vinculadas a cada itinerario, la rectitud de estos (cociente entre las anteriores), las 15 variables caracterizadoras de la densidad residencial, las 5 variables asociadas a la diversidad funcional y las 28 variables vinculadas al diseño viario. La posible relación de estas variables se investigó a partir de los desplazamientos de los 409 estudiantes que lo hacían de modo más habitual a pie (51,6%) o en automóvil (48,4%).

Los principales estadísticos de los valores registrados para cada variable —media, mediana, desviación estándar (SD), mínimo y máximo— para para el grupo de estudiantes que se desplazan andando y para los que lo hacen en vehículo privado, y para la totalidad de la muestra analizada (FIG. 4).

La comparación de los principales estadísticos entre los itinerarios recorridos a pie (activos) y los realizados en coche (pasivos) muestra diferencias consistentes en las distancias (notablemente menores en los activos), en las variables asociadas a la densidad residencial (siempre mayores en los activos, con la excepción del número de viviendas a lo largo de la ruta, relacionada directamente con la distancia), en las relacionadas con la diversidad funcional (siempre mayores en los activos), y en las vinculadas al diseño viario (siempre mayores en los activos, salvo en el caso del número de intersecciones a lo largo de la ruta, relacionada directamente con la distancia).

De las 51 variables consideradas, el análisis estadístico discriminante que integra distancias y resto de variables morfológicas (Modelo I) identificó 11 que permiten diferenciar entre los dos grupos considerados. Resultaron estadísticamente significativas:

- las 2 distancias —viaria (DisVia) y euclídea (DisEuc)—
- 2 relacionadas con la densidad residencial —el número de viviendas en el AIP de 1 km en torno al centro escolar (Viv. AIP.10.C) y la densidad residencial neta en el AIL de la ruta (DRN.AIL) —
- 3 vinculadas a la diversidad funcional — la MUS en las AIP de 500 m en torno al

domicilio (MUS.AIP.05.H), y en las AIP de 500 m y 1 km alrededor de los institutos (MUS.AIP.05.C y MUS.AIP.10.C)—

- 4 respectivas al diseño viario —el número de intersecciones, el número de intersecciones mayorado y la densidad de intersecciones en el AIL de los itinerarios (NI.AIL, NIM.AIL y DI.AIL) y el número de intersecciones en el AIP de 1 km en torno a los centros educativos (NI.AIP.10.C)—.

Los resultados confirman que, como cabía esperar, la distancia entre origen y destino explica la elección modal. Tanto si la medimos en línea recta o a través de la red viaria. Sin embargo, la rectitud del itinerario —relacionado con la geometría de la trama urbana— no es un factor que resulte suficientemente significativo como para incluirse en el modelo. Otras investigaciones sí han encontrado mayores porcentajes de movilidad activa en las rutas con menor rectitud (CAMPOS-SÁNCHEZ & al., 2020).

Otro hecho significativo que muestran los resultados es la relevancia del papel que juegan las 3D —densidad residencial, diversidad funcional y diseño viario— en el entorno de los centros escolares. Su papel se muestra más decisivo al considerar las características morfológicas del ámbito de 1 km, el entorno que se encuentra a no más de un cuarto de hora caminando para la mayoría de las personas. El número de viviendas, la mezcla de usos y el número de intersecciones de la red de calles en las API de 1 km en torno a los colegios son variables con capacidad discriminante.

Mientras que las 3D alrededor de los institutos parecen relevantes al considerar el ámbito menos inmediato (1 km), la diversidad funcional parece desempeñar un papel significativo también en el entorno más inmediato (500 m). La MUS (residencial, comercial y oficinas) resulta discriminante al caracterizar estos tejidos urbanos más próximos alrededor de los centros escolares (donde también es relevante para el ámbito de 1 km) así como en torno a los domicilios de los estudiantes.

Por último, este análisis muestra que las otras dos características consideradas —densidad residencial y diseño viario— juegan su papel cuando las analizamos a lo largo de los itinerarios entre los hogares y las escuelas. Así lo indica el hecho de que tanto la densidad residencial neta, el número de intersecciones, el número mayorado de intersecciones

		DisVia ^a	DisEuc ^a	Viv.AIP.10.C	DRN.AIL	MUS.AIP.10.C ^b	MUS.AIP.05.C ^b	MUS.AIP.05.H	NI.AIP.10.C	NI.AIL ^c	NIM.AIL ^c	DI.AIL
DisVia ^a	r	1,000	0,985**	-0,172**	-0,423**	-0,462**	-0,499**	-0,502**	-0,176**	0,681**	0,698**	-0,286**
	Sig.		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
DisEuc ^a	r		1,000	-0,117*	-0,381**	-0,421**	-0,475**	-0,480**	-0,102*	0,721**	0,739**	-0,226**
	Sig.			0,018	0,000	0,000	0,000	0,000	0,039	0,000	0,000	0,000
Viv.AIP.10.C	r			1,000	0,353**	0,359**	0,219**	0,247**	0,701**	-0,056	-0,023	0,200**
	Sig.				0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,261	0,649	0,000
DRN.AIL	r				1,000	0,655**	0,646**	0,430**	0,523**	0,016	0,017	0,450**
	Sig.					0,000	0,000	0,000	0,000	0,748	0,733	0,000
MUS.AIP.10.C ^b	r					1,000	0,866**	0,236**	0,554**	-0,107*	-0,094	0,330**
	Sig.						0,000	0,000	0,032	0,059	0,000	
MUS.AIP.05.C ^b	r						1,000	0,282**	0,385**	-0,177**	-0,164**	0,254**
	Sig.							0,000	0,000	0,001	0,000	
MUS.AIP.05.H	r							1,000	0,250**	-0,282**	-0,269**	0,224**
	Sig.								0,000	0,000	0,000	0,000
NI.AIP.10.C	r								1,000	0,241**	0,250**	0,584**
	Sig.									0,000	0,000	0,000
NI.AIL ^c	r									1,000	0,992**	0,394**
	Sig.										0,000	0,000
NIM.AIL ^c	r										1,000	0,362**
	Sig.											0,000
DI.AIL	r											1,000
	Sig.											

*: La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas); **: La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas); r: Rho de Spearman; Sig.: p-valor a, b, c: par de variables consideradas colineales (r>0,8, resaltado en negrita)

Nota: Para cada par de variables se muestra el coeficiente de correlación (r: Rho de Spearman, resaltado en negrita si >0,8) y el p-valor.

Fig. 5 / Análisis de correlación de las 11 variables significativas candidatas a formar parte del Modelo I.

Fuente: Elaboración propia

y la densidad de intersecciones a lo largo de las rutas escolares sean variables con una capacidad discriminante.

4.2. El potencial explicativo del modelo discriminante y de las variables no colineales seleccionadas

Entre las 11 variables con capacidad predictora, el análisis de correlación —necesario para no incluir en el modelo discriminante variables colineales cuya información resultase redundante— muestra que no todas ellas son independientes (Fig. 5). Considerando que dos variables son colineales cuando su coeficiente de correlación es igual o mayor que 0,8, los siguientes pares serían redundantes: a) las distancias viaria y euclídea (DisVia y DisEuc); b) el número de intersecciones y el número de intersecciones mayorado a lo largo del itinerario entre el domicilio de cada estudiante y el centro escolar correspondiente (NI.AIL y NIM.AIL); y c) las mezclas de usos del suelo en las AIP de 500 m y 1 km alrededor de los centros educativos (MUS.AIP.05.C y MUS.AIP.10.C):

Dada la colinealidad existente entre estos tres pares de variables, se seleccionaron las siguientes para que formasen parte del modelo discriminante: a) La distancia viaria (DisVia) frente a la distancia euclídea (DisEuc), por ser más coherente con la metodología más

extendida actualmente (y más utilizada en esta investigación) para delimitar las AI y porque, como veremos más adelante, es la que tiene mayor capacidad discriminatoria; b) el número de intersecciones a lo largo de la ruta escolar (NI.AIL) frente al número de intersecciones mayorado (NIM.AIL), por ser más habitual en la literatura, considerarse también en el entorno de los centros escolares y por presentar menor índice de correlación con la distancia viaria (y la euclídea), con las que, en cierto modo, es lógico que ambos presenten cierta relación; y c) la MUS en las AIP de 500 m en torno a los centros escolares (MUS.AIP.05.C) frente a las AIP de 1 km (MUS.AIP.10.C), por ser la misma distancia a las que se evalúa la diversidad funcional en torno a los domicilios, y por requerir la cuarta parte superficie a analizar que la AIP de 1 km. Después de realizar el filtrado anterior, se investigó la existencia de multicolinealidad a través de los factores de inflación de la varianza y los índices de condicionamiento que ofrece la RLM. Los resultados revelan que no existen problemas de multicolinealidad cumpliendo así con el criterio descrito en el apartado 2.3 de la metodología.

Seleccionadas estas 8 variables con diferencias estadísticamente significativas entre los itinerarios realizados a pie y en coche que no presentan colinealidad, el modelo discriminante, a diferencia de los modelos de regresión logística binaria, nos permite investigar qué variables morfológicas tienen mayor

Variable	Coeficientes normalizados			Interpretación respecto a la movilidad peatonal y en vehículo privado motorizado: un valor alto de...
	Modelo I	Modelo II	Modelo III	
DisVia	-0,49	1,00		la distancia viaria favorece los desplazamientos en coche
Viv.AIP.10.C	0,16		0,22	el número de viviendas en el entorno de los centros escolares (AIP de 1 km) favorece los desplazamientos a pie
Viv.AIL			-0,35	el número de viviendas a lo largo del camino escolar favorece los desplazamientos en coche
DRN.AIL ^a	0,12			la densidad residencial neta a lo largo del recorrido favorece los desplazamientos a pie
DRB.AIL ^a			0,35	la densidad residencial bruta a lo largo del recorrido favorece los desplazamientos a pie
MUS.AIP.05.H ^b	0,30			la MUS en el entorno de los hogares (AIP de 500 m) favorece los desplazamientos a pie
MUS.AIP.10.H ^b			0,22	la MUS en el entorno de los hogares (AIP de 1 km) favorece los desplazamientos a pie
MUS.AIP.05.C	0,39		0,52	la MUS en el entorno de los centros escolares (AIP de 500 m) favorece los desplazamientos a pie
NI.AIP.10.C	-0,24			el número de intersecciones en la red de calles en el entorno del colegio (AIP de 1 km) favorece los desplazamientos en coche
NI.AIL ^c	-0,36			el número de intersecciones a lo largo del recorrido favorece los desplazamientos en coche
NIM.AIL ^c			-0,48	el número de intersecciones mayorado a lo largo del recorrido favorece los desplazamientos en coche
DI.AIL	0,28		0,24	la densidad de intersecciones a lo largo del recorrido favorece los desplazamientos a pie

a, b, c: par de variables prácticamente equivalentes por su elevada correlación

FIG. 6/ Coeficientes normalizados para cada variable incluida en la función canónica discriminante de los tres modelos analizados (I, con la distancia y resto de variables morfológicas; II, solo con la distancia; III, con todas las variables morfológicas, sin incluir distancias ni rectitud) y su influencia sobre la elección entre ir a pie o en coche.

Fuente: Elaboración propia

carácter discriminatorio y en qué sentido influye cada una de ellas.

El modelo discriminante nos proporciona una función que, según los valores adoptados por las 8 variables independientes seleccionadas, clasifica el itinerario entre el hogar del estudiante y su centro escolar como activo, o no activo, en función de si espera que sea recorrido a pie o en coche. Los coeficientes estandarizados son independientes de la métrica original de las variables discriminantes y, por tanto, son preferibles a los coeficientes brutos cuando las variables poseen una métrica distinta, como es nuestro caso. Teniendo en cuenta que el centroide de los valores de la función para los recorridos no activos es negativo (-1,264) y el de los activos es positivo (1,220), en general, los valores altos de las variables con coeficientes normalizados negativos favorecerán los desplazamientos en vehículo motorizado,

mientras que los valores altos de las variables con coeficientes positivos favorecerán los desplazamientos a pie (FIG. 6, Modelo I).

Según el signo positivo o negativo del coeficiente y el peso mayor o menor de su valor absoluto, la interpretación de los coeficientes de la función discriminante es que: a) los valores altos de la distancia viaria, el número de intersecciones a lo largo del recorrido y el número de intersecciones en la red de calles en torno al centro escolar (AIP de 1 km) favorecen los desplazamientos en coche, mientras que b) los valores altos de la MUS en el entorno de los centros escolares (AIP de 500 m), la MUS alrededor de los hogares (AIP de 500 m), la densidad de intersecciones a lo largo del recorrido, el número de viviendas en el entorno de los centros escolares (AIP de 1 km) y la densidad residencial neta a lo largo del recorrido favorecen los desplazamientos a pie.

itinerarios realizados	Modelo I (a)		Modelo II (b)		Modelo III (c)	
	en coche	a pie	en coche	a pie	en coche	a pie
en coche	82,3%	17,7%	71,2%	28,8%	82,8%	17,2%
a pie	6,3%	93,7%	1,4%	98,6%	7,8%	92,2%
	(a) 88,1% bien clasificados		(b) 85,3% bien clasificados		(c) 87,6% bien clasificados	

Nota: Para cada grupo de itinerarios realizados a pie y en coche se muestra la clasificación realizada por la función discriminante correspondiente, indicando el porcentaje de itinerarios asignados a cada grupo. En negrita, los realizados correctamente (o bien clasificados):

FIG. 7/ **Matriz de confusión para los tres modelos analizados (I, con la distancia y resto de variables morfológicas; II, solo con la distancia; III, con todas las variables morfológicas, sin incluir distancias ni rectitud).**

Fuente: Elaboración propia

La bondad del modelo se mide a través de la matriz de confusión (FIG. 7, Modelo I). Esta muestra los resultados de la clasificación del modelo en comparación con lo reportado por la encuesta de movilidad. El modelo clasifica correctamente el 88,1% de los itinerarios analizados, que puede interpretarse como una mejora sustancial del 50% de una clasificación realizada al azar. En particular, en los trayectos realizados a pie se consigue un 93,7% de acierto. Un porcentaje sensiblemente superior al obtenido en los realizados en coche (82,3%).

4.3. La distancia, factor decisivo en la elección del modo de transporte

Estudios anteriores han mostrado que la distancia es el factor decisivo en la elección modal en los desplazamientos escolares (EWING & al., 2004; McMILLAN, 2005; PANTER & al., 2008; PONT & al., 2009). De acuerdo con el modelo discriminante, la distancia (viaria, en nuestro caso) es también aquí la variable con mayor peso (-0,492).

La distribución de las distancias de los recorridos realizados a pie (activos) frente a los realizados en coche (no activos) se presenta mediante un diagrama de cajas (FIG. 8): Las notables diferencias entre los valores de las medianas (700 m frente a 4.470 m), los límites de los intervalos en los que se sitúan la mitad central de ambas muestras (440-1.000 m frente a 2.340-5.560 m) y los de todas las distancias de los itinerarios recorridos a pie frente a los realizados en coche (60-4.010 m frente a 650-11.200 m) muestra que existe asociación entre la distancia y el modo de transporte (FIG. 8).

El análisis ROC confirma no solo que la distancia viaria es estadísticamente significativa para discriminar los modos de transporte

utilizados en cada itinerario, sino que, además, es excepcionalmente buena. El área bajo la curva o *area under the curve* (AUC) es 0,957, muy superior al mínimo extendido por la literatura par aconsiderar válida una variable (AUC>0,7). La distancia euclídea presenta, de hecho, una probabilidad de clasificación correcta casi igual de buena (AUC=0,946). Sin embargo, no existe una distancia capaz de clasificar los itinerarios en función del modo de transporte en que se realizan. Entre los 650 y los 4.010 m, hay itinerarios activos y no activos. Los límites entre los que se sitúa la mitad de los recorridos activos (700-1.840 m) están contenidos en el intervalo entre los que se sitúan los del primer cuartil de los no activos (650-2.340 m).

La distancia que permite clasificar los itinerarios minimizando la probabilidad de error se obtuvo por dos métodos diferentes —cálculo del índice de Youden (0,808) y cálculo de la eficacia (1,792)—llegando a idéntico resultado: 1.475 m. Mientras que las distancias inferiores a 1.475 m será más probable que se recorran a pie, las mayores es más posible que se hagan en coche. Al aumentar la distancia, la probabilidad de que una ruta se recorra a pie disminuye, mientras que la de que se realice en coche aumenta (FIG. 9).

Esta distancia es prácticamente idéntica al umbral de 1,5 km que para los desplazamientos escolares a pie señalan D'HAESE & al. (2011) y SILVA & al. (2020) en base a sus estudios en Bélgica y Brasil, y no muy diferente de los 1,6 km (1 milla) habitual en Norteamérica (ORESKOVIC & al., 2014; ROTHMAN & al., 2014).

A la vista de los resultados de los análisis ROC, del índice de Youden y del cálculo de la eficacia, se realizó un modelo discriminante que emplease la distancia viaria como única variable independiente para evaluar su capacidad discriminatoria.

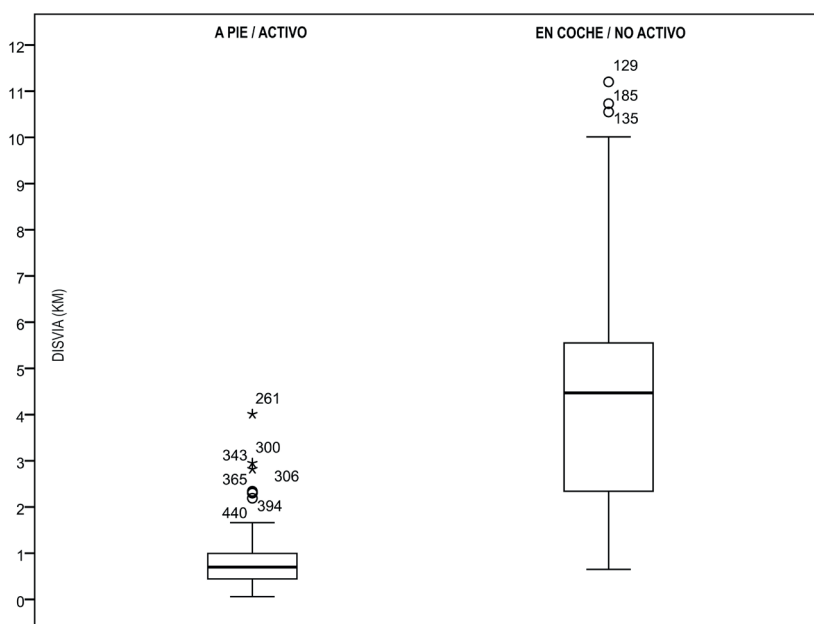


FIG. 8/ Diagramas de cajas de la distribución de la distancia viaria de los itinerarios realizados a pie (activos) y en coche (no activos):

Fuente: Elaboración propia

La bondad de la función se mide a través de la matriz de confusión (FIG. 7, Modelo II). Esta muestra los resultados de la clasificación del modelo en comparación con lo reportado por la encuesta de movilidad. El modelo clasifica correctamente el 85,3% de los itinerarios analizados. Un porcentaje muy elevado, no muy por debajo del 88,1% obtenido por la función discriminante que incluye las otras 7 variables morfológicas. De hecho, en los trayectos realizados a pie se consigue un 98,6% de acierto (superior al 93,7% obtenido con el Modelo I). Por el contrario, para la clasificación de los recorridos en coche, la probabilidad de acierto es del 71,2%, notablemente inferior al 82,3% obtenido al tener en cuenta los factores asociados a la densidad residencial, la diversidad funcional y el diseño viario.

Coincidimos con MACDONALD & al. (2019) en que el análisis de la caminabilidad es complejo y no puede reducirse solamente a la relación menor distancia–mayores porcentajes de movilidad activa. Sin embargo, la bondad del modelo discriminante basado únicamente en la distancia viaria —especialmente en lo que itinerarios activos se refiere— hace necesario reconocer e insistir en la importancia de esta característica del viaje fuertemente condicionada por el planeamiento urbano y las formas de ocupación del territorio.

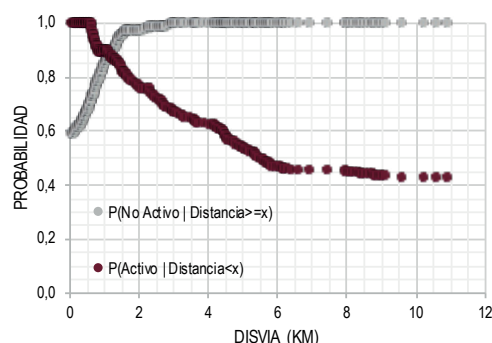


FIG. 9/ Probabilidades de que un itinerario se realice a pie (activo) o en coche (no activo) en función de su distancia viaria.

Fuente: Elaboración propia

4.4. El papel de las 3D en la elección del modo de transporte

Ante la limitada diferencia en la capacidad discriminadora que presentan el modelo multivariable y el basado únicamente en la distancia, se investigaron las capacidades discriminadoras de un modelo que no incluyese ni las dos distancias (viaria y euclídea), ni la rectitud. Este tercer modelo incluía solo las variables relacionadas la densidad residencial, la MUS y las intersecciones de la red viaria.

De las 48 variables consideradas, el análisis estadístico discriminante identificó 7 que permiten diferenciar entre los dos grupos considerados. Resultaron estadísticamente significativas:

- 3 respectivas a la densidad residencial — el número de viviendas en las AIP de 1 km en torno al domicilio (Viv.AIP.10.H) y el número de viviendas y la densidad residencial bruta en las AIL de la ruta (Viv.AIL y DRB.AIL)—
- 2 relativas a la diversidad funcional — la MUS en las AIP de 1 km en torno al domicilio (MUS.AIP.10.H), y las AIP de 500 m alrededor de los institutos (MUS.AIP.05.C)—
- 2 vinculadas al diseño viario —el número de intersecciones mayorado y la densidad de intersecciones en las AIL de los itinerarios (NIM.AIL y DI.AIL)—.

Puesto que el estudio de correlación entre estas variables no detectó valores superiores o iguales a 0,8 (el valor máximo fue de 0,694 y la gran mayoría eran menores de 0,300), las 7 se incluyeron en el tercer modelo discriminante. Los factores de inflación de la varianza (>1) y los índices de condicionamiento (<20) confirmaron la ausencia de problemas de multicolinealidad.

Teniendo en cuenta que el centroide de los valores de la función para los recorridos no activos es negativo (-1,294) y el de los activos es positivo (1,230), en general, los valores altos de las variables con coeficientes normalizados negativos favorecerán los desplazamientos en coche, mientras que los valores altos de las variables con coeficientes positivos promoverán el modo peatonal (Fig. 6, Modelo III).

Según el signo positivo o negativo del coeficiente y el peso mayor o menor de su valor absoluto, la interpretación de los coeficientes de la función discriminante es que: a) los valores altos del número de intersecciones mayorado y del número de viviendas a lo largo del recorrido favorecen los desplazamientos en coche, mientras que b) los valores altos de la MUS en el entorno de los centros escolares (AIP de 500 m), la densidad residencial bruta y la densidad de intersecciones a lo largo del recorrido, el número de viviendas en el entorno de los centros escolares (AIP de 1 km) y la MUS en el entorno de los hogares (AIP de 1 km) favorecen los desplazamientos a pie.

La bondad del modelo se mide a través de la matriz de confusión (Fig. 7, Modelo III). Esta muestra los resultados de la clasificación del modelo en comparación con lo reportado por la encuesta de movilidad. El modelo clasifica correctamente el 87,6% de los itinerarios analizados. Ligeramente mejor (+2,3%) que el modelo que solo consideraba la distancia y casi con la misma efectividad que el Modelo I (-0,5%). Este modelo es además el más equilibrado (aunque casi igual que el Modelo I) si consideramos los aciertos para cada modo, pues consigue clasificar correctamente el 92,2% de los realizados a pie y el 82,8% de los realizados en coche.

En ausencia de la distancia, la MUS en las AIP de 500 m en torno a los institutos que era la segunda variable con más peso en el Modelo I, pasa a ser la más relevante de la nueva función. Después, el número de intersecciones mayorado a lo largo del recorrido que releva al número de intersecciones — dos variables *a priori* bastante relacionadas entre sí y que resultan colineales en nuestro estudio (Fig. 10)— y se incorpora como nueva variable el número de viviendas a lo largo del itinerario. Es decir, sin considerar la distancia, ganan relevancia estas dos variables que computan viviendas e intersecciones a lo largo del recorrido sin relativizar su valor dividiéndolos entre la distancia o la superficie del AIL y que, como veremos, presentan una correlación media-alta con la distancia.

Las otras cuatro variables incluidas en el nuevo modelo coinciden o son equivalentes a otras del primer modelo analizado. Por una parte, la densidad bruta —en lugar de la neta que incluía el Modelo I— gana peso y se convierte en la tercera variable con más peso para el nuevo modelo. La densidad de intersecciones en los caminos escolares y el número de viviendas en las AIP de 1 km en torno a los centros escolares se repiten con pesos similares (mayor ahora para esta última). Por último, la MUS en las AIP de 1 km alrededor de los domicilios sustituye a la de las AIP de 500 m, con la que es esperable que guarde bastante relación.

La combinación de densidad residencial, diversidad funcional y alta conectividad de la red viaria están relacionados con la caminabilidad de los barrios y está asociada en la literatura a la movilidad escolar activa (D'HAESE & al., 2015). Barrios de bloques pequeños, densamente poblados y con una mayor conectividad de sus calles son, en general, más

aptos para que los niños se desplacen andando o en bicicleta (MITRA & BULIUNG, 2012; MOLINA-GARCÍA & al., 2018; STEWART, 2011). Los modelos I y III confirman el papel relevante de estas características morfológicas, cuyo comportamiento analizamos con más detalle a continuación.

4.4.1. La densidad residencial

La densidad residencial se cuantificó mediante 15 variables de las que 4 mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los realizados a pie y los recorridos en coche. El número de viviendas en el entorno de los centros escolares (AIP de 1 km) y las densidades residenciales bruta y neta a lo largo del camino escolar son mayores en los itinerarios activos, mientras que el número de viviendas a lo largo del recorrido es mayor en los itinerarios no activos.

La media y la mediana de todas las variables registradas relacionadas con la densidad residencial son, de forma consistente, siempre mayores para los recorridos realizados a pie que para los realizados en coche (FIG. 4). La única excepción es el mencionado número de viviendas a lo largo del camino escolar que guarda una estrecha relación con la distancia (al aumentar el recorrido, es más probable que lo haga también el número de viviendas a lo largo del mismo): Aparte de esta, tanto el número de viviendas como las densidades residenciales neta y bruta son siempre mayores para el grupo de los recorridos activos, en todas y cada una de las distintas AI consideradas. Ya sea en torno al domicilio de los estudiantes o alrededor del centro escolar. Tanto para la distancia de 500 m como para la de 1 km.

Numerosos estudios han relacionado la densidad residencial en el entorno de los colegios y los barrios donde residen los estudiantes con mayores niveles de desplazamientos escolares activos (CARVER & al., 2019; CHRISTIANSEN & al., 2014; GILES-CORTI & al., 2018; MACDONALD & al., 2019; MOLINA-GARCÍA & al., 2018; VAN LOON & FRANK, 2011). En línea con estas investigaciones, este estudio muestra evidencias en la misma dirección. Al aumentar el número de viviendas en un ámbito de 1 km en torno al centro escolar —medido desde el acceso a este a través de la red de calles y recorridos de acceso peatonal— aumentan las probabilidades de que el recorrido se realice a pie y no en coche.

Mientras que el resto de las variables relacionadas con la densidad residencial en torno a los colegios y los hogares no llegan a mostrar diferencias estadísticamente significativas, a pesar de las notables diferencias al comparar media y mediana, las densidades residenciales bruta y neta a lo largo del camino escolar sí muestran una capacidad discriminadora relevante. Es el resultado de calcular la densidad residencial neta (viv./ha) en el conjunto de parcelas que interseccionan con el AI de 50 m a cada lado del recorrido peatonal más corto entre el domicilio del estudiante con el centro escolar. Señala la importancia del papel de la densidad residencial a lo largo de todo el camino escolar.

4.4.2. La diversidad funcional

La diversidad funcional se midió mediante la MUS en 5 AI diferentes: alrededor del centro escolar y de los domicilios (en ambos casos a distancias de 500 m y 1 km), y también a lo largo del camino escolar. Todas menos esta última mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los itinerarios activos y no activos, cuya media y mediana que muestra valores casi idénticos en ambos grupos (FIG. 4). Algo curioso dadas las notables diferencias entre las otras cuatro variables.

De forma consistente, los itinerarios realizados a pie presentan valores más elevados de MUS, tanto en los entornos de los centros escolares como en los de los hogares, y para las distancias de 500 m y 1 km. Junto con la densidad residencial, CARLSON & al. (2015) también observaron mayores valores de MUS asociados a mayores proporciones de adolescentes que caminaban al instituto. BOSCH & al. (2020) y NELSON & WOODS (2010) muestran que los estudiantes que se desplazaban habitualmente de modo activo percibían en su ruta mayor cantidad de tiendas e instalaciones relacionadas con la actividad física (p. ej.: pista de atletismo, un gimnasio, una escuela de danza): En el caso del último autor, esta diversidad de usos percibida estaba referida a una distancia de 10 minutos caminando desde la vivienda y a lo largo del itinerario diario al centro educativo. Se puede concluir que la influencia de la diversidad funcional tanto percibida como medida objetivamente (el caso de nuestro estudio) están relacionadas positivamente con la movilidad activa.

	N.I.A.I.C.10.H	N.I.A.I.C.05.H	N.I.A.I.P.10.H	N.I.A.I.P.05.H	DI.A.I.P.10.H	DI.A.I.P.05.H	N.I.M.A.I.C.10.H	N.I.M.A.I.C.05.H	N.I.M.A.I.P.10.H	N.I.M.A.I.P.05.H	D.I.M.A.I.P.10.H	D.I.M.A.I.P.05.H	N.I.A.I.C.10.C
	1,000	0,824	0,932	0,721	0,831	0,616	0,995	0,847	0,932	0,731	0,857	0,618	0,389
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	1,000	0,905	0,929	0,926	0,895	0,810	0,989	0,899	0,913	0,922	0,875	0,358	0,000
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Densidad residencial	Viv.A.I.P.10.H	1,000	1,000	0,799	0,932	0,733	0,929	0,918	0,996	0,793	0,947	0,723	0,395
		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Viv.A.I.P.05.H	0,693	1,000	1,000	0,823	0,936	0,712	0,919	0,797	0,989	0,814	0,919	0,354
		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	DRN.A.I.P.10.H	0,606	0,638	1,000	1,000	0,839	0,813	0,916	0,921	0,802	0,994	0,824	0,412
		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	DRN.A.I.P.05.H	0,571	0,720	0,855	1,000	1,000	0,601	0,871	0,725	0,912	0,817	0,989	0,325
		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	DRB.A.I.P.10.H	0,663	0,730	0,479	0,489	1,000	1,000	0,841	0,934	0,727	0,844	0,608	0,391
		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	DRB.A.I.P.05.H	0,499	0,876	0,543	0,678	0,806	1,000	1,000	0,920	0,920	0,923	0,864	0,369
		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Viv.A.I.P.10.C	0,299	0,196	0,188	0,210	0,244	0,181	1,000	1,000	0,798	0,941	0,721	0,396
		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Viv.A.I.P.05.C	0,320	0,237	0,233	0,254	0,280	0,207	0,825	1,000	1,000	0,803	0,912	0,355
		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
DRN.A.I.P.10.C	0,225	0,281	0,414	0,392	0,182	0,250	0,704	0,742	1,000	1,000	0,811	0,424	
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
DRN.A.I.P.05.C	0,253	0,243	0,448	0,428	0,156	0,219	0,681	0,694	0,866	1,000	1,000	0,328	
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
DRB.A.I.P.10.C	0,228	0,346	0,220	0,245	0,412	0,401	0,513	0,605	0,519	0,361	1,000	1,000	
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
DRB.A.I.P.05.C	0,290	0,310	0,359	0,376	0,278	0,302	0,704	0,914	0,835	0,782	0,681	1,000	
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	Viv.A.I.P.10.H	Viv.A.I.P.05.H	DRN.A.I.P.10.H	DRN.A.I.P.05.H	DRB.A.I.P.10.H	DRB.A.I.P.05.H	Viv.A.I.P.10.C	Viv.A.I.P.05.C	DRN.A.I.P.10.C	DRN.A.I.P.05.C	DRB.A.I.P.10.C	DRB.A.I.P.05.C	
Distancia y variables asociadas a los itinerarios	DisVia	1,000											
	DisEuc	0,985	1,000										
		0,000	0,000										
	Viv.A.I.L	0,395	0,431	1,000									
		0,000	0,000	0,000									
	DRN.A.I.L	-0,423	-0,381	0,341	1,000								
		0,000	0,000	0,000	0,000								
	DRB.A.I.L	-0,711	-0,688	0,251	0,712	1,000							
		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000							
	MUS.A.I.L	0,058	0,091	0,270	0,259	0,118	1,000						
		0,241	0,067	0,000	0,000	0,017	0,000						
	NI.A.I.L	0,681	0,721	0,480	0,016	-0,373	0,158	1,000					
		0,000	0,000	0,000	0,748	0,000	0,001	0,000					
	DI.A.I.L	-0,286	-0,226	0,139	0,450	0,264	0,116	0,394	1,000				
		0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,019	0,000	0,000				
	NIM.A.I.L	0,698	0,739	0,505	0,017	-0,371	0,195	0,992	0,362	1,000			
	0,000	0,000	0,000	0,733	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000				
DIM.A.I.L	-0,264	-0,199	0,202	0,459	0,295	0,167	0,410	0,974	0,401	1,000			
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000			
Rectitud	0,098	-0,041	-0,242	-0,303	-0,169	-0,136	-0,195	-0,390	-0,187	-0,386	1,000		
	0,048	0,412	0,000	0,000	0,001	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		
	DisVia	DisEuc	Viv.A.I.L	DRN.A.I.L	DRB.A.I.L	MUS.A.I.L	NI.A.I.L	DI.A.I.L	NIM.A.I.L	DIM.A.I.L	Rectitud		

Nota: Para cada par de variables se muestra el coeficiente de correlación (r: Rho de Spearman, resaltado en negrita si >0,8; arriba) y el p-valor (deabajo):

FIG. 10/ **Análisis de las posibles correlaciones existentes entre los grupos de variables asociadas a una misma característica morfológica —densidad residencial, diversidad funcional y diseño viario— y la correlación que las medidas asociadas al itinerario pudieran tener con las variables de medida de la distancia.**

Fuente: Elaboración propia

4.4.3. El diseño de la red viaria

El diseño de la red viaria se cuantificó a partir de la rectitud del itinerario y del número de intersecciones de la red viaria que, medido de diversas formas y para distintas AI, supusieron un total de 28 variables. De estas, 4 mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los itinerarios realizados a pie y los recorridos en coche y fueron incluidas en uno o dos de los modelos multivariantes: el número de intersecciones, el número de intersecciones mayorado y la densidad de

intersecciones en el AIL de los itinerarios y el número de intersecciones en el AIP de 1 km en torno a los centros educativos.

El número de intersecciones y el número de intersecciones mayorado a lo largo de los caminos escolares son las dos únicas variables que presentan valores mayores para los itinerarios no activos. No es del todo extraño ya que ambas son, en cierto modo, dependientes de la distancia. De hecho, presentan una correlación moderada-alta —entre 0,681 y 0,739— con las distancias viaria y euclídea

	NL.AIC.05.C	NL.AIP.10.C	NL.AIP.05.C	DL.AIP.10.C	DL.AIP.10.C	NIM.AIC.10.C	NIM.AIC.05.C	NIM.AIP.10.C	NIM.AIP.05.C	DIM.AIP.10.C	DIM.AIP.05.C	
	0,416	0,425	0,439	0,424	0,414	0,389	0,397	0,422	0,436	0,424	0,434	NL.AIC.10.H
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	0,442	0,399	0,491	0,436	0,504	0,358	0,414	0,392	0,491	0,436	0,519	NL.AIC.05.H
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	0,434	0,434	0,463	0,449	0,454	0,395	0,419	0,430	0,463	0,449	0,466	NL.AIP.10.H
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	0,418	0,394	0,472	0,439	0,495	0,354	0,386	0,384	0,470	0,439	0,515	NL.AIP.05.H
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	0,478	0,450	0,516	0,485	0,528	0,412	0,449	0,444	0,514	0,485	0,540	DL.AIP.10.H
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	0,424	0,367	0,486	0,421	0,522	0,325	0,377	0,357	0,483	0,421	0,537	DL.AIP.05.H
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	0,399	0,426	0,417	0,422	0,393	0,391	0,390	0,423	0,416	0,422	0,409	NIM.AIC.10.H
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	0,431	0,410	0,472	0,447	0,483	0,369	0,412	0,404	0,472	0,447	0,499	NIM.AIC.05.H
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	0,423	0,434	0,450	0,450	0,440	0,396	0,412	0,430	0,449	0,450	0,452	NIM.AIP.10.H
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	0,399	0,395	0,446	0,443	0,470	0,355	0,373	0,386	0,444	0,443	0,492	NIM.AIP.05.H
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	0,477	0,464	0,510	0,497	0,518	0,424	0,453	0,457	0,507	0,497	0,533	DIM.AIP.10.H
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	0,409	0,371	0,466	0,427	0,503	0,328	0,366	0,361	0,463	0,427	0,521	DIM.AIP.05.H
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	0,751	0,979	0,686	0,919	0,609	1,000	0,827	0,968	0,682	0,919	0,675	NL.AIC.10.C
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	1,000	0,785	0,951	0,762	0,893	0,751	0,958	0,796	0,941	0,762	0,882	NL.AIC.05.C
		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
		1,000	0,724	0,958	0,657	0,979	0,852	0,997	0,719	0,958	0,727	NL.AIP.10.C
			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
			1,000	0,711	0,958	0,686	0,880	0,727	0,998	0,711	0,950	NL.AIP.05.C
			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
			1,000	0,711	0,919	0,827	0,955	0,707	1,000	0,780	0,000	DL.AIP.10.C
				0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
				1,000	0,609	0,811	0,654	0,956	0,711	0,969	0,000	DL.AIP.05.C
					0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
					1,000	0,827	0,968	0,682	0,919	0,675	0,000	NIM.AIC.10.C
						0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
						1,000	0,866	0,879	0,827	0,816	0,000	NIM.AIC.05.C
							0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Diversidad funcional	MUS.AIP.10.H	1,000						1,000	0,722	0,955	0,724	NIM.AIP.10.C
								0,000	0,000	0,000	0,000	
	MUS.AIP.05.H	0,909	1,000					1,000	0,707	0,948	0,000	NIM.AIP.05.C
		0,000							0,000	0,000	0,000	
MUS.AIP.10.C	0,214	0,236	1,000					1,000	0,780	0,000	DIM.AIP.10.C	
	0,000	0,000							0,000	0,000		
MUS.AIP.05.C	0,251	0,282	0,866	1,000					1,000	0,000	0,000	DIM.AIP.05.C
	0,000	0,000	0,000							0,000	0,000	

Diseño propio

FIG. 10/ (cont.)

(FIG. 10). Así, los itinerarios realizados a pie presentan un número de intersecciones menor que los recorridos en coche que, con distancias mayores, presentan también un mayor número absoluto de intersecciones.

La media y la mediana del resto de variables relacionadas con el número o la densidad de intersecciones son, de forma consistente, siempre mayores para los recorridos realizados a pie que para los realizados en coche (FIG. 4), aunque solo la densidad de intersecciones en el AIL de las rutas escolares y el número de intersecciones en las AIP de 1 km alrededor de los institutos lo son como para

que las diferencias entre los dos grupos de itinerarios resulten significativas.

Los itinerarios activos presentan mayor densidad de intersecciones y mayor número y densidad de intersecciones en las áreas de torno a los domicilios y a los centros escolares. Sin embargo, el coeficiente normalizado de la función discriminante asociado al número de intersecciones en el AIP de 1 km en torno a los centros escolares señala que los valores más altos de dicha variable (NL.AIP.10.C) se asocian a los itinerarios no activos. Esta variable afecta a la clasificación realizada por el Modelo I en sentido contrario

a estudios anteriores y, en cierto modo, también al sentido en el que afecta la densidad de intersecciones a lo largo de la ruta en nuestro propio estudio.

GILES-CORTI & al. (2011), MACDONALD & al. (2019) y PANTER & al. (2010) obtuvieron resultados en este mismo sentido en estudios realizados en Australia y Escocia y Norfolk (Reino Unido), respectivamente. Una mayor conectividad de la red viaria indica que hay mayor cantidad de rutas que conectan unos lugares con otros y propician los desplazamientos peatonales (BRAZA & al., 2004). De un modo similar, MITRA & BULIUNG (2012) también observaron que una mayor proporción de intersecciones de cuatro vías (del total de intersecciones) presentaba asociación con menores niveles de desplazamiento activo a la escuela.

4.5 Aspectos metodológicos acerca de la medida de las variables

Para investigar la relevancia que podían tener algunos aspectos metodológicos a la hora de abordar esta y futuras investigaciones sobre la influencia de la forma urbana —considerar distancias menores o mayores (500 m o 1 km) y el modo de medirla (euclídea y viaria) para definir las áreas de influencia— se realizó un análisis de las posibles correlaciones existentes entre los grupos de variables asociadas a una misma característica morfológica —densidad residencial, diversidad funcional y diseño viario— y la correlación que las medidas asociadas al itinerario pudieran tener con las variables de medida de la distancia (FIG. 10).

¿Influye la distancia o da lo mismo considerar 500 m que 1 km? De los 6 pares de variables relacionadas con la densidad, medidas para ambas distancias, 4 presentan coeficientes de correlación superiores a 0,8 y los otros dos pares —número de viviendas en torno al domicilio (0,693) y densidad residencial bruta en torno a los centros escolares (0,681)— presentan una correlación moderada-alta. De los 2 pares asociados a la MUS, ambos son colineales. De los 12 pares de variables vinculados al diseño viario, 5 tienen coeficientes de correlación $>0,8$ y los otros 7, los tienen entre 0,711 y 0,799 (FIG. 10). Es decir, aunque la correlación entre medir las variables en un ámbito de 500 o de 1.000 m es grande y la mitad de las parejas podríamos considerarlas colineales, hay otra mitad que no lo son por lo que, si se dispone de

medios, puede merecer la pena seguir midiendo ambas distancias. Si optásemos por medir solo una, este estudio sugiere optar por la de 1 km, pues las variables para estos ámbitos aumentan las diferencias en una ciudad media y dispersa como Toledo. Sin embargo, (MITRA & BULIUNG, 2012), comprobaron en Toronto que las AI de 400 m presentaban más asociaciones entre las características urbanas y la elección modal que otras distancias mayores.

¿Hay diferencias entre considerar AIC o AIP? De los 8 pares de variables que se midieron considerando estos dos tipos de AI, todos presentaron coeficientes de correlación superiores a 0,8. Esto sugiere que resulta redundante utilizar ambos tipos de AI. Siendo las circulares mucho más sencillas de calcular que las poligonales, si no se dispone de los conocimientos o de las herramientas, no debería haber inconveniente en utilizar las primeras, al menos para medir variables relacionadas con el número y densidad de intersecciones en el viario. Sin embargo, la falta de evidencias para el resto de las características morfológicas y la mayor precisión que ofrecen las AIP frente a las AIC, sugiere seguir utilizándolas e investigando su eficacia discriminante.

Por último, en relación con el modo de computar las intersecciones, bien considerando todas por igual o mayorándolas en función del número de segmentos de calle que coincidiesen en cada cruce, la correlación entre los 12 pares de variables que se miden según estos dos métodos diferentes resulta siempre superior a 0,9, por lo que pueden considerarse equivalentes. Siendo así, la mayor simplicidad de computar todas por igual, sugiere que este sea el método más recomendable para próximas investigaciones.

5. Conclusiones

Esta investigación ofrece una nueva perspectiva para comprender mejor tanto la movilidad adolescente actual en una ciudad media española, como su relación con algunas de las características de la forma urbana más relevantes a este respecto, de acuerdo con la literatura.

En primer lugar, los resultados de la encuesta de movilidad escolar nos permiten aproximarnos a una realidad poco conocida y documentada, como es la movilidad obligada

adolescente en el caso de ciudades medias de nuestro entorno. Este estudio muestra cómo el modelo de ocupación del territorio desarrollado durante el último medio siglo — inherente al uso generalizado del vehículo privado— ha generado unos patrones de movilidad de largas distancias, incluso en asentamientos de población medio como el que aquí hemos estudiado, donde el transporte cotidiano, incluso para los más jóvenes, no solo trasciende los límites municipales y los del cinturón de los municipios vecinos, sino incluso los de las áreas urbanas funcionales definidas de acuerdo con los patrones de movilidad laboral de la población adulta.

La distancia, como también confirma esta investigación, es un factor decisivo de cara a la elección del modo de transporte y hace que, para muchos estudiantes, no sea posible ir andando al centro escolar. La novedad y simplicidad aportada por el análisis del potencial discriminatorio de la distancia (viaria, en nuestro caso) mediante el empleo de un modelo discriminante monofuncional es una aproximación que no habíamos visto y que resulta revelador, evidenciando la importancia de construir ciudades que acorten las distancias de los desplazamientos cotidianos. Y reconstruir las existentes en la misma dirección.

Sin embargo, mientras revisamos y reorganizamos nuestras ciudades, la única opción posible para facilitar un transporte activo en estos casos es la bicicleta. Ideal para distancias superiores a 1,5 km (por encima de la cual el número de viajes escolares a pie es casi inexistente en nuestro caso) y menores de 4 km, según el límite propuesto por NELSON & al. (2008). Sin embargo, en nuestro caso de estudio —como en la gran mayoría de las ciudades españolas y mediterráneas— la bici tampoco es una opción dado el bajo o nulo desarrollo de la infraestructura ciclista. Esta investigación evidencia la importancia y la urgencia de desarrollar en estas áreas urbanas de tamaño medio —superando los límites municipales e incluyendo al menos a los municipios vecinos— una red de carriles ciclistas que permita a los adolescentes y al resto de la ciudadanía desplazarse de forma segura y cómoda.

Este estudio, en la misma línea que investigaciones anteriores, no solo ha hecho patente cómo los aspectos morfológicos vinculados a la generación de entornos urbanos que favorezcan el transporte peatonal — densidad residencial, diversidad funcional y

diseño viario—son capaces de explicar mejor la elección modal para los desplazamientos obligados. Además, ha mostrado que, dejando a un lado las distancias, estas características de la forma urbana, consideradas a lo largo de los itinerarios y no solo alrededor de los centros escolares, tienen la misma capacidad de explicar la elección modal.

En el caso investigado, las variables morfológicas en el entorno de los centros escolares demuestran una capacidad discriminante mayor que alrededor de los domicilios, aunque en estos la MUS también resulta significativa, asociándose a la modalidad peatonal. Valores altos de la MUS y el número de viviendas en los AIP de los institutos favorecen los desplazamientos a pie. Del mismo modo, los valores altos de la densidad residencial y la densidad de intersecciones a lo largo de los caminos escolares presentan asociación con los itinerarios activos.

Estos resultados sugieren seguir investigando el papel de estas y otras posibles variables morfológicas y sintácticas, al margen de la distancia. En este sentido, las teorías y herramientas de *Space Syntax* se están utilizando recientemente en esta misma línea de investigación (KOOHSARI & al., 2019; SHATU & al., 2019; TORUM & al., 2020) y han sido ya aplicadas con anterioridad a nuestro ámbito de estudio (ARNAIZ & al., 2013), aunque con otros fines.

Desde el punto de vista metodológico, el empleo de modelos discriminantes utilizado aquí de forma novedosa para investigar el efecto ha demostrado ser eficaz para investigar la relación entre la elección modal y las variables morfológicas aquí consideradas, permitiendo además discernir la distinta relevancia de cada una.

También desde una perspectiva metodológica, y contrariamente a lo que pudiera pensarse y de la tendencia observada en las investigaciones de la última década, este trabajo muestra que el empleo de las distancias viarias frente a las distancias euclídeas y la definición de AIP frente a AIC no presenta grandes diferencias en la cuantificación de las variables investigadas. Sin embargo, la utilización de los primeros parece más coherente para captar el ámbito real de los peatones.

Las limitaciones de la extensión de nuestro caso de estudio y sus singularidades sugieren continuar investigando la movilidad adolescente en otras ciudades de nuestro

entorno donde, el avance hacia un desarrollo sostenible, desde una triple perspectiva ambiental, social y económica, pasa por una transformación de la movilidad en la que ya vienen trabajando desde hace décadas numerosas ciudades europeas y de otras partes del mundo, así como algunas españolas. Los procesos de transformación e impactos en diversos aspectos de nuestra vida se están estudiando en los últimos años (VÁZQUEZ-HISADO, 2018; MONTORIO-GURICH & MORENO-TAPIA, 2021; RUIZ-APILÁÑEZ & SOLÍS, 2021a).

Sin embargo, nuestro estudio sugiere que, además de abordar la transformación de los modelos de movilidad y de la utilización que hacemos de los modos de transporte es necesario replantear y, en la medida de lo posible, reconfigurar el modelo de ordenación urbanístico-territorial. La necesaria transformación del uso que hacemos de los modos de transporte está ligada a la transformación del modo en que ocupamos el territorio y configuramos los asentamientos humanos, pero también implica abordar cambios en la infraestructura de transportes y en nuestros propios hábitos. Unos hábitos adquiridos que, lejos de formar parte de nuestro ADN, los hemos desarrollado apenas durante los últimos cincuenta años y no solo están poniendo en riesgo a las generaciones futuras —la sostenibilidad de nuestro planeta en un futuro más próximo del que nos gustaría pensar— sino que también constituyen, al margen de la pandemia en la que nos vemos inmerso, uno de los mayores riesgos para la salud de las generaciones que hoy ocupamos este planeta (RUIZ-APILÁÑEZ & SOLÍS, 2021b).

La movilidad activa puede contribuir de forma importante a mejorar nuestra salud —por un lado, contribuyendo a que llevemos un estilo de vida más activo y aprovechemos los numerosos beneficios derivados de este, y, por otro, evitando la contaminación asociada a otros modos de transporte y los efectos nocivos sobre las personas—, las condiciones de vida de las personas y las de la Tierra en su conjunto. El estudio de la movilidad infantil y adolescente es, además, especialmente relevante para cambiar las prácticas de transporte hoy más extendidas en nuestro entorno próximo. Los resultados de este trabajo sugieren continuar investigando este fenómeno complejo y polifacético.

6. Bibliografía

- AARTS, M.-J. & al. (2013): Associations Between Environmental Characteristics and Active Commuting to School Among Children: a Cross-sectional Study. *International Journal of Behavioral Medicine*, 20(4), 538–555. <https://doi.org/10.1007/s12529-012-9271-0>
- ARNAIZ, M. & RUIZ-APILÁÑEZ, B. & UREÑA, J. M. DE. (2013): *El análisis de la traza mediante Space Syntax. Evolución de la accesibilidad configuracional de las ciudades históricas de Toledo y Alacalá de Henares*. ZARCH Journal of Interdisciplinary Studies in Architecture and Urbanism, 1, 128–140. <https://zarch.unizar.es/images/Descargas/PDF/Revista01/0110-Jose-Maria-Urena.pdf>
- BEJLERI, I. & al. (2011): Using GIS to analyze the role of barriers and facilitators to walking in children's travel to school. *Urban Design International*, 16(1), 51–62. <https://doi.org/10.1057/udi.2010.18>
- BILAL, U. & al. (2016): Population cardiovascular health and urban environments: the Heart Healthy Hoods exploratory study in Madrid, Spain. *BMC Medical Research Methodology*, 16(1), 104. <https://doi.org/10.1186/s12874-016-0213-4>
- BOSCH, L. & al.(2020): Associations of the objective built environment along the route to school with children's modes of commuting: A multilevel modelling analysis (the SLIC study): *PloS One*, 15(4), e0231478–e0231478. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231478>
- BRAZA, M. & SHOEMAKER, W. & SEELEY, A. (2004): Neighborhood Design and Rates of Walking and Biking to Elementary School in 34 California Communities [Article]. *American Journal of Health Promotion*, 19(2), 128–136. <https://doi.org/10.4278/0890-1171-19.2.128>
- CAMPOS-SÁNCHEZ, F. S. & al.(2020): A GIS-Based Method for Analysing the Association Between School-Built Environment and Home-School Route Measures with Active Commuting to School in Urban Children and Adolescents. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(2295), 1–19. <https://doi.org/10.3390/ijerph17072295>
- CARLSON, J. A. & al.(2015): Association between neighborhood walkability and GPS-measured walking, bicycling and vehicle time in adolescents [Article]. *Health & Place*, 32, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2014.12.008>
- _____ & al. (2018): Work and Home Neighborhood Design and Physical Activity. *American Journal of Health Promotion*, 32(8), 1723–1729. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=s3h&AN=132632904&lang=es&site=eds-live>
- CARVER, A. & al. (2019): How are the built environment and household travel characteristics associated with children's active transport in Melbourne,

- Australia? *Journal of Transport & Health*, 12, 115–129. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2019.01.003>
- CERIN, E. & al. (2007): Destinations that matter: Associations with walking for transport. *Health & Place*, 13(3), 713–724. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2006.11.002>
- CERVERO, R. & KOCKELMAN, K. (1997): Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2(3), 199–219. [https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(97\)00009-6](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(97)00009-6)
- CHILLÓN, P. & al. (2012): Six-year trend in active commuting to school in Spanish adolescents: The AVENA and AFINOS studies. *International Journal of Behavioral Medicine*, 20(4), 529–537. <https://doi.org/10.1007/s12529-012-9267-9>
- CHRISTIAN, H. E. & al. (2011): How important is the land use mix measure in understanding walking behaviour? Results from the RESIDE study. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 8. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-8-55>
- CHRISTIANSEN, L. B. & al. (2014): School site walkability and active school transport – association, mediation and moderation. *Journal of Transport Geography*, 34, 7–15. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2013.10.012>
- COLABORADORES DE OPENSTREETMAP. (s.f.): *Open Street Map bajo licencia Open Database License (ODbL)*: <https://www.openstreetmap.org/#map=6/40.007/-2.488>
- D'HAESE, S. & al. (2011): Criterion distances and environmental correlates of active commuting to school in children [Article]. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 8(1), 88. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-8-88>
- _____ & al. (2015): Cross-continental comparison of the association between the physical environment and active transportation in children: a systematic review. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*. <https://doi.org/10.1186/s12966-015-0308-z>
- DAVISON, K. K. & WERDER, J. L. & LAWSON, C. T. (2008): Children's active commuting to school: Current knowledge and future directions. *Preventing Chronic Disease*, 5(3). <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18558018/>
- DIRECCIÓN GENERAL DEL CATASTRO. (s.f.): *Sede Electrónica del Catastro*. <https://www.sedecatastro.gob.es/Accesos/SECAccDescargaDatos.aspx>
- DUNCAN, D. T. & al. (2011): Validation of Walk Score® for Estimating Neighborhood Walkability: An Analysis of Four US Metropolitan Areas. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8(11), 4160–4179. <https://doi.org/10.3390/ijerph8114160>
- DYGRYN, J. & al. (2015): Changes in Active Commuting to School in Czech Adolescents in Different Types of Built Environment across a 10-Year Period. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(10), 12988–12998. <https://doi.org/10.3390/ijerph121012988>
- ESRI. (s.f.): *ArcGIS Online Geocoding Service*. <https://geocode.arcgis.com/arcgis/>
- EUROSTAT. (s.f.): *Spatial Units: City, Greater City and Functional Urban Area*. Retrieved July 7, 2021. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/cities/spatial-units>
- EWING, R. & SCHROEER, W. & GREENE, W. (2004): School Location and Student Travel Analysis of Factors Affecting Mode Choice [Article]. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1895(1), 55–63. <https://doi.org/10.3141/1895-08>
- FAULKNER, G. E. & al. (2009): Active school transport, physical activity levels and body weight of children and youth: A systematic review [Article]. *Preventive Medicine*, 48(1), 3–8. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2008.10.017>
- FRANK, L. D. & ANDRESEN, M. A. & SCHMID, T. L. (2004): Obesity relationships with community design, physical activity, and time spent in cars. *American Journal of Preventive Medicine*, 27(2), 87–96. <https://doi.org/10.1016/J.AMEPRE.2004.04.011>
- _____ & al. (2005): Linking objectively measured physical activity with objectively measured urban form: Findings from SMARTRAQ. *American Journal of Preventive Medicine*, 28(2), 117–125. <https://doi.org/10.1016/J.AMEPRE.2004.11.001>
- GILES-CORTI, B. & al. (2018): Built environment and physical activity. M. Nieuwenhuijsen & H. Khreis (Eds.), *Integrating Human Health into Urban and Transport Planning: A Framework* (pp. 347–381): Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-74983-9_18
- & al. (2011): School site and the potential to walk to school: The impact of street connectivity and traffic exposure in school neighborhoods. *Health and Place*, 17(2), 545–550. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2010.12.011>
- GOBIERNO DE ESPAÑA. (s.f.): *Agenda Urbana Española*. <https://www.aue.gob.es/>
- GULLÓN, P. & al. (2017): Intersection of neighborhood dynamics and socioeconomic status in small-area walkability: the Heart Healthy Hoods project. *International Journal of Health Geographics*, 16(1), 21. <https://doi.org/10.1186/s12942-017-0095-7>
- HANDY, S. (1997): Urban form and pedestrian choices: Study of Austin neighborhoods. *Transportation Research Record*, 1552, 135–144. <https://doi.org/10.1177/0361198196155200119>
- HELBICH, M. (2017): Children's school commuting in the Netherlands: Does it matter how urban form is incorporated in mode choice models? *International Journal of Sustainable Transportation*, 11(7), 507–517. <https://doi.org/10.1080/15568318.2016.1275892>
- ILLMAN, M. & ADAMS, J. & WHITELEGG, J. (1990): *One False Move... A Study of Children's Independent Mobility*. PSI Policy Studies Institute.

- <http://john-adams.co.uk/wp-content/uploads/2007/11/one%20false%20move.pdf>
- IBM CORPORATION. (2021): *SPSS Statistics* (24.0): <https://www.ibm.com/support/pages/downloading-ibm-spss-statistics-24>
- IKEDA, E. & al. (2018): Built environment associates of active school travel in New Zealand children and youth: A systematic meta-analysis using individual participant data. *Journal of Transport & Health*, 9, 117–131. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2018.04.007>
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. (2021): *Áreas Urbanas Funcionales: Toledo*. https://www.ine.es/ss/Satellite?L=es_ES&c=INESeccion_C&p=1254735110672&pagename=ProductosYServicios%2FPYSLayout¶m1=PYSDetalleFichaSeccionUA¶m3=1259944561392&charset=UTF-8&cid=1259944594300#
- JEFFREY, D. & al. (2019): Using walkability measures to identify train stations with the potential to become transit oriented developments located in walkable neighbourhoods. *Journal of Transport Geography*, 76 (March), 221–231. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.03.009>
- KERR, J. & al. (2006): Active commuting to school: Associations with environment and parental concerns. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(4), 787–794. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000210208.63565.73>
- KOOHSARI, M. J. & al. (2019): Natural movement: A space syntax theory linking urban form and function with walking for transport. *Health and Place*. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2019.01.002>
- LAMÍQUIZ, P. J. & LÓPEZ-DOMÍNGUEZ, J. (2015): Effects of built environment on walking at the neighbourhood scale. A new role for street networks by modelling their configurational accessibility? *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 74, 148–163. <https://doi.org/10.1016/J.TRA.2015.02.003>
- LEE, C. & MOUDON, A. V. (2006): The 3Ds + R: Quantifying land use and urban form correlates of walking. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 11(3), 204–215. <https://doi.org/10.1016/J.TRD.2006.02.003>
- MACDONALD, L. & McCRORIE, P. & NICHOLLS, N. & JR, O. (2019): Active commute to school: does distance from school or walkability of the home neighbourhood matter? A national cross-sectional study of children aged 10-11 years, Scotland, UK. *BMJ open*, 9 (12), e033628–e033628. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2019-033628>
- McMILLAN, T. E. (2005): Urban Form and a Child's Trip to School: The Current Literature and a Framework for Future Research [Article]. *Journal of Planning Literature*, 19(4), 440–456. <https://doi.org/10.1177/0885412204274173>
- MINISTERIO DE SANIDAD CONSUMO Y BIENESTAR SOCIAL. (2017): Encuesta Nacional de Salud España 2017. *Encuesta Nacional de Salud España 2017*. https://www.msbs.gob.es/estadEstudios/estadisticas/encuestaNacional/encuestaNac2017/ENSE17_pres_web.pdf%0Ahttps://juanrevenga.com/wp-content/uploads/2018/06/ENSE17.pdf
- MINISTERIO DE TRANSPORTES MOVILIDAD Y AGENDA URBANA. (2021): *Áreas urbanas en España 2020*. <https://apps.fomento.gob.es/CVP/handlers/pdfhandler.ashx?idpub=BAW080>
- MITRA, R. & BULIUNG, R. N. (2012): Built environment correlates of active school transportation: neighborhood and the modifiable areal unit problem. *Journal of Transport Geography*, 20(1), 51–61. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2011.07.009>
- MOLINA-GARCÍA, J. & al. (2018): Built Environment, Psychosocial Factors and Active Commuting to School in Adolescents: Clustering a Self-Organizing Map Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(1), 83. <https://doi.org/10.3390/ijerph16010083>
- & al. (2017): Neighborhood built environment and socio-economic status in relation to multiple health outcomes in adolescents. *Preventive Medicine*, 105 (August), 88–94. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2017.08.026>
- MONTORO-GURICH, C., & MORENO-TAPIA, C. (2021): El impacto de las infraestructuras de movilidad vertical en la calidad de vida de las personas mayores: Pamplona como estudio de caso. *Ciudad Y Territorio Estudios Territoriales*, 53(209). <https://doi.org/10.37230/CyTET.2021.209.06>
- NACIONES UNIDAS (s.f.): *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- (2017): *Nueva Agenda Urbana*. Naciones Unidas.
- NAWROCKI, J. & al. (2014): Measuring walkability and its effect on light rail usage : a comparative study of the USA and Japan. *WIT Transactions on the Built Environment*, 138, 305–316. <https://doi.org/10.2495/UT140261>
- NELSON, N. M. & al. (2008): Active commuting to school: how far is too far? [Article]. *The International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 5 (1): <https://doi.org/10.1186/1479-5868-5-1>
- & WOODS, C. B. (2010): Neighborhood perceptions and active commuting to school among adolescent boys and girls. *Journal of physical activity & health*, 7 (2), 257–266. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=mdc&AN=20484765&site=eds-live>
- OPEN SOURCE GEOSPATIAL FOUNDATION (OSGeo) (2020): *QGIS bajo licencia GNU - General Public License* (3.16.6 Hannover): <https://www.qgis.org/es/site/>
- ORESKOVIC, N. M. & BLOSSOM, J. & ROBINSON, A. I. & CHEN, M. L. & USCANGA, D. K. & MENDOZA, J. A. (2014): The influence of the built environment on outcomes from a “walking school bus study”: a cross-sectional analysis using geographical information systems. *Geospatial Health*, 9 (1), 37–44. <https://doi.org/10.4081/gh.2014.4>

- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (2010): Recomendaciones mundiales sobre actividad física para la salud. *World Health Organization*, 58. <https://www.who.int/es/publications/item/9789241599979>
- ORTEGA, E. & RUIZ-CANELA, J. (2020): La prevalencia del exceso de peso debe disminuir en los países mediterráneos. *Evidencias En Pediatría*, 2–5.
- PANTER, J. R. & JONES, A. P. & VAN SLUIJS, E. M. F. (2008): Environmental determinants of active travel in youth: A review and framework for future research. *International Journal of Behavioral Nutrition & Physical Activity*, 5, 1–14. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-5-34>
- ____ & al.(2010): Neighborhood, Route, and School Environments and Children's Active Commuting. *American Journal of Preventive Medicine*, 38(3), 268–278. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2009.10.040>
- PONT, K. & al. (2009): Environmental correlates of children's active transportation: A systematic literature review. *Health & Place*, 15 (3), 849–862. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2009.02.002>
- RIoux, L. & al. (2016): Walking in two French neighborhoods: A study of how park numbers and locations relate to everyday walking. *Journal of Environmental Psychology*, 48, 169–184. <https://doi.org/10.1016/J.JENVP.2016.10.003>
- ROTHMAN, L. & al. (2014): Influence of social and built environment features on children walking to school: An observational study. *Preventive Medicine*, 60, 10–15. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2013.12.005>
- RUIZ-APILÁNEZ, B. & SOLÍS, E. (Eds.) (2021a): *A pie o en bici. Perspectivas y experiencias en torno a la movilidad activa*. Cuenca, España: Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha. http://doi.org/10.18239/atenea_2021.25.00
- ____ (2021b): Movilidad activa: una visión integral e integradora. En B. RUIZ-APILÁNEZ & E. SOLÍS (Eds.) *A pie o en bici. Perspectivas y experiencias en torno a la movilidad activa* (pp. 15-24). Cuenca, España: Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha. http://doi.org/10.18239/atenea_2021.25.01
- SALLIS, J. F. & al. (2016): Physical activity in relation to urban environments in 14 cities worldwide: a cross-sectional study. *Lancet*, 387. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)01284-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)01284-2)
- SÁNCHEZ-CRUZ, J. J. & al.(2013): Prevalencia de obesidad infantil y juvenil en España en 2012. *Revista Espanola de Cardiología*, 66(5), 371–376. <https://doi.org/10.1016/j.recresp.2012.10.016>
- SHATU, F. & YIGITCANLAR, T. & BUNKER, J. (2019): Shortest path distance vs. least directional change: Empirical testing of space syntax and geographic theories concerning pedestrian route choice behaviour. *Journal of Transport Geography*, 74, 37–52. <https://doi.org/10.1016/J.JTRANGEO.2018.11.005>
- SILVA, A. A. DE P. & al. (2020): Characteristics of the schools' surrounding environment, distance from home and active commuting in adolescents from Curitiba, Brazil. *Revista brasileira de epidemiologia. Brazilian journal of epidemiology*, 23. <https://doi.org/10.1590/1980-549720200065>
- SMITH, M. & IKEDA, E. & al. (2020): Trends and measurement issues for active transportation in New Zealand's physical activity report cards for children and youth. *Journal Of Transport & Health*, 15. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2019.100789>
- SOLÀ-MORALES, M. DE. (1997): *Las formas de crecimiento urbano*. Ediciones UPC.
- SOLÍS, E. & al. (2019): El enfoque morfogenético y cuantitativo aplicado al estudio de las formas urbanas y la diversidad de usos: el caso de Toledo. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 82. <https://doi.org/10.21138/bage.2753>
- STEWART, O. (2011): Findings from research on active transportation to school and implications for safe routes to school programs. *Journal of Planning Literature*, 26(2), 127–150. <https://doi.org/10.1177/0885412210385911>
- SULLIVAN, R. A. & al. (2017): The Association of Physical Activity and Academic Behavior: A Systematic Review [Article]. *Journal of School Health*, 87(5), 388–398. <https://doi.org/10.1111/josh.12502>
- TIMPERIO, A. & al. (2006): Personal, family, social, and environmental correlates of active commuting to school. *American Journal of Preventive Medicine*, 30(1), 45–51. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2005.08.047>
- TORUM, A.O. & al.. (2020): Understanding the role of urban form in explaining transportation and recreational walking among children in a logistic GWR model: A spatial analysis in Istanbul, Turkey. *Journal of Transport Geography*, 82 (January). <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.102617>
- TRAPP, G. & al. (2011): Increasing Children's Physical Activity: Individual, Social, and Environmental Factors Associated with Walking to and from School. *Health Education & Behavior*, 39 (2), 172–182. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=eric&AN=E-J987552&site=eds-live>
- VAN LOON, J. & FRANK, L. (2011): Urban form relationships with youth physical activity: Implications for research and practice. *Journal of Planning Literature*, 26(3), 280–308. <https://doi.org/10.1177/0885412211400978>
- VÁQUEZ-HISADO, J. C. (2018): El proceso hacia la movilidad sostenible en Sevilla: centro histórico, peatones y ciclistas. *Ciudad Y Territorio Estudios Territoriales*, 50(196), 263-276. <https://recyt.fecyt.es/index.php/CyTET/article/view/76661>

VILLA-GONZÁLEZ, E. & al.. (2012): Factores personales y ambientales asociados con el desplazamiento activo al colegio de los escolares españoles. *Revista de Psicología Del Deporte*, 21 (2), 343–349. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=asn&AN=79855871&site=eds-live>

WONG, B. Y.-M. & FAULKNER, G. & BULIUNG, R. (2011): GIS measured environmental correlates of active school transport: A systematic review of 14 studies. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 8(1), 39. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-8-39>

7. Listado de Acrónimos/Siglas

AI	Área de Influencia
AIC	Área de Influencia Circular
AIL	Área de Influencia Longitudinal
AIP	Área de Influencia Poligonal
AUC	<i>Area Under the Curve</i> o Área Bajo la Curva
AUF	Área Urbana Funcional
INE	Instituto Nacional de Estadística
MITMA	Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana
MUS	Mezcla de Usos del Suelo
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
RLM	Regresión Lineal Múltiple
ROC	<i>Receiver Operating Characteristic</i>
SIG	Sistema de Información Geográfica