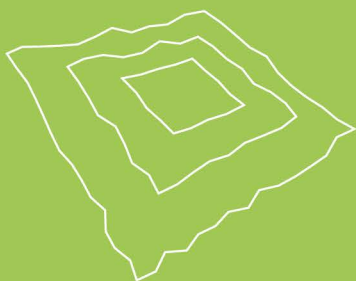


serie

CIUDADES
SUSTENTABLES



MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE

Fundamentos, conceptos y técnicas de análisis espacial

L L A
C T A
lab



CIUDADES
SUSTENTABLES

serie



CIUDADES
SUSTENTABLES

MOVILIDAD URBANA SOSTEBIBLE

Fundamentos, conceptos
y técnicas de análisis espacial

Movilidad Urbana Sostenible

Fundamentos, conceptos y técnicas de análisis espacial

<http://lactalab.ucuenca.edu.ec>

Daniel Orellana Vintimilla

Autor

Galo Carrión

Portada

Numeral

Diseño Original

Foto pp. 14-15 (Calle Simón Bolívar, fachada de la Curia Arquidiocesana del Azuay)

Autor: Felipe Cobos

Centro Editorial UCuenca Press

Dirección: Daniel López Zamora. **Coordinación editorial:** Ángeles Martínez Donoso. **Diagramación:** Jossue Cárdenas Santos. **Corrección de estilo:** Mihaela Ionela Badin. **Preprensa:** Juan Tigre Amón.

Ciudadela Universitaria

Av. Doce de Abril y calle Agustín Cueva

(+593 7) 405 1000

Casilla postal: 01.01.168

www.ucuenca.edu.ec

Primera edición, 2024

Tiraje: 200 ejemplares

ISBN: 978-9978-14-575-3

ISBN digital: 978-9978-14-576-0

Cuenca, Ecuador

Diciembre, 2024

Prólogo

Desde hace más de 10 años, Daniel Orellana ha realizado un trabajo imparable de investigación en estudios de ciudad, principalmente, en movilidad urbana. Este libro que hoy nos regala es una consecuencia de ese trabajo sistemático, riguroso e innovador, pero contado desde un lenguaje claro y amigable, que permite ser comprendido por una persona adulta, independientemente de su área de experticia.

El libro se divide en dos secciones: una teórica y otra práctica, aunque ambas pueden leerse de manera independiente. En la primera parte, de carácter teórico, debo advertir al lector que no encontrará respuestas ni soluciones definitivas, ya que Daniel plantea un enfoque crítico sobre la movilidad urbana sostenible. En estas páginas se abordan debates esenciales, tales como: ¿Es realmente sostenible la movilidad eléctrica? ¿Qué significa la movilidad compartida? ¿Funcionan en América Latina las estrategias aplicadas en Europa en cuanto a movilidad? ¿Es posible que los vehículos motorizados de movilidad personal coexistan con los peatones? ¿Cómo se puede afrontar la inmovilidad de ciertos grupos poblacionales? También se contraponen fenómenos complejos, como las ventajas de las TIC frente a la ampliación de desigualdades debido al analfabetismo tecnológico o la falta de acceso; la distancia versus el tiempo como criterio para decisiones cotidianas de movilidad; la accesibilidad urbana frente a la accesibilidad a nivel de calle.

Esta sección teórica deja claro al lector que el siglo XXI representa un cambio de paradigma, pasando del concepto de transporte al de movilidad. Este cambio implica un giro de la atención, de los autos a las personas, y, como enfatiza Daniel, entender la movilidad como un fenómeno interdisciplinario, que no puede ser aislado de su dimensión social y multiescalar. Por eso, el libro plantea importantes retos para investigadores, técnicos y responsables de la toma de decisiones en las próximas décadas. Sin embargo, obras como esta son las que inspiran y facilitan esa tarea.

La segunda parte del libro cambia de enfoque, pasa de la reflexión teórica a la práctica, a través de una serie de tutoriales que explican cómo analizar espacialmente la movilidad urbana. Se ofrece una guía detallada para calcular rutas óptimas, obtener datos de la red vial, calcular isócronas y áreas de servicio, analizar la accesibilidad a oportunidades urbanas y rediseñar calles. Daniel, con su vocación docente, comparte generosamente gran parte de sus aprendizajes. Ha logrado, con gran destreza, que esta guía pueda ser utilizada por personas con distintos niveles de conocimiento en sistemas de información geográfica y algunos *softwares*. Así, el lector podrá elegir qué procesos aplicar para analizar su calle, barrio o ciudad.

Estos tutoriales serán una herramienta valiosa para investigadores, técnicos, responsables de la toma de decisiones, y ciudadanos en general. Los primeros obtendrán datos relevantes para responder preguntas sobre estudios urbanos y movilidad. Para los segundos, estos instrumentos serán útiles para definir y priorizar estrategias en infraestructura, localización de equipamientos, proyectos de vivienda colectiva, reformas viales, entre otros. Finalmente, algunos ciudadanos podrán hacer que sus viajes sean más eficientes.

Con este libro, Daniel demuestra que en Cuenca se produce ciencia de calidad en el ámbito de la movilidad urbana. Pero, lo más destacable es que logra dar ese salto tan difícil para los investigadores: pasar de la investigación pura a la acción, transfiriendo conocimiento a la sociedad en general. Eso es, sin duda, lo que más se agradece al autor en esta obra.

Carla Hermida

Doctora en Arquitectura y Estudios Urbanos

Presentación

La movilidad es uno de los temas prioritarios de preocupación en la mayoría de las ciudades alrededor del mundo. Su naturaleza es compleja, multiescalar y dinámica, e impacta en la vida cotidiana de toda la población.

Durante los últimos años, investigadores e investigadoras de diferentes disciplinas han mostrado un reciente interés por el fenómeno de la movilidad urbana, produciendo un creciente (y, a veces, desordenado) cuerpo de conocimiento científico.

En el año 2012 me incorporé a la Universidad de Cuenca, cuyas autoridades me solicitaron impulsar la investigación interdisciplinaria. Junto con otros profesores y profesoras, identificamos la necesidad de abordar los temas de la sostenibilidad urbana desde una perspectiva integral y multidisciplinaria, y fundamos el grupo de investigación LlactaLAB – Ciudades Sustentables, como un espacio de reflexión e investigación sobre estos temas.

Desde sus inicios, la movilidad sostenible surgió como uno de los aspectos prioritarios, por lo que desarrollamos varios proyectos de investigación, gracias al apoyo de la entonces Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca y, más adelante, del Vicerrectorado de Investigación. Recibimos también apoyo de la red CEDIA para algunas de nuestras investigaciones y trabajamos juntamente con el GAD Municipal de Cuenca y de otras ciudades, incluyendo Ambato, Zaruma y Quito. También hemos realizado investigación aplicada con el apoyo de organismos internacionales, como el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF), y la Corporación Andina de Fomento (CAF).

Como fruto de esta década de trabajo, el grupo de investigación ha contribuido al conocimiento global sobre la movilidad con cerca de 40 publicaciones en revistas científicas internacionales, capítulos de libros y memorias de congresos, además de innumerables conferencias, clases magistrales y presentaciones académicas. Adicionalmente, se ha realizado un

fuerte trabajo divulgativo con presencia en los principales medios de comunicación nacionales.

Sin embargo, aunque LlactaLAB ha sido pionero a nivel nacional en estos enfoques, no es, ni mucho menos, el único espacio en el que se investiga la movilidad urbana en Cuenca. Por el contrario, en una reciente revisión de literatura, hemos identificado cerca de un centenar de publicaciones académicas sobre movilidad urbana en Cuenca, 76 de ellas en revistas indexadas en SCOPUS o SciELO, en las que han participado más de 40 investigadores e investigadoras de las cuatro universidades de la ciudad, e incluso de universidades extranjeras. Sin embargo, es necesario reconocer que mucho de este conocimiento está disperso en diferentes formatos e idiomas y fuentes, algunas de ellas inaccesibles fuera del ámbito académico. Por esta razón, he buscado resumir, sistematizar y divulgar algunos de los aspectos más importantes del trabajo en movilidad urbana sostenible.

Como resultado de este esfuerzo, he desarrollado dos libros. El primero, titulado "LA CIUDAD SE MUEVE ASÍ – Estado del arte sobre la investigación en movilidad urbana en Cuenca", lo he planteado como una obra colectiva en la que he invitado a participar a los investigadores e investigadoras activos en los temas de movilidad urbana en Cuenca. El resultado es una recopilación editada en 14 capítulos que divulga los datos principales a nivel local. La presente obra constituye el segundo libro, titulado "MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE. Fundamentos, conceptos y técnicas de análisis espacial" y tiene a su vez dos partes. La primera presenta algunos fundamentos teóricos sobre movilidad sostenible en los entornos urbanos, resumiendo de forma accesible los aspectos claves de las visiones contemporáneas sobre movilidad urbana sostenible. La segunda parte consiste en tutoriales, paso a paso, para enseñar algunas de las técnicas de análisis espacial que utilizamos para el estudio de la movilidad urbana.

Espero que estas dos obras en conjunto contribuyan a la discusión sobre el fenómeno de la movilidad urbana y que sea de utilidad para investigadores, tomadores de decisión, profesores, estudiantes, comunicadores y demás personas interesadas en este tema.

Quisiera concluir esta presentación agradeciendo a las instituciones, organizaciones y personas que han hecho posible obtener estos logros. Primeramente, el más profundo agradecimiento al increíble equipo de LlactaLAB que, con su pasión, fuerza y compromiso, nos han permitido ser uno de los grupos de investigación de referencia en temas de ciudad. En particular a Adriana Quezada, Augusta Hermida, Natasha Cabrera, Lisseth Molina, María Laura Guerrero, Christian Calle, Pablo Osorio, Lorena Abad, Javier García, Sebastián Vanegas, Kelly Fernández, Gabriela Carrión, Emilia Acurio, Galo Carrión y Daniela Auquilla, quienes han colaborado en diferentes proyectos sobre movilidad a lo largo de estos 10 años. Así mismo, extendo mi agradecimiento a Carla Hermida de la Universidad del Azuay, con quien compartimos una visión sobre la movilidad en Cuenca y quien ha sido una colaboradora fundamental y sabia consejera en este esfuerzo académico. También agradezco a Guilherme Chaulhoub Dourado por su permanente predisposición a cooperar y debatir ideas, así como para encontrar la manera de operativizarlas en la ciudad. Además, un agradecimiento especial a María Elisa Bustos por su ayuda con la revisión de los tutoriales de este libro.

Estos logros han sido colectivos y se han dado gracias al apoyo organizacional e institucional de varias organizaciones. En primer lugar, la Universidad de Cuenca, que se ha posicionado como una institución académica líder a nivel nacional, demostrando la alta calidad de la universidad pública con una investigación pertinente y de impacto global. Agradezco a la Rectora María Augusta Hermida, al Vicerrector Académico, Juan Leonardo Espinoza, y a la Vicerrectora de Investigación e Innovación, Monserrath Jerves, por haber confiado en este esfuerzo interdisciplinario. Por otro lado, ha sido fundamental el fortalecimiento del Departamento Interdisciplinario de Espacio y Población, una apuesta innovadora de la Universidad de Cuenca por la investigación rigurosa. Agradezco también a la Facultad de Arquitectura y Urbanismo y a la Facultad de Ciencias Agropecuarias por haberme dado las facilidades y el tiempo necesario para la investigación durante estos diez años. Otra institución que ha sido fundamental para este trabajo es la Corporación Ecuatoria-

na para el Desarrollo de la Investigación y la Academia (CEDIA), ha financiado algunas de las iniciativas de investigación y ha apoyado permanentemente con la infraestructura digital para gran parte de nuestro trabajo.

Además, quiero reconocer al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cuenca, en especial a la Dirección de Gestión de Movilidad y la Empresa Pública de Movilidad, Tránsito y Transporte de la Municipalidad de Cuenca (EMOV-EP); sus funcionarios han estado siempre abiertos para colaborar en diferentes iniciativas sobre la movilidad sostenible.

Finalmente, quiero agradecer profundamente a Daniela, Isabela y Emilio, quienes han sido mi roca y apoyo incondicional durante esta aventura académica. Además, un agradecimiento especial a María Elisa Bustos por su ayuda con la revisión de los tutoriales de este libro.

Daniel Orellana V.

Agosto de 2024

MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE

Fundamentos, conceptos y técnicas de análisis espacial

12

Prólogo

 5

Presentación

 7

Parte 1

Movilidad urbana sostenible: principios y fundamentos

 17

Introducción
Un cambio de paradigma
Movilidad sostenible: definiciones y conceptos
Elementos de la movilidad sostenible
Tendencias en la movilidad urbana
Movilidad y accesibilidad
Retos de la movilidad urbana en las próximas décadas
Conclusión

Parte 2

Análisis espacial de la movilidad urbana

 59

1. Cálculo de rutas óptimas
2. Obtención de datos de red vial
3. Ruteo multimodal e isócronas con *OpenTripPlanner*

4. Isócronas y áreas de servicio
5. “Ciudad de los 15 minutos”
6. Rediseño de calles con *StreetMix*

Glosario

146

Referencias

149







Parte 1

Movilidad urbana sostenible: principios y fundamentos

Introducción

Las ciudades son lugares de movimiento: las personas, los productos, los vehículos, la información y las ideas están siempre cambiando en el espacio y el tiempo. Observar durante un tiempo una calle céntrica urbana es uno de los ejercicios más poderosos para iniciar la exploración y comprensión de la ciudad y de la comunidad que la habita.

Y es que la movilidad es uno de los aspectos más fascinantes del comportamiento espacial de las personas. La forma en la que se moviliza la población en una ciudad está fuertemente influenciada por la forma física urbana (la disposición de las calles, edificaciones y espacios públicos), por los sistemas institucionales (leyes, instituciones y empresas) y por la cultura (costumbres y valores). Pero también sucede lo contrario: la forma de moverse también influye y modifica la morfología de la ciudad, las instituciones y la cultura, generándose, por lo tanto, un conjunto de interacciones que forman un fenómeno complejo. Así como el movimiento es evidencia del comportamiento espacial de las personas (Orellana, 2011), la movilidad urbana es la huella de las sociedades urbanas: Dime cómo te mueves y te diré en qué tipo de ciudad vives.

Hace ya 100 años que los teóricos urbanos de la escuela de Chicago describieron la movilidad como “tal vez el mejor índice del metabolismo de una ciudad” (Burgess, 2008), pero

durante la mayor parte del siglo pasado, el fenómeno de la movilidad urbana se ha estudiado de manera fragmentada y reduccionista, siguiendo corrientes separadas desde diferentes áreas del conocimiento.

Por ejemplo, la ingeniería ha abordado los problemas de las infraestructuras para atender a un creciente número de autos, diseñando y creando sistemas y calles exclusivos para el tráfico motorizado y ocupando así la inmensa mayoría del espacio público; aunque también ha desarrollado sistemas de transporte público que son la columna vertebral de la movilidad en muchas ciudades del mundo. Desde la geografía del transporte se ha estudiado cómo la ubicación espacial y las distancias afectan la forma de moverse de las personas y se han creado modelos que tratan de explicar y predecir el tráfico. Desde la economía se ha abordado la movilidad como un problema de oferta y demanda, en la cual se asume un objetivo único de minimizar el tiempo de viaje y se crean modelos econométricos basados en este principio. Desde la logística se han estudiado y propuesto modelos para optimizar el movimiento de personas y productos, intentando disminuir el tiempo y costo del transporte. La arquitectura y el urbanismo se han preocupado por cómo el diseño y la configuración de los espacios y las edificaciones afectan y son afectados por el movimiento de las personas y los vehículos. Desde la medicina se ha estudiado cómo los diferentes modos de transporte impactan en la salud física y mental de las personas, tanto a nivel individual como colectivo. Las ciencias ambientales se han preocupado por los impactos de la movilidad motorizada en la calidad del aire y en el calentamiento global. Más recientemente, desde la sociología y la antropología urbana se han planteado cuestiones relacionadas con la relación entre los factores sociales y personales y las formas de movilidad, así como las especificidades de grupos vulnerables.

Estos son solo algunos ejemplos que dan cuenta de la enorme complejidad y diversidad de perspectivas que requiere el estudio de la movilidad urbana. Hasta inicios del siglo XXI, todos estos problemas se tratan por separado desde las distintas disciplinas, pero, durante las últimas dos décadas, se ha generado una nueva corriente que aboga por una comprensión más

holística y sistemática de la movilidad como un fenómeno complejo. Veremos más adelante cómo este cambio de paradigma está cambiando las bases teóricas, los supuestos, los métodos de análisis y, por supuesto, la forma en la que se conciben, planifican e implementan los sistemas de movilidad urbana.

Un cambio de paradigma

Históricamente, el modelo de “ciudad del automóvil” ha sido prevalente en las ciudades latinoamericanas, influenciadas fuertemente por los paradigmas de diseño urbano de América del Norte. Este enfoque se basaba en una visión de eficiencia de la infraestructura, con el objetivo primordial de aumentar la capacidad vial para los automóviles, disminuir los tiempos de viaje y aumentar la velocidad (Schipper et al., 2020). Además, abogaba por una planificación urbana basada en la zonificación, separando las áreas residenciales de las comerciales e industriales y generando un crecimiento urbano horizontal, lo que requería un mayor uso del automóvil particular. Como consecuencia de esto, el transporte público quedaba relegado a un segundo plano, con poca inversión y planificación y bajos niveles de calidad. Otras consecuencias de este modelo fueron la expansión urbana, la pérdida de cantidad y calidad del espacio público, la contaminación del aire, el aumento de gases de efecto invernadero y un declive de la salud y bienestar de la población (Camagni et al., 2002).

Sin embargo, este modelo ha recibido críticas por su impacto negativo en la sostenibilidad ambiental y la equidad social. Tan temprano como en 1961, Jacobs (1961) cuestionaba ya este enfoque en su obra “Muerte y vida de las Ciudades Americanas”. Incluso en Europa, donde es frecuente un modelo de crecimiento vertical, denso y compacto, y por lo tanto con mejores condiciones para sistemas eficientes de transporte público y movilidad activa, las grandes ciudades aún sufren las graves consecuencias del modelo basado en el automóvil.

A inicios del siglo XXI, y ante la evidente crisis urbana derivada del paradigma motorizado de la movilidad, varias voces se alzaron para proponer nuevas visiones. El sociólogo John Urry, hizo contribuciones significativas a la comprensión de la movilidad desde una perspectiva social y urbana (Mimi Sheller & Urry, 2016). Urry argumentó que la movilidad es mucho más que un simple fenómeno físico o mecánico; es intrínsecamente social y debe entenderse en contextos sociales, económicos, políticos y ambientales más amplios (M. Sheller & Urry, 2006). Su trabajo proporcionó una lente a través de la cual observar cómo las redes de transporte, las infraestructuras, los flujos de capital y las identidades sociales interactúan entre sí.

En su libro "Mobilities", Urry (2007) plantea que vivimos en una "nueva era de la movilidad" y propone un enfoque más comprensivo y multidimensional para estudiar la movilidad. Identifica varios "sistemas de movilidad" como el automóvil, el avión, e incluso el Internet, argumentando que estos sistemas son esenciales para la estructuración de las sociedades contemporáneas. Además, aborda conceptos como "inmovilidad", destacando que el acceso a la movilidad no está distribuido equitativamente y que hay barreras físicas, legales y sociales que limitan la movilidad de ciertas personas o grupos. El "nuevo paradigma de movilidades" que Urry describe es, en esencia, un llamado a la investigación interdisciplinaria y una comprensión más completa de cómo la movilidad afecta y es afectada por otros aspectos de la vida social. Este paradigma busca superar las limitaciones de enfoques más tradicionales y unidimensionales para ofrecer una comprensión más rica y matizada de la movilidad y cómo esta impacta en la igualdad social, el medio ambiente y el desarrollo económico. La Tabla 1 presenta una comparación entre el paradigma clásico y el nuevo paradigma de movilidades.

Tabla 1

Comparación del paradigma clásico de movilidad y el nuevo paradigma de movilidades

Paradigma del siglo XX Enfoque en el automóvil y eficiencia	Paradigma del siglo XXI Enfoque holístico y sostenible
<p>Modelo orientado al automóvil: el desarrollo urbano a menudo se planificaba alrededor del automóvil, resultando en expansión urbana y de la infraestructura vial, como carreteras y autopistas urbanas (Newman & Kenworthy, 2021).</p> <p>Eficiencia del transporte: el objetivo principal era mejorar la eficiencia de la infraestructura vial, generalmente midiendo parámetros como velocidad, tiempo de viaje y capacidad vial.</p> <p>Zonificación y especialización: la planificación urbana estaba fuertemente basada en la zonificación, separando entre sí las áreas residenciales, comerciales e industriales, lo que implicaba más viajes y un mayor uso del automóvil para moverse entre zonas.</p> <p>Expansión urbana: la degradación de la calidad urbana, la ampliación de las vías y la especulación del precio del suelo y la vivienda hizo que varios grupos poblacionales se muevan a las periferias, expandiendo la mancha urbana y disminuyendo la densidad. Esto a su vez aumentó aún más la dependencia del automóvil particular.</p>	<p>Movilidad como servicio: la adopción de tecnologías digitales ha facilitado enfoques más integrados y flexibles para la movilidad, presentándola como un servicio y no solo como un medio de transporte. Esto incluye las plataformas de interconexión entre diferentes tipos de transporte (Hensher et al., 2020).</p> <p>Sostenibilidad: hay un fuerte enfoque en minimizar el impacto ambiental a través de la promoción del transporte público, la bicicleta y la caminata.</p> <p>Equidad social: el nuevo paradigma también considera la justicia social y busca hacer que la movilidad sea accesible para todos los sectores de la sociedad (Martens, 2016).</p> <p>Proximidad y accesibilidad: la ciudad se planifica para promover la proximidad entre orígenes y destinos, la mixticidad de usos del suelo y la accesibilidad a las oportunidades urbanas. Todo esto disminuye la necesidad de viajes y reduce las distancias y tiempos de desplazamiento. Conceptos como "ciudades 15 minutos" están ganando tracción (Moreno et al., 2021).</p>

Subinversión en transporte público: el enfoque en el automóvil resultó en una inversión menor en transporte público y otras formas de movilidad, causando una disminución en su cobertura y calidad. Esto, a su vez, aumentaba la preferencia por el automóvil para quienes podían permitírselo.

Impacto ambiental: la sostenibilidad no era una consideración clave, lo que resultó en problemas, como la contaminación del aire, la pérdida de espacios verdes y el calentamiento global

Desarrollo Orientado al Transporte (DOT): este concepto implica el diseño de la urbanización alrededor de nodos de transporte público para maximizar el acceso y minimizar la dependencia del automóvil (R. B. Cervero, 2013).

Participación ciudadana: los procesos de planificación ahora son más inclusivos, con una mayor participación pública y toma de decisiones colaborativas.

Datos y analítica: la disponibilidad actual de datos y técnicas de análisis permite generar información y conocimiento para una planificación mucho más flexible y adaptativa de los sistemas de movilidad, así como para identificar problemas y potenciales soluciones (Orellana, 2016).

Actualmente, la Inteligencia Artificial está ganando protagonismo en este ámbito.

Movilidad sostenible: definiciones y conceptos

Este cambio de paradigma, junto a la diversidad de enfoques y disciplinas involucradas, ha generado una similar diversidad en los términos y definiciones que se utilizan para caracterizarlo. En esta sección revisaremos algunos de estos términos que contribuyen a una conceptualización de la movilidad sostenible.

Nociones relacionadas

Hasta hace algunos años se utilizaba el término “movilidad alternativa” para referirse al desplazamiento a pie o en bicicleta. Sin embargo, este término ha sido fuertemente criticado ya que relega a estos medios de transporte a un segundo plano, manteniendo siempre al automóvil como el modo preferencial. Así mismo, expresiones como “transporte ecológico” o “transporte verde” han recibido críticas debido a que han sido frecuentemente cooptados por la industria automotriz como técnicas publicitarias y *greenwashing*.

Otro término comúnmente utilizado ha sido el de “movilidad no motorizada” para distinguir los modos que no requieren energía externa; este concepto ha sido reemplazado más recientemente por “movilidad activa” para hacer énfasis en que las personas se desplazan por su propia energía y esfuerzo, con un efecto positivo en la salud física y mental.

Por otro lado, la “micromovilidad” se refiere a la movilidad en pequeños vehículos personales impulsados por energía personal o motor eléctrico que no superen los 30 kg de peso y con una velocidad máxima de 30 km/h. La micromovilidad incluye bicicletas, bicicletas eléctricas, patinetas, monopatines eléctricos, *scooters*, etc.

Un concepto relacionado es el de “movilidad compartida” para enfatizar la separación del vehículo de uso particular. En la movilidad compartida se hace énfasis en la eficiencia del espacio y la energía, lo que implica que varias personas con trayectos similares utilicen el mismo vehículo. Algunos ejemplos

de movilidad compartida incluyen una persona llevando en su auto particular a otras personas hasta un destino común (viaje compartido o *carpooling*), así como el transporte escolar o institucional en buses o busetas. Incluso, el transporte público puede ser considerado el ejemplo extremo de movilidad compartida.

Relacionado con esto, están los *sistemas flotantes de auto compartido*, también conocidos como *free-floating car sharing* (FFCS), un modelo de servicio de transporte que permite a los usuarios alquilar vehículos por períodos cortos de tiempo, generalmente por minutos o por horas, y dejarlos en cualquier ubicación permitida dentro de una zona geográfica predefinida.

Finalmente, un término relacionado que está recibiendo mucha atención es el de “electromovilidad” o “movilidad eléctrica” para referirse a los vehículos impulsados por motores eléctricos, en contraposición a aquellos que requieren combustibles fósiles. Sin embargo, a pesar de sus beneficios locales evidentes, la electromovilidad también ha sido objeto de diversas críticas. Por un lado, la fabricación de baterías requiere materiales como el litio, el cobalto y el níquel, que tienen fuertes impactos ambientales y sociales. Así mismo, la eliminación de baterías usadas presenta varios riesgos ambientales. Por otro lado, la energía eléctrica para el impulso de los vehículos generalmente proviene de fuentes contaminantes. Además, los altos costos actuales de los vehículos eléctricos los hacen inaccesibles para una buena parte de la población. Finalmente, varios planificadores y académicos han señalado que la atención actual a los vehículos eléctricos sigue el mismo modelo de movilidad basada en el auto particular, sin solucionar todos los otros problemas generados por este modelo.

En la sección “Tendencias en la movilidad urbana” se proveerán ejemplos y detalles concretos sobre estas nociones y cómo se están implementando alrededor del mundo.

Conceptualización de la movilidad sostenible

Todos estos términos y conceptos pueden ser agrupados bajo el paraguas de “movilidad sostenible”. Esta noción no es nue-

va y fue introducida por primera vez en el “Libro Verde de la Comisión Europea” de 1992 sobre el Impacto del Transporte en el Medio Ambiente (Office for Official Publications of the European Communities, 1992). Este documento reconoció que, aunque el transporte había aportado enormes beneficios a la economía global y había impulsado el comercio y los viajes internacionales, también había costos significativos. Estos incluyen impactos ambientales, como las emisiones de CO₂, costos sociales como los accidentes, y una dependencia completa de recursos no renovables como el petróleo. El Libro Verde concluyó que el estado del sistema de transporte en ese momento era insostenible.

A partir de entonces, el concepto ha estado en permanente evolución y abarca diferentes perspectivas y definiciones; pero, no existe un consenso generalizado para una definición comprehensiva (Holden et al., 2020), todas ellas contribuyen a tener una visión sobre su complejidad.

Por ejemplo, para el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la movilidad sostenible abarca sistemas de transporte accesibles y eficientes que operan de manera limpia y segura, ofreciendo una opción de transporte asequible, socialmente inclusiva y ambientalmente benigna (UNEP, 2016). Otra definición de propuesta por Ackrill y Zhang (2021) en el editorial introductorio a la revista científica *Sustainable Mobility* es el acceso a los medios de movilidad por parte de todos los individuos, compañías y sociedades, asegurando el movimiento seguro de personas y bienes, minimizando el impacto ambiental y sin comprometer las posibilidades de las futuras generaciones de cubrir sus propias necesidades de movilidad. Para Banister (2008), la movilidad sostenible satisface las necesidades de transporte de las personas de una manera que es económicamente viable, socialmente justa y ambientalmente responsable. Esto significa que debe ser segura, accesible, asequible, eficiente en el uso de recursos, respetuosa con el medio ambiente y compatible con la calidad de vida.

Por otro lado, el organismo “Movilidad Sostenible para Todos” (SuM4All) y la Comisión Europea han desarrollado definiciones más inclusivas. SuM4All, por ejemplo, se enfoca en

cuatro dimensiones clave: acceso universal, eficiencia, seguridad y sostenibilidad ambiental. El Pacto Verde Europeo de la UE pone énfasis en las necesidades de los usuarios, con alternativas más asequibles, accesibles, saludables y limpias a sus hábitos de movilidad actuales. Ambas definiciones intentan ser más abarcadoras, pero aún carecen de detalles específicos que aborden la complejidad total de la movilidad.

Holden et al. (2020) han tomado otra estrategia. En lugar de elaborar una definición, han analizado las narrativas de las tres últimas décadas en torno a la movilidad sostenible y las han sintetizado en tres grandes narrativas que dominan la agenda actual y que en conjunto podrían acercarnos a la movilidad sostenible: 1) La "electromovilidad", enfocada en reemplazar los vehículos basados en combustibles fósiles por vehículos eléctricos (aunque más arriba se han comentado las limitaciones de este enfoque); 2) El "Transporte Colectivo 2.0", cuyo objetivo es ampliar las posibilidades de viajes conjuntos, no solo en transporte público, sino en otras formas de vehículos compartidos, comprendiendo así el concepto de movilidad como servicio y sus diferentes aspectos tecnológicos. 3) Las "Sociedades de Baja Movilidad", que disminuyen la necesidad de desplazamientos, tanto en número de viajes como en distancia recorrida. Esta última narrativa engloba los principios de ciudades sin autos, ciudades de proximidad (o "ciudades de los 15 minutos", como se las conoce recientemente) y la priorización de la movilidad activa. Los autores también han analizado la aceptabilidad, factibilidad e impacto de las narrativas y han concluido que podrían combinarse en una acción a escala para lograr la sostenibilidad en la movilidad en los próximos 10 a 20 años.

Aunque optimista, la visión de Holden et al. (2020) parecería incompleta a la luz de los argumentos del nuevo paradigma de movilidades de Urry (2007), pues no incorpora explícitamente la movilidad como actividad social y no toma en cuenta la enorme diversidad de los actores de la movilidad y sus diferentes necesidades, como por ejemplo las movilidades de cuidado, los enfoques de género y la movilidad de la niñez.

Elementos de la movilidad sostenible

A partir de esta diversidad de enfoques, podemos entender que la movilidad sostenible no es un solo concepto, sino un paradigma que incluye una amplia gama de conceptos, principios y objetivos complementarios. A continuación proponemos una serie de elementos que deben estar presentes dentro del paradigma de la movilidad sostenible, basados en el trabajo de Banister (2008):

- **Dimensión social:** la movilidad es un fenómeno social y debe ser analizada y planificada tomando en cuenta las particularidades de los diferentes grupos sociales.
- **Accesibilidad:** el objetivo de la movilidad es permitir el acceso de todas las personas a las oportunidades, equipamientos y servicios urbanos.
- **Centrarse en mover personas, no vehículos:** es necesario recordar que quienes necesitan moverse son las personas, mientras que los vehículos son solamente herramientas para facilitar esa movilidad.
- **Perspectiva multiescalar:** la movilidad es un fenómeno que sucede a diversas escalas. Los enfoques tradicionales se han concentrado en las grandes escalas (urbana e interurbana), pero es necesario incluir y planificar también a mesoescala (barrio) y microescala (calle).
- **Jerarquía de los medios de transporte:** el nuevo paradigma de movilidad cambia radicalmente la prioridad de los medios de transporte. La llamada "pirámide invertida de movilidad" coloca en la máxima prioridad a las personas, luego a los modos sostenibles activos, el transporte público y de carga, mientras que el auto particular es relegado a la última prioridad.
- **Visión de ciudad:** la planificación de la movilidad debe estar enmarcada en una visión de ciudad sostenible, atendiendo a su interacción con otros sistemas urbanos como la energía, el espacio público, el ambiente

urbano y la salud y bienestar de la población.

- **La calle como lugar:** mientras que el paradigma tradicional veía la calle como una simple infraestructura para autos, la movilidad sostenible la concibe como un lugar de interacción social que cubre múltiples funciones más allá del transporte, incluyendo el comercio, la socialización y la recreación.
- **Modelización y creación de escenarios:** la planificación de la movilidad debe aprovechar los métodos y estrategias de planificación basada en escenarios y modelos. El prototipado, la experimentación y la modelización deben formar parte fundamental de la gestión de la movilidad.
- **Adaptabilidad:** los sistemas de movilidad deben ser adaptables y flexibles, atendiendo a la naturaleza dinámica del comportamiento espacial de las personas.
- **Incorporación de múltiples criterios:** se debe abandonar la visión eficientista centrada en minimizar los costos y tiempos de viaje para abordar un enfoque multicriterio que incorpore aspectos sociales y ambientales en los proyectos de movilidad.
- **El valor intrínseco de la movilidad:** la movilidad no es solamente una necesidad derivada de una demanda, es también una actividad social valiosa que promueve la interacción social y la difusión de ideas y conocimiento.
- **Enfoque en la gestión:** a diferencia del enfoque tradicional que se ocupa solamente de atender la demanda de viajes, la movilidad sostenible busca manejar esa demanda, asumiendo que es posible planificar y gestionar la necesidad y los modos de viaje.
- **Movilidad a velocidad humana:** las altas velocidades del tráfico propiciadas por el paradigma tradicional provocaron serios impactos en la salud física de las personas y en la calidad de la vida urbana. En contraste, el nuevo paradigma reduce la velocidad del movimiento en las calles a límites compatibles con la integridad física de las personas.

- **Tiempos de viaje razonables:** en contraposición al enfoque ingenieril que busca reducir al máximo el tiempo de viaje, la movilidad sostenible busca lograr tiempos “adecuados” que no son necesariamente los mínimos posibles sino simplemente aceptables para cada persona y motivo.
- **Integración de las personas:** es posible diseñar calles “completas” que tengan espacio para todos los actores viales motorizados y no motorizados.

Es importante señalar que estos elementos son sinérgicos y se apoyan mutuamente, y que la naturaleza dinámica de la movilidad requiere una revisión crítica y permanente de estos conceptos.

Tendencias en la movilidad urbana

Una vez revisadas las nociones básicas de la movilidad sostenible, cabe repasar lo que está sucediendo actualmente con respecto a la movilidad urbana alrededor del mundo. En “New Trends in Urban Mobility”, Guirao y Orellana (2021) presentan las tendencias actuales en la movilidad urbana en ciudades europeas y latinoamericanas, tanto en investigación como en implementación. La presente sección resume los aspectos más importantes de este trabajo.

Vehículos eléctricos y autónomos

El escenario futuro para la movilidad motorizada muestra el predominio de un vehículo compartido, autónomo y limpio (eléctrico o de pila de combustible de hidrógeno) sobre el resto de las opciones operativas y, generalmente, olvida el papel del transporte público en este escenario. Varios autores (Currie, 2018; Enoch, 2015) ya han planteado algunas preocupaciones relacionadas con la viabilidad de esta propuesta si el sistema de transporte se reduce a un sistema universal de “taxis au-

tomatizados” compartidos eléctricos (Robo-taxis o *taxibots*), operados por proveedores de movilidad. Los taxis automatizados reemplazarán a los autos particulares (debido a las externalidades) y a los taxis convencionales (debido a su menor costo). Pero también reemplazarán al transporte público porque los autobuses y trenes no podrán satisfacer la demanda de punto a punto. Aunque ambientalmente limpios, los vehículos eléctricos autónomos aún ocupan espacio en las calles, afectando el nivel de servicio de una carretera o calle y la calidad de los espacios públicos. La existencia de automóviles sin conductor probablemente inducirá más viajes. Al explorar el futuro de los vehículos autónomos (AV), la literatura ha reconocido la necesidad de ferrocarriles urbanos para transportar grandes volúmenes de pasajeros y carga para complementar cualquier escenario de AV y ayudar a las ciudades a alcanzar sistemas de movilidad más sostenibles.

En estos escenarios, surgen varios problemas a partir de algunas características que no suelen asociarse con vehículos autónomos, compartidos y limpios: la capacidad limitada de este sistema, la congestión inevitable, la generación de un gran número de viajes no compartidos y, a largo plazo, la expansión urbana. En este sombrío escenario, para evitar la congestión vial, las administraciones locales y los proveedores de servicios podrían verse obligados a limitar el número de viajes por familia o a restringir la libertad individual para viajar.

La mayor ocupación en los vehículos es claramente una ventaja importante del transporte público y, como señaló, también podemos trabajar en la promoción de vehículos de tránsito autónomos. De hecho, los sistemas de trenes AV están actualmente completamente implementados en la operación de pasajeros. Por lo tanto, el escenario de automóviles compartidos sin conductor debería complementarse con autobuses y trenes AV.

Movilidad compartida

El término movilidad compartida se asocia comúnmente con la idea de compartir viajes, pero en la práctica, esta no implica necesariamente compartir trayectos. Por ejemplo, los sistemas

de auto compartido, o *car sharing*, son aquellos en los que un auto está disponible para que una persona lo use para un viaje y luego lo deje disponible para otro usuario. Por otro lado, los sistemas de viaje compartido (*car pooling*) se refieren a aquellos en los que en un mismo vehículo viajan más personas ya que tienen un trayecto similar. Cuando un vehículo y el viaje se comparten, la operación es altamente eficiente. Sin embargo, cuando un vehículo, aunque sea "limpio" y compartido, está ocupado solo por una persona, sigue afectando el flujo de tráfico y la congestión.

La movilidad compartida también puede abarcar sistemas de bicicletas o patinetes eléctricos compartidos, que representan opciones más sostenibles que los automóviles.

El concepto de movilidad compartida, eficiente y ecológica también debería asociarse con el transporte público. Por ejemplo, 250 personas pueden viajar en un tranvía y 50 en un autobús: esto sí es movilidad compartida real.

Hay una idea común de que la movilidad compartida está creciendo, transformando el uso de vehículos compartidos en algunas ciudades. No obstante, los usuarios de estos servicios siguen siendo una minoría y el automóvil particular todavía domina el escenario. Además, las empresas de *car sharing* tienen operaciones limitadas a algunas ciudades y a zonas específicas dentro de ellas, mientras que grandes segmentos de la población no tienen acceso a este tipo de servicios de movilidad.

La calidad del espacio público urbano también se ve afectada por la movilidad compartida. Los sistemas de *car sharing* requieren estacionamiento en la calle en espacios públicos para un funcionamiento eficiente. Los sistemas de bicicletas y motocicletas compartidas suelen usar las aceras para estacionar, generando múltiples puntos de conflicto con los peatones y su seguridad. Ahora las aceras tienen que lidiar con la presencia de nuevos obstáculos y elementos.

Movilidad como Servicio (MaaS)

Algunas estrategias de gestión de la demanda se centran en el desarrollo de la Movilidad como Servicio (*Mobility as a Service* o

MaaS). Una MaaS avanzada puede entenderse como un servicio de movilidad flexible, integrado y orientado al usuario desarrollado a través de una plataforma digital, que combina proveedores de transporte públicos y privados. Las TIC vuelven a ser la base de este concepto y se necesita un nivel mínimo de digitalización de la población para alcanzar los objetivos de MaaS. El término MaaS se utilizó probablemente por primera vez en una tesis doctoral (Heikkilä, 2014). Sochor et al. (2018) han mostrado un buen análisis del concepto, buscando las palabras clave más frecuentes utilizadas para definirlo, entre las que están: la demanda, centrado en el usuario, integración, multimodalidad, flexibilidad, plataforma, puerta a puerta, ventanilla única, y sistema de transporte continuo.

Pero, ¿cuál es el nivel actual de implementación de MaaS en las ciudades hoy en día? Una plataforma MaaS debería ayudar a los usuarios no solo a planificar un viaje, sino también a comprar un paquete de movilidad adecuado (un viaje multimodal) que cubra las necesidades de los diferentes segmentos. Sin embargo, en muchas ciudades, los llamados MaaS son solo plataformas para planificar viajes y calcular tiempos de viaje. Sochor et al. (Sochor et al., 2018) identificaron cuatro niveles de "integración" en MaaS. El nivel 0 implica que no hay integración de servicios. En el Nivel 1, la integración afecta solo a la información (planificador de viajes multimodal, información de precios). En el Nivel 2 se obtiene la integración de reserva y pago (buscador, viajes sencillos, reserva y pago). El nivel 3 también logra la integración de la oferta de servicios (suscripción, opciones múltiples, contactos). El nivel 4 consigue la integración de objetivos sociales, como políticas públicas e incentivos sociales. Dado que el nivel 4 rara vez se alcanza, varios autores están preocupados por los efectos adversos que MaaS puede generar si no se organiza correctamente y si las administraciones públicas no tienen un papel de liderazgo en la organización y gestión de las plataformas de este tipo (Pangbourne et al., 2020; Sochor et al., 2018). Al igual que el sistema universal de autos eléctricos y compartidos autónomos, si la MaaS va a proporcionar viajes flexibles, integración modal y movilidad compartida, se supone que estas nuevas plataformas generarán viajes inducidos, com-

prometiendo la capacidad vial y la congestión. La expansión urbana también sería, en consecuencia, un impacto a largo plazo de la implementación incontrolada de MaaS.

Teniendo en cuenta que la idea de MaaS aún está lejos de materializarse, tanto en Europa como en América Latina, podemos describir algunas diferencias en las tendencias de movilidad. Como se describió anteriormente, las ciudades europeas tienen estándares de transporte público relativamente buenos en comparación con las ciudades latinoamericanas que generalmente presentan niveles de servicio de tránsito más bajos. Si bien las aplicaciones de transporte también han surgido en América Latina, algunos tipos de modos de transporte compartido aún son difíciles de implementar, como el uso compartido de automóviles de flotación libre, debido a los bajos niveles de servicio de tránsito. El *car sharing* de flota libre (FFCS) debe complementarse con el transporte público para lograr un nivel mínimo de demanda. Además, las altas tasas de delincuencia automovilística en algunas partes de la región también desincentivan a las empresas que planean establecer un esquema de vehículos compartidos en América Latina. Zazcar, en Brasil, fue el primer sistema de *car sharing* de América del Sur, fundado en 2009 y sigue funcionando con éxito en Sao Paulo junto con otras dos empresas (Glub GT y Vamos). Otros ejemplos de *car sharing* se pueden encontrar en México (Carrot) y Chile (Awto). En Europa, Alemania, Francia y España han experimentado en los últimos 10 años una irrupción de los sistemas FFCS (junto a *moto sharing* y *e-scooter sharing*), con una tendencia creciente, convirtiéndose en uno de los principales mercados FFCS del mundo.

A diferencia del *car sharing*, los servicios de transporte bajo demanda han experimentado un crecimiento en América Latina y Sudamérica, convirtiéndose en un nuevo foco comercial para empresas como Uber, 99 Taxis, Easy Taxi, Cabify, Beat o Nekso. La falta de sistemas de transporte público eficientes y accesibles, junto con los problemas de seguridad asociados a los taxis tradicionales, se ha presentado como la oportunidad perfecta para el desarrollo de negocios de transporte bajo demanda en esta región. Uber ha operado desde 2013 en más de 16 países latinoamericanos, siendo México el principal pro-

veedor de este tipo de servicios (México es el segundo mercado más grande después de Estados Unidos). Maxi Mobility, empresa que posee Cabify y Easy Taxi, opera en varios mercados de América Latina, incluyendo Argentina, México, Ecuador, Bolivia, Panamá, Brasil, Perú y Chile. 99 Taxis (recientemente llamado 99), respaldado por Didi Chuxing de China y el Grupo SoftBank de Japón, comenzó operaciones en Brasil y ahora cuenta con 14 millones de usuarios.

Vehículos motorizados de Movilidad Personal

Los Vehículos de Movilidad Personal (VMP) también son nuevos actores en este futuro escenario de movilidad motorizada. El incremento en el uso de VMP eléctricos (por ejemplo, patinetes eléctricos, *hoverboards* o monociclos), generalmente, se considera un cambio positivo, ya que se asume que no tienen impactos negativos en el medioambiente. Sin embargo, algunos autores advierten que los VMP generan otros tipos de problemas, como conflictos en espacios públicos compartidos, de seguridad vial e infracciones de tráfico (Zagorskas & Burinskienė, 2019).

La adopción creciente de VMP requiere una actualización en la regulación y en las estrategias de armonización para espacios compartidos. La movilidad motorizada ha invadido de cierta forma la acera, representando una situación nueva y potencialmente peligrosa para los peatones. Anteriormente, el bordillo de la acera marcaba una clara frontera entre la movilidad motorizada y la no motorizada. Sin embargo, cuando esta frontera se difumina, surgen problemas de seguridad vial, principalmente debido a las diferencias en velocidad y masa de los elementos involucrados en una colisión (peatones, bicicletas, motocicletas o patinetes). Zagorskas and Burinskienė (2019) analizaron los rangos de velocidad de diferentes tipos de VMP eléctricos junto con su nivel de maniobrabilidad y mostraron que la mayoría de ellos pueden alcanzar velocidades similares a las de un auto (30-50 km/h), comprometiendo la seguridad de los peatones y aumentando la gravedad de las colisiones con otros vehículos motorizados.

Movilidad activa

La priorización de la movilidad activa, junto con la mejora de los sistemas de transporte público, se ha demostrado como estrategias efectivas para optimizar la movilidad urbana. Específicamente, promover el caminar y el ciclismo ayuda a lograr los cuatro objetivos clave para el espacio público propuestos por Gehl (2014): vitalidad, seguridad, sostenibilidad y salud. Además, la movilidad activa es económicamente eficiente, tanto para las ciudades como para los usuarios, ya que las inversiones en infraestructura son significativamente menores que las requeridas para el transporte motorizado. A su vez, caminar y andar en bicicleta tienen costos ambientales y sociales bajos, en comparación con los medios motorizados, cuyas externalidades se han estimado en alrededor del 18 % del ingreso promedio en ciudades latinoamericanas.

Según el paradigma tradicional de transporte enfocado en la optimización, la mayoría de las personas elegirían caminar o andar en bicicleta para trayectos cortos, tomando la ruta más corta. Sin embargo, tanto peatones como ciclistas parecen seguir patrones diferentes a los óptimos (Quercia et al., 2014). La movilidad activa es más que un problema de optimización logística: es un comportamiento complejo resultado de la interacción entre individuos, grupos y su entorno. Por lo tanto, su análisis requiere marcos integrados y perspectivas multidisciplinarias, incluyendo urbanismo, psicología, ingeniería, ecología y salud física, entre otros.

En este sentido, como cualquier otra actividad humana, la movilidad urbana activa está influenciada por múltiples factores que van más allá del tiempo o la distancia invertida en el movimiento. Durante los últimos quince años, un gran cuerpo de investigaciones se ha centrado en factores como la cultura, accesibilidad, seguridad, confort, el atractivo de la ruta, las características urbanas como la densidad, la mezcla de usos, la proximidad al transporte público e infraestructura de movilidad no motorizada, y la configuración topológica y visual de los espacios y redes urbanas (Alfonzo et al., 2006).

Alfonzo et al. (2006) presentan una analogía de la movilidad con la pirámide de necesidades de Maslow. Según estos autores, la accesibilidad constituye la necesidad básica a satisfacer en la movilidad no motorizada (base de la pirámide), entendida en términos de conectividad, continuidad, calidad de la infraestructura y topografía. En esta pirámide, la accesibilidad es seguida por la seguridad, el confort y, finalmente, el placer.

Uno de los aspectos clave de la accesibilidad que influye en la decisión de caminar o andar en bicicleta es la conectividad física. Una red de calles fuertemente conectada tiende a atraer más viajeros activos. Del mismo modo, la continuidad física y visual tiene un efecto esencial. Por ejemplo, los semáforos y las señales de alto afectan negativamente el flujo de ciclistas al aumentar el tiempo de viaje y el gasto de energía. La calidad de la infraestructura también es un factor determinante relacionado con la accesibilidad (Alfonzo et al., 2006), y las mejoras en esta reducen el impacto de la distancia como desincentivo para el ciclismo. Algo similar ocurre con la topografía, ya que varias investigaciones (Cervero et al., 2009; Cooper, 2017; Meeder et al., 2017) han demostrado la importancia de la pendiente en la decisión de caminar o andar en bicicleta.

La seguridad es crucial para viajes tanto utilitarios como recreativos realizados en modos no motorizados. Las muertes por accidentes de tráfico son consideradas un problema de salud pública en diversos países. La tasa de muertes en accidentes de tráfico varía según la iluminación, diseño de intersecciones y velocidad del tráfico, factores que afectan significativamente la percepción de seguridad de los peatones (Alfonzo et al., 2006). Aunque en Europa y en pocas ciudades americanas se ha regulado la velocidad en áreas urbanas, se ha demostrado que las medidas de reducción de velocidad impactan positivamente en la calidad de las calles y en el ambiente peatonal (Rueda, 2019).

Es importante señalar que la percepción de riesgo y seguridad está vinculada a comportamientos grupales y edad. Por un lado, los adultos mayores valoran más la señalización, mientras que los jóvenes toman más riesgos. Por otro lado, la decisión de viajar en bicicleta está vinculada tanto a la seguridad objetiva, en términos de número de accidentes, como a la

seguridad subjetiva, relacionada con la percepción de la infraestructura. En general, las mujeres prefieren carriles segregados para ciclistas, aunque, como señala Gehl (2014), no siempre son necesarios. A pesar de esto, varias investigaciones demuestran (Buehler & Pucher, 2012; Piatkowski & Marshall, 2015; Pucher & Buehler, 2008; Torres et al., 2013) que el factor de seguridad es esencial, aunque por sí solo no es suficiente para aumentar el uso de la bicicleta.

Además de la seguridad objetiva y subjetiva, el confort y la estética, que dependen directamente del diseño urbano, son esenciales en la movilidad no motorizada. Por ejemplo, la presencia de plazas visibles, comercios y árboles favorece la decisión de caminar, mientras que zonas estrictamente residenciales desincentivan la actividad peatonal. El paisaje urbano afecta considerablemente la elección de cuándo y dónde caminar o andar en bicicleta, pero tiene poco o ningún efecto sobre el uso de vehículos motorizados. El paisaje urbano es más que un simple telón de fondo; tiene agencia e impacta en el comportamiento individual y colectivo.

El atractivo de las calles, entendido como la capacidad de un espacio público para fomentar la interacción social y la participación en actividades culturales y comerciales, es otro factor que incrementa el uso de la movilidad no motorizada (Gehl, 2014). Hillier (2007) destaca la importancia de las personas estáticas como un elemento crucial en la cultura del espacio. De la misma manera que el silencio es parte fundamental de la música, las pausas son elementos cruciales en el movimiento humano (Orellana, 2012).

Mehta (2008) incorpora el término "utilidad" para referirse a la diversidad de usos del suelo cercanos al individuo. Investigaciones señalan que un ambiente que satisface las necesidades diarias fomenta la frecuencia de visitas (Miralles-Guasch, 2011; Saelens et al., 2003). Por ejemplo, en el centro de Barcelona, el 89,9 % de la población realiza sus compras de alimentos dentro del mismo barrio, porcentaje que disminuye conforme aumenta la distancia al centro.

El campo de investigación en movilidad urbana activa ha experimentado una expansión y diversificación aceleradas.

Sin embargo, con el aumento del cuerpo de conocimiento, también se plantean nuevas preguntas de investigación, augurando que la próxima década será una especie de época dorada para este campo.

La implementación y promoción de la movilidad activa han seguido el ritmo del campo de investigación. Ciudades en Europa y, más recientemente, en América Latina están mejorando políticas, planes e infraestructuras para fomentar el caminar y el ciclismo. Por ejemplo, Oslo, Copenhague y Bruselas han implementado áreas libres de automóviles, lo que se espera que reduzca entre el 60 % y el 95 % de las emisiones de gases de efecto invernadero. En el otro lado del Atlántico, Bogotá ha construido 200 millas (322 km) de carriles para bicicletas, y, adicional a ello, cierra 75 millas (121 km) de carreteras urbanas para movilidad activa una vez a la semana. Un enfoque innovador nació en Barcelona bajo el nombre de "supermanzanas", en el que las calles interiores son pacificadas mediante intervenciones urbanas. Este modelo ha demostrado aumentar el caminar y el ciclismo (Rueda, 2019) y es adoptado por otras ciudades como Vitoria-Gasteiz (España) y se ha propuesto también en Cuenca (Ecuador).

Las Tecnologías de Información y Comunicación (TICs) en la movilidad

La sinergia entre fuentes de datos emergentes y técnicas analíticas avanzadas ha revolucionado la investigación en movilidad urbana. Mientras que los métodos tradicionales, como los datos auto-reportados y los aforos manuales y automatizados, han sido cuestionados por su precisión y esfuerzo logístico (Prelipcean et al., 2018), las nuevas tecnologías ofrecen una amplia gama de fuentes de datos más eficientes y detalladas.

Por un lado, el auge de los dispositivos con geoposicionamiento, las aplicaciones basadas en la ubicación y las redes sociales aportan grandes cantidades de datos de movilidad. Sistemas como el GPS y Galileo, junto con aplicaciones como STRAVA y WAZE, no solo registran la trayectoria de los individuos, sino que también alimentan bases de datos agregadas útiles

para distintos fines. Además, los datos recopilados por gigantes tecnológicos como Google y Apple ofrecen vistas más amplias del comportamiento de movilidad colectivo, todo ello apoyado por otros métodos, como el análisis de videos de seguridad pública (Griffin & Jiao, 2015; Ibrahim et al., 2020; Zheng, 2015)

Sin embargo, la utilización de estas tecnologías presenta también importantes desafíos éticos y metodológicos. El primero y más crítico es la privacidad. La acumulación de datos a gran escala ha generado preocupación en cuanto a la seguridad de la información personal, llegando incluso a casos en que es posible inferir la identidad de un individuo a partir de su información de movilidad (Acquisti et al., 2014; Giannotti & Pedreschi, 2008). A esto se suma el sesgo socioeconómico inherente a los datos recopilados, ya que no todos los segmentos de la población tienen el mismo acceso o comportamiento en cuanto a tecnología, lo que podría llevar a resultados poco representativos (Dewille et al., 2014; Pew Research Center, 2014; Wesolowski et al., 2013).

Aunque las Tecnologías de la Información y Comunicación (TICs) han abierto nuevas posibilidades en el estudio de la movilidad, es crucial abordar sus limitaciones éticas y metodológicas para garantizar resultados fiables y equitativos (Orellana, 2011).

Movilidad y accesibilidad

Una vez revisados los conceptos, definiciones y tendencias de la movilidad sostenible a nivel global, en esta sección profundizaremos en algunos elementos de la movilidad sostenible, proporcionando ejemplos concretos de cómo se han abordado desde la investigación y la práctica. En particular, nos centraremos en el concepto de accesibilidad, y su relación entre el espacio físico y la movilidad, la movilidad a pie y en bicicleta, y algunos aspectos perceptuales de la movilidad.

Para esto se presentarán ejemplos y experiencias de Cuenca (Ecuador), extraídas del trabajo del grupo de investiga-

ción LlactaLAB Ciudades Sustentables, parte del Departamento Interdisciplinario de Espacio y Población de la Universidad de Cuenca y de otros grupos con los que colabora. LlactaLAB ha venido trabajando por más de diez años en la relación entre la movilidad sostenible, el espacio público y la vida urbana.

Las ciudades deben ofrecer a las personas la oportunidad de acceder a fuentes de trabajo, bienes y servicios de abastecimiento, recreación, salud, educación, y socialización. En una ciudad sostenible y espacialmente justa, los lugares que ofrecen estas oportunidades son accesibles para todas las personas, de acuerdo con su edad, género, posibilidades económicas y necesidades particulares. Por lo tanto, la accesibilidad es uno de los fenómenos fundamentales en la movilidad sostenible. Sin embargo, uno de los problemas prevalentes en muchas ciudades intermedias y grandes de Latinoamérica es una accesibilidad reducida, tanto a nivel de la población general como para grupos específicos, cuyas circunstancias geográficas, sociales, económicas o físicas disminuyen la posibilidad de acceder a las oportunidades urbanas.

El concepto de accesibilidad es utilizado en diversos ámbitos, y su aplicación e interpretación específica suele depender del contexto. Por ejemplo, la accesibilidad en la arquitectura se relaciona con los principios de accesibilidad universal, que determinan una serie de estándares de construcción que permiten a las personas con discapacidad acceder y circular por una edificación, una acera, un parque u otro entorno construido. En el contexto de *software* y aplicaciones *web*, la accesibilidad se refiere a estándares que permiten acceder al contenido a las personas con limitaciones visuales o auditivas. En los estudios urbanos, la accesibilidad se asocia con los bienes y servicios que están al alcance de la población en un tiempo o distancia determinada.

Con estos elementos, podemos definir la accesibilidad urbana como el conjunto de factores personales, sociales y del entorno que permiten a las personas negociar el tiempo y el espacio para cumplir con sus actividades cotidianas, mantener relaciones y generar los lugares que necesitan para participar en sociedad.

Esta definición, adaptada de (Jirón & Mansilla, 2013), da cuenta que la accesibilidad no depende solamente de la infraestructura, de las capacidades de las personas, o del entorno social o construido, sino que es el resultado de la interacción entre estos factores.

A continuación, discutiremos dos aspectos importantes de la accesibilidad. Por un lado, la “accesibilidad urbana”, entendida como las condiciones que presenta la ciudad para que la población en general llegue a los sitios donde se encuentran las oportunidades urbanas. También se analizará la “accesibilidad a nivel de calle”, relacionada con los factores a microescala de las calles y aceras que permiten o impiden la circulación a las personas con diferentes capacidades de movilidad.

Iniciemos con un ejemplo concreto. Los niños y niñas tienen derecho a la educación. Para ejercer este derecho, un niño debe movilizarse diariamente desde su casa hasta la escuela, sea caminando, en bus, en bicicleta, en una buseta escolar o en auto conducido por un adulto. Cada uno de estos modos de movilidad requiere un diferente tiempo, dinero o condiciones. Por ejemplo, si la escuela está cerca de la casa, las calles son seguras, con aceras amplias e intersecciones bien diseñadas y controladas, habrá una alta accesibilidad a pie, permitiendo a los niños caminar a la escuela, lo cual tiene grandes beneficios en salud física y mental, en desempeño académico, y ambientales.

Pero si la distancia es muy grande, o el recorrido es inseguro o peligroso, la baja accesibilidad peatonal obligará a utilizar otro medio de transporte, con sus consecuentes costos e impactos. De igual manera, si el niño tiene alguna discapacidad física, o su familia no cuenta con el dinero necesario para el transporte público, las posibilidades de llegar a una escuela para ejercer su derecho a la educación se ven fuertemente disminuidas.

Existen diferentes tipos de factores que pueden afectar la accesibilidad de una persona o grupo de personas a los equipamientos, lugares y servicios urbanos. Estos pueden ser económicos, físicos, organizacionales, temporales, entre otros (Jirón & Mansilla, 2013). Cuando impactan negativamente la accesibilidad se les conoce como “barreras de accesibilidad”. A continuación, se mencionan algunos de estos factores:

Entorno urbano y accesibilidad

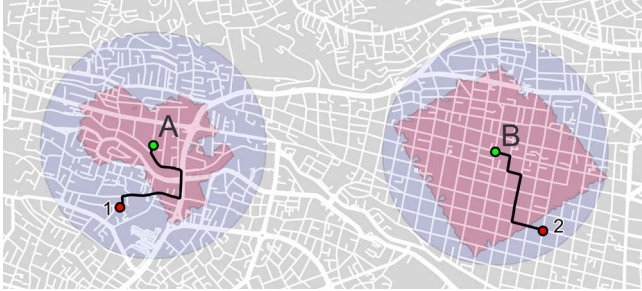
Los factores físicos están relacionados con la distancia para llegar a las oportunidades urbanas, la infraestructura física de la movilidad, los aspectos del espacio urbano, los obstáculos físicos durante el recorrido, las características de los medios de transporte utilizados, entre otros.

El factor físico primordial de la accesibilidad es la "distancia". Es importante resaltar que, para la movilidad urbana, esta debe ser estimada tomando en cuenta la red vial urbana, en lugar de la distancia en línea recta. Por ejemplo, es común encontrar estudios donde se estima el área de cobertura de un equipamiento o servicio a través de la técnica de *buffer* circular con un radio determinado. Este tipo de análisis simplificado desestima el hecho de que las personas se mueven por las calles y espacios públicos, y no "a vuelo de pájaro".

En la Figura 1 se muestra un ejemplo de esta diferencia para dos puntos de origen A y B. En azul se representa el área de influencia calculada con el método de distancia euclidiana o "buffer", es decir un área circular con un radio fijo, en este caso 800 m. En rojo se representa el área de influencia calculada con el método de distancia en red, es decir, recorriendo 800 m por las calles. Se aprecia claramente que el *buffer* sobreestima el área alcanzable. Además, la morfología (forma, longitud) y topología (conectividad) de la red vial afecta fuertemente el área de influencia, pues en el caso de A es mucho más pequeña que en B, debido a que la red vial es mucho más dispersa e irregular en A que en B. Las rutas marcadas en negro permiten ilustrar claramente este efecto. Por ejemplo, en el caso A, el punto de destino 1 se encuentra a 287 m en línea recta, pero para llegar a él es necesario recorrer 1 038 m de calle.

Figura 1

Áreas de influencia de 800 metros calculados con el método de distancia euclidiana (azul) y con el método de distancia en red (rojo). Las líneas en negro representan recorridos en la red vial



Considerando la distancia en red, es evidente que la “infraestructura física” de movilidad también es un factor decisivo en la accesibilidad. Por ejemplo, una red densa de calles permitirá recorridos más directos y, por lo tanto, más cortos, mientras que una red vial poco conectada implica rutas más tortuosas y largas. En la Figura 1 se evidencia este efecto: la red vial alrededor del punto A es mucho más dispersa y desconectada que la del punto B, resultando en un área de influencia más pequeña a pesar de que ambas representan 800 metros en distancia de red. En los tutoriales 1 y 3 de la segunda parte de este libro, se encuentran los procedimientos para calcular estas distancias de red.

Otro factor físico importante es la “calidad del espacio público”, sobre todo de las aceras, calles, intersecciones y otros elementos de la red vial. Por ejemplo, el cruce de una avenida principal mal diseñada o sin una señalización adecuada puede representar una importante barrera física para un niño en su camino a la escuela, o una acera en malas condiciones, representa una dificultad importante para una madre empujando un cochecito de bebé (Figura 2).

Un estudio en Cuenca (Hermida et al., 2019) mostró que, junto a otros factores, el ancho de la acera es determinante en los niveles de caminabilidad del espacio público.

Figura 2

Una grieta en la acera representa un obstáculo para una persona empujando un cochecito de bebé



Figura 3

Un paso deprimido supuestamente facilita la movilidad, pero su mal diseño disminuye la accesibilidad peatonal



En estrecha relación con la calidad del espacio, se encuentran los obstáculos que dificultan la accesibilidad. Estos obstáculos suelen ser más prevalentes para la movilidad a pie o

en bicicleta, y pueden llegar a impedir completamente la accesibilidad para personas con movilidad reducida. Otro estudio en Cuenca (Orellana et al., 2020) ha expuesto que la mayoría de las aceras de la ciudad presenta obstáculos para la accesibilidad de personas con discapacidad. Aunque los lineamientos de diseños de aceras indican que se debe incluir una franja de servicio para ubicar la vegetación, la señalética, los postes y otros elementos urbanos, incluso las instituciones encargadas de movilidad colocan esos elementos fuera de la franja de servicio generando obstáculos para la accesibilidad (Figura 4).

Figura 4

Postes y señalética ubicados inadecuadamente por las instituciones públicas representan barreras físicas para la accesibilidad



Es importante mencionar que mucha de la infraestructura de movilidad está diseñada para privilegiar el uso del automóvil particular. Entre los ejemplos más reveladores de esto están los puentes o pasos elevados peatonales en los entornos urbanos. Este tipo de infraestructura responde a una lógica de diseño caduca que no considera el derecho a la movilidad y a la diversidad de las personas, ya que los peatones deben desviar su trayecto hasta el paso elevado, lo que implica más tiempo y esfuerzo. Además, tienen un diseño inadecuado para usuarios vulnerables como niños, niñas, personas adultas mayores

o personas con discapacidad. Por ejemplo, en la Ciudad de México, cerca del 27 % ocurre a menos de 300 metros de puentes peatonales. Actualmente, existe evidencia de que el objetivo de la construcción de dicha infraestructura obedece más al propósito de permitir el libre y continuo tránsito de automóviles que a prevenir atropellamientos y lesiones a los peatones (Ochoa & Gutiérrez, 2018).

Figura 5

En un puente "antipeatonal" una persona necesita recorrer hasta diez veces más distancia para cruzar la calle.



Factores económicos en la accesibilidad

Estos factores hacen referencia a la posibilidad de cubrir los costos necesarios para llegar a un destino deseado. Por ejemplo,

disponer de un automóvil permite llegar a muchos más destinos en menos tiempo, pero el costo de comprar un automóvil, mantenerlo y pagar el combustible es una barrera financiera para la accesibilidad en este medio de transporte.

Las barreras económicas deben ser consideradas también en términos relativos, según la carga que representa la movilidad en el presupuesto familiar; un hogar de bajos ingresos, ubicado en una zona periférica, sin cobertura de transporte público y sin automóvil, deberá pagar por un medio de transporte informal para cada uno de sus miembros, con costos más elevados que el transporte público. Para estos hogares, el costo relativo de la accesibilidad es mucho mayor, pues representa un alto porcentaje de sus ingresos, al compararlo con un hogar ubicado en una zona con buena cobertura de transporte público. De la misma manera, si una persona para llegar a su trabajo requiere hacer un transbordo entre dos líneas de bus, esto no representará solamente un mayor tiempo de traslado, sino el doble del costo que si tuviera que tomar una sola ruta. Por esta razón, muchas ciudades han implementado la integración tarifaria, que permite realizar varios viajes dentro de una zona determinada con un solo pago.

En el caso de Cuenca (Ecuador), la construcción del tranvía implicaba la integración tarifaria y tecnológica con el resto del sistema de transporte público, para lo cual incluso se aprobó una ordenanza municipal. Sin embargo, a pesar de que el tranvía inició operaciones en el año 2020, hasta el año 2023 dicha integración no se ha implementado.

Accesibilidad espacio temporal

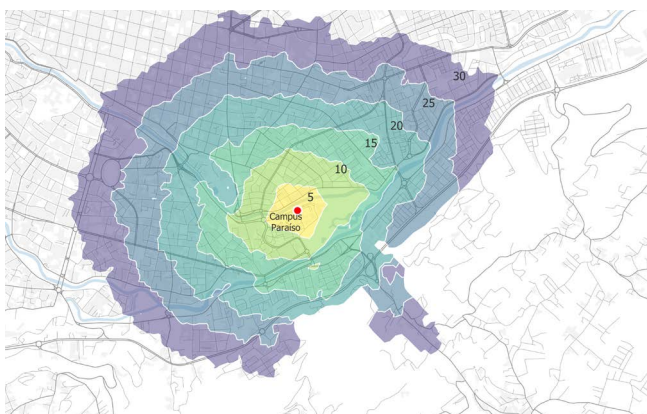
Los factores temporales están relacionados con el tiempo que toma acceder a las oportunidades urbanas. En el comportamiento de viaje, las personas están más habituadas a tomar decisiones y planificar sus recorridos en función del tiempo que les toma llegar a su destino. Incluso en el lenguaje cotidiano, se utiliza el tiempo para referir qué tan cercano o lejano está un lugar. Es más intuitivo decir “mi trabajo está a 20 minutos”, en lugar de decir “mi trabajo está a 5,2 kilómetros”.

Este razonamiento temporal permite a las personas planificar sus actividades cotidianas a partir del tiempo necesario para desplazarse entre diferentes lugares. Es por esto que, actualmente, ya no se suele utilizar la distancia como medida principal del área de influencia de un equipamiento y se prefiere utilizar el tiempo.

De este principio surge el concepto de "isócrona", como una representación espacial del tiempo de viaje (Figura 6). Son similares a las áreas de servicio calculadas a partir de la distancia, pero utilizan el tiempo de viaje para su cálculo. Podemos definir una isócrona como el área que delimita la superficie a la cual se puede llegar en un tiempo determinado. El cálculo de isócronas permite revelar, entre otras cosas, el área de influencia de un negocio, la accesibilidad de una persona a diferentes lugares, el área de servicio de un equipamiento, entre otros fenómenos. Además, permite, con análisis adicionales, revelar el nivel de eficiencia del sistema de transporte público de una ciudad, o explorar las inequidades espaciales en el acceso a las oportunidades urbanas.

Figura 6

Isócronas para desplazamiento a pie desde un punto de origen con intervalos de 5 minutos

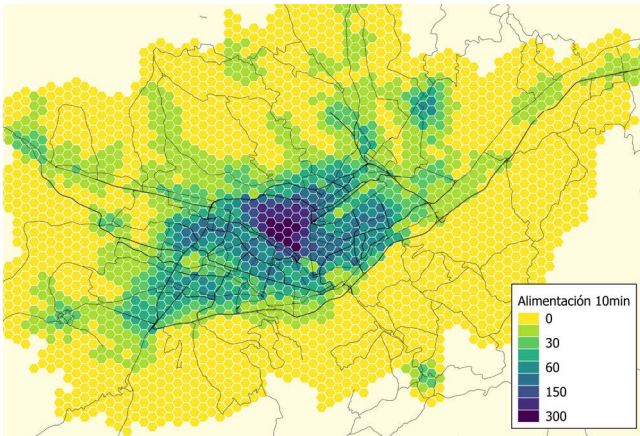


Es importante notar que el tiempo de desplazamiento está íntimamente relacionado con el medio de transporte. Por ejemplo, al desplazarse en auto, se puede cubrir en menos tiempo una ruta que si se recorriera a pie. Pero el medio de transporte también puede estar influenciado por factores internos o externos específicos para ese medio. Por ejemplo, la velocidad máxima permitida, el tráfico, el estilo de conducción pueden influenciar el tiempo de viaje en automóvil, el estado físico puede influenciar el tiempo de viaje a pie o en bicicleta, y las rutas y frecuencias pueden influenciar el tiempo de viaje en transporte público.

La Figura 7 es un mapa de Cuenca con el número de oportunidades urbanas (equipamientos, servicios, comercios) que son accesibles a pie en 15 minutos, desde el centro de cada hexágono. Es evidente que la ciudad tiene un altísimo desbalance en su accesibilidad, pues en la zona del centro histórico se puede acceder a muchísimos lugares en poco tiempo, mientras que en las áreas periféricas el número de oportunidades es muy bajo, lo que impulsa el uso del vehículo particular.

Figura 7

El mapa representa el nivel de acceso a lugares de venta de alimentos a 10 minutos caminando desde el centro de cada hexágono



En la actualidad existe una variedad de programas, *software* y plataformas que permiten calcular tiempos de viaje, tomando en cuenta la hora del día, el periodo del año, los horarios de servicio, o la duración de los viajes para acceder a las oportunidades. Si no se consideran los aspectos temporales, el estudio de la accesibilidad es incompleto. Por ejemplo, podríamos asumir que las personas tienen acceso a una biblioteca si su residencia se encuentra dentro del área de influencia de este equipamiento. Sin embargo, si el horario de atención es de 08:00 a 17:00, la gente que trabaja en ese horario no podrá acceder al servicio.

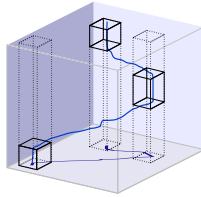
LlactaLAB Ciudades Sustentables, con el apoyo de CEDIA, ha implementado una plataforma para análisis de isócronas y rutas multimodales. La plataforma está disponible en el siguiente link: <https://llactalab.ucuenca.edu.ec/recursos/>

Otra forma de estudiar las barreras temporales es mediante la "geografía del tiempo" postulada por Haagerstrand (1970), donde se puede concebir las trayectorias de las personas en un espacio tridimensional llamado "cubo espacio temporal", en el cual las dimensiones espaciales se representan en los ejes X y Y, y la dimensión temporal en el eje Z. De esta manera, es posible generar figuras en 3D que indiquen en conjunto los espacios y tiempos a los que una persona puede acceder. La Figura 8 muestra un ejemplo de un cubo espacio temporal en la que la base es un mapa tradicional, mientras que la altura representa el paso del tiempo. La línea negra indica el recorrido espacio-temporal de una persona y los prismas interiores los lugares y momentos a los que ha accedido.

La geografía del tiempo ha sido fundamental en los estudios de movilidad de las últimas décadas, pues ha aportado con elementos conceptuales y metodológicos para analizar el espacio y el tiempo en su conjunto.

Figura 8

Un cubo espacio-temporal representando el viaje de una persona. El componente espacial se representa en los ejes x e y, mientras que el tiempo se representa en la altura



Barreras organizacionales

Las actividades que realiza una persona están entrelazadas con las características de las instituciones y organizaciones que brindan los servicios y las oportunidades. Por ejemplo, una madre necesita compatibilidad entre la ubicación y horario de su trabajo, de la escuela de sus hijos, y de los trámites y compras diarias que debe realizar. Cuando no es posible lograr esa compatibilidad, existe una barrera organizacional de accesibilidad. Este tipo de barreras suelen estar entre las más complejas de resolver, ya que dependen de decisiones institucionales o colectivas, y a nivel individual solamente se pueden hacer frente seleccionando una opción diferente, en caso de haberla, o dejando de acceder a la oportunidad correspondiente.

Las barreras organizacionales también pueden estar relacionadas con las restricciones administrativas y legales. Por ejemplo, una institución pública que tiene una ventanilla de atención al público puede tener un horario incompatible con el tiempo de accesibilidad de las personas debido a sus horarios de trabajo y el tiempo necesario para desplazarse. En este sentido, las instituciones públicas y privadas que proveen bienes y servicios requieren una planificación no solo espacial sino espacio-temporal, tomando en cuenta la distribución geográfica de la población, la red de transporte público y la sinergia entre distintas actividades.

En el estudio “Cerca o Lejos: Discursos y subjetividad en las relaciones entre la movilidad y el lugar de vivienda” (Orellana et al., 2022) se exploran las diferentes perspectivas que tienen las personas en el momento de decidir sobre su lugar de residencia y la relación con la movilidad y el acceso a las oportunidades urbanas.

Discapacidad y perfiles de movilidad

Los entornos urbanos suelen planificarse y construirse de acuerdo con normas que excluyen a las personas con discapacidad física (PCDF) (Mazurik et al., 2014). Los obstáculos físicos representan barreras significativas para la accesibilidad en los espacios públicos y para la participación social de las PCDF (Gray et al., 2003). Estos obstáculos pueden generar costos de viaje adicionales o impedir el acceso por completo (Vale et al., 2017). Aunque el modelo social de la discapacidad considera los obstáculos espaciales y físicos desde una perspectiva instrumental, las interacciones de los individuos con estos no son intrínsecas y universales, y su importancia puede percibirse de manera diferente, según las capacidades y experiencias de un individuo (Mazurik et al., 2014).

La distinción entre conectividad y permeabilidad también debe tenerse en cuenta al evaluar la accesibilidad a nivel de calle. La conectividad se refiere a la posibilidad de acceder a un lugar específico, mientras que la permeabilidad representa qué tan fácil es acceder al lugar (Vale et al., 2017), y ambas dependen de la interacción entre las capacidades del individuo y las características físicas del lugar. Por ejemplo, un poste de luz en medio de una acera puede representar un pequeño inconveniente para una persona sin restricción de movilidad, mientras que para alguien que empuja un cochecito de bebé puede suponer un aumento importante del tiempo de viaje. En ambos casos, se reduce la permeabilidad del espacio. Sin embargo, para un usuario de silla de ruedas, el poste de luz podría ser suficiente para hacer que la acera sea totalmente inaccesible y, por lo tanto, reducir la conectividad.

Según el enfoque de estudios críticos de la discapacidad (Abberley, 2008; Allué, 2003), las personas con esta condición sufren exclusión, restricciones y discriminación con base en la premisa de que existe un conjunto “normal” de habilidades que son más valiosas que otras. Estas desventajas no son naturales ni inevitables, sino que se basan en creencias sociales que las justifican y perpetúan. En este contexto, la expresión “personas con discapacidad” debe reconceptualizarse como personas que sufren exclusión social y discriminación debido a la interacción de su conjunto específico de capacidades con un entorno discapacitante. Otros autores (Allué, 2003; Barton, 2008) proponen que, en lugar de personas con discapacidad, debería hablarse de “situaciones y ambientes incapacitantes”. Por lo tanto, el nivel de (in) accesibilidad de una ciudad es un reflejo de que tan inclusiva o excluyente es la sociedad que la habita (Figura 9).

Figura 9

Una persona con discapacidad utiliza un triciclo con pedales en las manos para movilizarse por la ciudad



Este enfoque, sin embargo, está lejos de introducirse por completo en el rediseño de los espacios urbanos; el paradigma de ciudades inclusivas con accesibilidad al entorno urbano para todos aún no se ha concretado en la mayoría de los países, y hay un marcado retraso en América Latina.

En el caso de Cuenca (Ecuador), Orellana et al. (2020) han encontrado que la accesibilidad a nivel de calle urbana es extremadamente baja, especialmente para las personas con discapacidad física. Los autores auditaron 214 segmentos de calle para definir la accesibilidad para tres perfiles de movilidad (no restringida, restringida y reducida) y encontraron que ninguna cumple a cabalidad la normativa nacional. Además, el 83 % de las calles auditadas se percibieron como altamente inaccesibles para usuarios de sillas de ruedas; el 50 %, para personas con movilidad reducida; y el 34 %, para personas sin restricciones de movilidad. La mayoría de las calles presentaban obstáculos que dificultan la movilidad, siendo las rampas en las aceras y las entradas a garajes particulares los elementos que mayor impacto tuvieron en la accesibilidad.

Retos de la movilidad urbana en las próximas décadas

El transporte urbano está atravesando una era de rápidos cambios. Tras medio siglo en el que el automóvil privado fue el símbolo icónico de desplazamiento en la ciudad, existe una abrumadora evidencia sobre los diversos impactos negativos de la movilidad individual motorizada en el medioambiente, la salud y la calidad de los espacios urbanos, entre otros.

A medida que la movilidad se convierte en una de las principales preocupaciones de los ciudadanos, planificadores urbanos, investigadores y tomadores de decisiones, surge una era de innovación en la movilidad urbana en todo el mundo, evidenciada por varios cambios que se volvieron comunes en la última década: las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICs), que están brindando información consciente del tiempo y la ubicación para los usuarios mientras produce al mismo tiempo nuevos y ricos conjuntos de datos para la investigación y la planificación; la movilidad compartida se popularizó en la mayoría de los continentes y desafía las normas legales y sociales establecidas para el transporte comercial; las empre-

sas privadas están invirtiendo fuertemente en el desarrollo de vehículos autónomos con la discutible promesa de solucionar el tráfico urbano y mejorar la seguridad.

Junto a estas innovaciones, las ciudades deben reconocer el transporte público y los modos activos como los pilares de una movilidad urbana eficiente y sostenible. Se requieren nuevos enfoques para crear sinergias entre las innovaciones tecnológicas y las soluciones de larga data.

Los responsables de la formulación de políticas deberían orientar sus acciones sobre la movilidad motorizada compartida hacia un uso más eficiente de todo el sistema de transporte, utilizando la tecnología de conducción eléctrica y autónoma disponible. Los sistemas de transporte público también deben ser de conducción autónoma y no contaminantes. El tránsito de conducción autónoma (autobús, tren, etc.) puede operar en última instancia junto con los vehículos autónomos de viaje compartido y competir con ellos. Los taxis automáticos se pueden utilizar claramente como reemplazo del tránsito en ciertas rutas para el servicio de personas con discapacidad, pero el reemplazo del tránsito no debe ser el comportamiento común.

Aunque la conducción autónoma promueve el uso del transporte motorizado, se debe prestar atención a limitar la necesidad de conducir. Las políticas de uso de la tierra y las políticas de transporte deben coordinarse a través de estrategias de Desarrollo Orientado al Transporte Público (TOD, por sus siglas en inglés, *Transit Oriented Development*).

Las aceras y las intersecciones también deben ser motivo de preocupación para los responsables políticos para evitar siniestros y muertes. Además, la aparición de los vehículos eléctricos de movilidad personal (PMV) ha generado un nuevo tipo de colisión accidental entre estos, los vehículos convencionales y peatones. En consecuencia, es posible que se investiguen e implementen nuevas normas sobre seguridad vial.

El desarrollo de tecnología para la gestión y control del tránsito avanzará significativamente gracias a la inteligencia artificial, lo que permitirá mejorar la seguridad y la eficiencia de los sistemas de transporte. Por ejemplo, facilitará una mejor sincronización entre los vehículos de transporte público y la infraes-

estructura existente, otorgándoles prioridad y optimizando tanto los tiempos como las velocidades. A pesar de las críticas populistas de algunos políticos, los radares inteligentes contribuirán al control del exceso de velocidad, el irrespeto a los semáforos y el estacionamiento indebido, liberando recursos humanos y tiempo dedicados al control del tránsito.

La movilidad activa también puede beneficiarse de las innovaciones tecnológicas y de los nuevos modelos comerciales de movilidad como servicio. Por ejemplo, los barrios peatonales pueden fomentar el uso de la movilidad compartida como alternativa a los vehículos privados, y los algoritmos de optimización del tráfico pueden adaptarse para priorizar áreas destinadas a ciclistas y peatones. Además, la inteligencia artificial puede recomendar rutas para caminar o andar en bicicleta basándose en patrones históricos de movimiento y preferencias personales, teniendo en cuenta factores como la estética, la seguridad y la protección.

Conclusión

La movilidad es actualmente uno de los temas de más alta preocupación en la mayoría de las ciudades del mundo, debido a que el paradigma dominante del sistema de transporte basado en el vehículo privado ha causado grandes impactos urbanos, ambientales, sociales y económicos.

Durante las últimas décadas ha surgido un nuevo modelo que abandona la visión reduccionista centrada en la ingeniería del transporte y afirma que existen diversas "movilidades", como un conjunto de fenómenos complejos que abarca aspectos urbanos, de transporte, sociales, perceptuales y tecnológicos. Este paradigma aboga por una visión multidisciplinaria de la movilidad, tanto para su estudio como para su implementación. En este contexto, el paraguas conceptual de la movilidad urbana sostenible puede verse como un conjunto de conceptos y estrategias que garantiza a las personas el poder acceder a las oportunidades urbanas, realizar sus actividades cotidianas,

mantener relaciones y generar los lugares que necesitan para participar en sociedad.

La movilidad sostenible es, entre otras cosas, un concepto complejo y en constante evolución. Los diferentes elementos que la alimentan requieren de una perspectiva amplia, flexible y multidisciplinaria. En la primera parte de este libro, presentamos algunos de estos elementos y hacemos énfasis en algunos de los aspectos que son más relevantes para las ciudades intermedias de Latinoamérica.

Una visión de movilidad sostenible nos permitirá recuperar la calidad de la vida urbana, a la vez que fortalecerá el tejido social. En definitiva, mejorará nuestras ciudades y las hará más habitables, justas y resilientes.



Parte 2

Análisis espacial de la movilidad urbana

Listado de tutoriales

1. Cálculo de rutas óptimas	65
2. Obtención de datos de Red Vial	85
3. Ruteo multimodal e isócronas con <i>OpenTripPlanner</i>	99
5. Isócronas y áreas de servicio	111
6. “Ciudad de los 15 minutos”	125
7. Rediseño de calles con <i>StreetMix</i>	137

Introducción

Esta sección ofrece una serie de tutoriales diseñados para capacitarse en técnicas de análisis espacial aplicadas al estudio de la movilidad urbana. Estos abarcan una amplia gama de temas, como la obtención, preparación y análisis de datos de redes viales, el cálculo de rutas óptimas e isócronas, el análisis comparativo entre diferentes modos de transporte motorizado y no motorizado, el uso de *software* y plataformas especializadas en movilidad, el análisis de proximidad, accesibilidad y distribución de servicios, así como las oportunidades que ofrece el redimensionamiento vial para crear calles completas.

Videotutoriales y recursos en línea

Se puede acceder a una versión en línea de estos tutoriales, con videos explicativos, escaneando el código QR o visitando la siguiente dirección: <https://temporalista.github.io/spatialmobility/>



Niveles de dificultad

Aunque los tutoriales son completamente autoguiados, demandan un diferente nivel de conocimiento y familiaridad con los datos y los diferentes *softwares*.

Nivel básico



Requiere un mínimo de familiaridad con *software* de Sistemas de Información Geográfica y conocimiento básico de datos (archivos de SIG, capas geográficas, tipos de datos numéricos, alfanuméricos, etc.).

Nivel intermedio



Requiere cierta familiaridad y facilidad de manejo de *software* SIG (Ej. manejo de herramientas de geoprocésamiento, instalación de *plugins*) y de manejo de información geográfica.

Nivel avanzado



Requiere comodidad y experiencia en el manejo de *software* SIG y/o familiaridad con el lenguaje de análisis de datos R.

Software

Para la mayoría de los tutoriales se utiliza el *software* de Sistemas de Información Geográfica Quantum GIS o QGIS. Este es uno de los *softwares* SIG más potentes y amigables, con una extensiva documentación y recursos de aprendizaje. Adicionalmente, cuenta con una gran cantidad de extensiones o *plugins* que aumentan su potencia de análisis, muchos de ellos relacionados con la movilidad y el análisis urbano. Finalmente, y no

menos importante, QGIS es *software* libre, por lo que se permite su descarga, uso, copia y modificación de forma gratuita.

Debido a las discrepancias en la traducción del *software* a diferentes idiomas, estos tutoriales utilizarán la versión original en inglés, por lo que se recomienda a los usuarios con poca experiencia configurar la interfaz de QGIS en inglés una vez instalado para poder seguir los procedimientos con facilidad.

Se puede descargar una copia de QGIS para su sistema operativo en la página web oficial: <https://qgis.org>

El tutorial de Rediseño de Calles con *StreetMix* solamente requiere un navegador *web*.

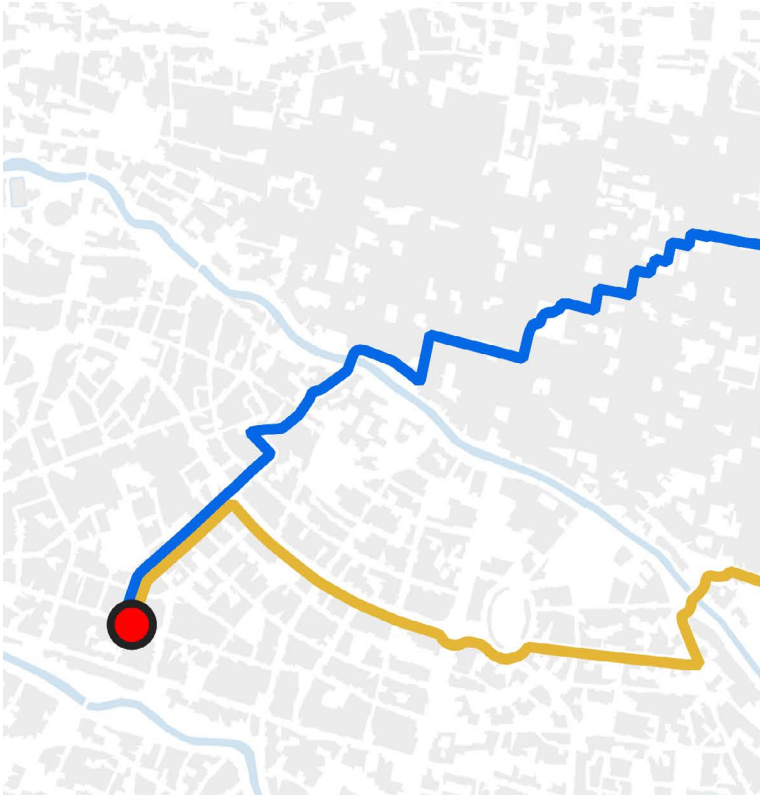
Datos

Los datos necesarios para los diferentes tutoriales están disponibles en el enlace anterior, o como descarga directa en la siguiente dirección: https://github.com/temporalista/spatialmobility/raw/refs/heads/main/datos_tutoriales.zip

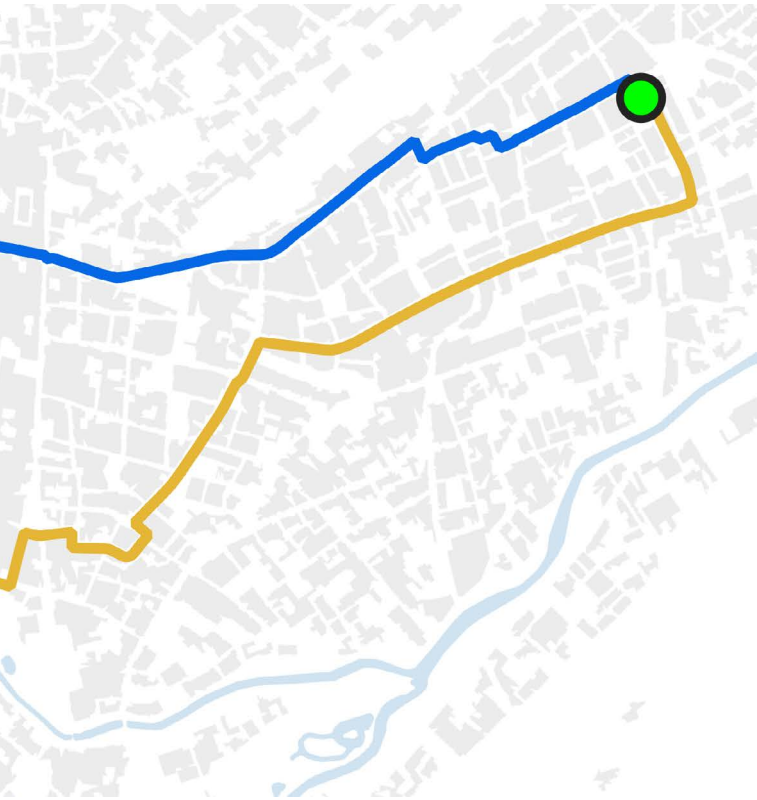
Formatos y convenciones

Para facilitar el seguimiento de los tutoriales se utilizan diversos formatos:

- **Archivo:** hace referencia a un archivo de datos en el disco.
- **Capa:** se refiere a una capa de datos geográficos o una tabla alfanumérica incluida en un archivo de datos y que puede ser cargada en el *software*.
- **Dato:** valor que parte de una tabla, capa o resultado de un proceso.
- **Comando:** elemento de la interfaz del *software* que se puede encontrar en un menú, panel, cuadro de diálogo o cuadro de entrada de información. Cuando se trata de un elemento dentro de un menú o submenú, se utiliza el siguiente formato: *Menú principal > submenú > comando*.
- **Código:** indica el texto o código que se debe escribir en un cuadro de texto o celda de código de programación.



1. Cálculo de rutas óptimas



Resumen

En este tutorial, aprenderá a utilizar QGIS y datos de *OpenStreetMap* para calcular rutas óptimas en diferentes modos de transporte, tomando en cuenta las características de la red vial.

Dificultad



Nivel
intermedio

Conocimientos necesarios

- QGIS: abrir proyectos, cargar datos, guardar datos, aplicar simbología, calculadora de atributos.
- Conceptos básicos de *OpenStreetMap*.
- Conceptos básicos de análisis de red.

Datos

- Archivo: **ruteo.gpkg** con las siguientes capas:
 - **Red_vial_osm**: capa detallada de la red vial extraída de *OpenStreetMap*.
 - **Campus_ucuenca**: ubicación de los campus de la Universidad de Cuenca.

Introducción

Uno de los aspectos clave en la movilidad urbana es determinar las potenciales rutas entre un origen y un destino en diferentes medios de transporte. En las zonas urbanas, las personas y los vehículos se mueven a través de la red vial, compuesta por calles, avenidas, aceras, puentes, senderos, ciclovías, etc. Además, existen reglas y leyes para la circulación vehicular, que determinan, por ejemplo, la velocidad máxima a la que puede circular un vehículo, o si este puede moverse en uno o en los dos sentidos.

El Análisis de Redes es un conjunto de técnicas de análisis espacial que permite estudiar el movimiento a través de una red vial. Estas técnicas facilitan la investigación de aspectos como las rutas óptimas entre diferentes ubicaciones, la generación de isócronas (áreas alcanzables en un tiempo determinado), y el cálculo de matrices Origen-Destino, las cuales muestran los flujos de desplazamiento entre múltiples puntos dentro de la red.

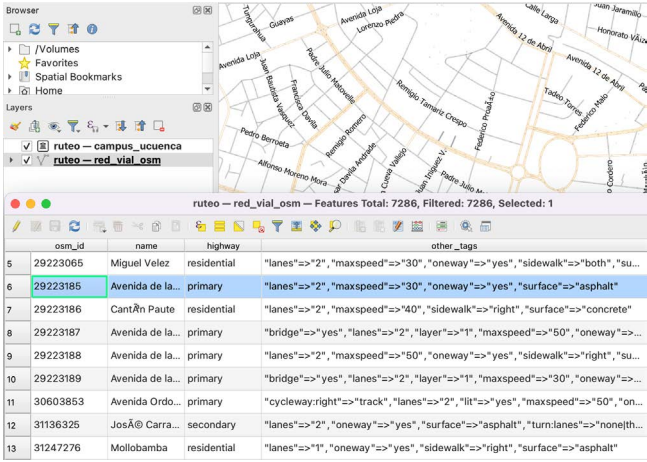
En el tutorial *OpenTripPlanner* se mostró cómo utilizar la plataforma OTP para calcular rutas e isócronas. Sin embargo, está preconfigurada para la ciudad de Cuenca y no permite realizar modificaciones a la red vial. En este tutorial, aprenderá a modelar las rutas en una capa con datos de red vial extraída de la plataforma *OpenStreetMap*, optimizando parámetros como el tiempo o la distancia. Además, aprenderá a analizar escenarios en los que se cambien las características o la geometría de la red vial.

67

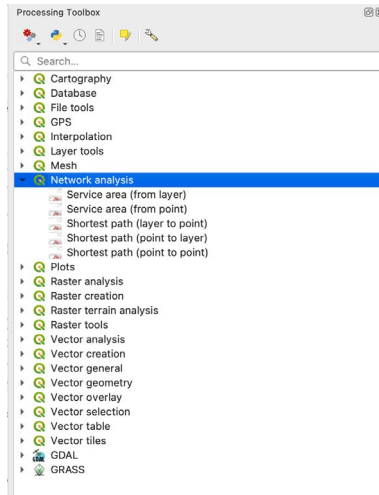
Procedimientos

Preparación

1. Abrir QGIS y cargar la capa **red_vial_osm**. Observará que la capa tiene ya una simbología predefinida. Explorar los atributos de la capa.



2. Desde QGIS, en **Processing Toolbox**, abrir la caja de herramientas **Network Analysis** (Análisis de red).



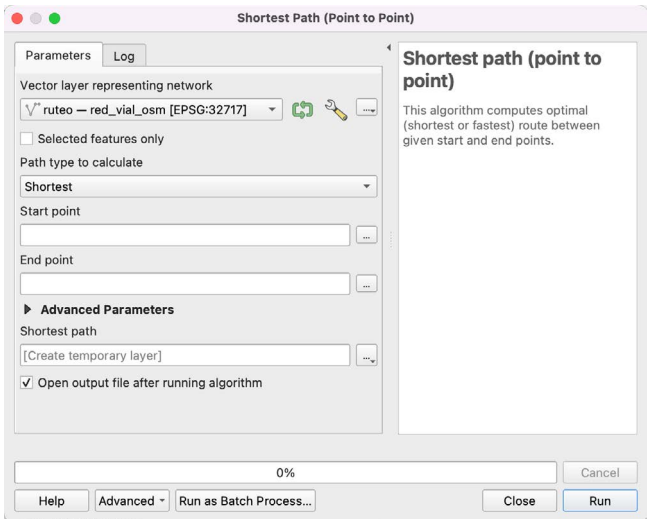
Las herramientas de **Network Analysis** calculan diferentes características del movimiento en la red vial:

- Isócronas (**service area**) a partir de un origen.
- Rutas óptimas (**shortest path**) entre un origen y un destino.

Los orígenes y destinos pueden definirse de forma manual directamente sobre el mapa, seleccionando puntos específicos (**point**), o automáticamente mediante el uso de una capa de datos (**Layer**).

Ruta más corta de punto a punto

1. Abrir la herramienta **Shortest Path (point to point)**
2. Seleccionar como capa vectorial **red_vial_osm**.
3. En **Path type to calculate**, escoger **Shortest** (el más corto).
4. En los campos **Start point y End point**, definir el origen y el destino de la ruta que desea calcular utilizando los botones [...] y haciendo clic en el mapa.
5. Por ahora, se deja el resto de las opciones como están.

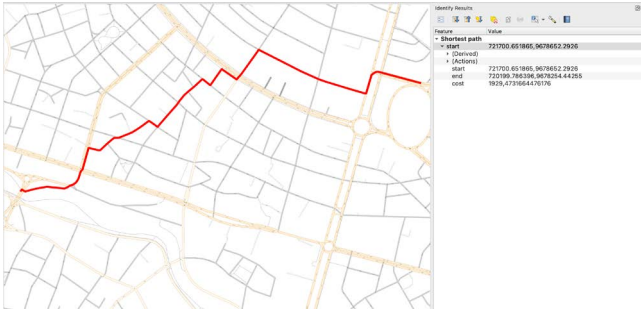


70

6. Hacer clic en **Run**.

7. En el mapa se creará una nueva capa de líneas indicando la ruta más corta calculada. Puede cambiar la simbología para facilitar la visualización.

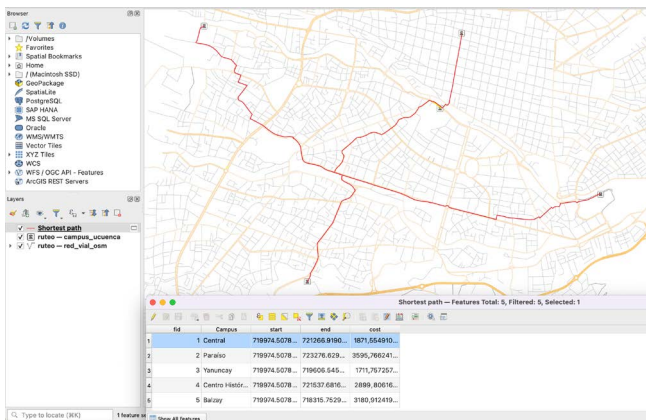
Utilizar la herramienta de identificación para hacer clic en la ruta creada y se abrirá el panel **Identify results**, donde podrá ver los atributos de la ruta creada, incluyendo las coordenadas de origen y destino, así como la distancia de recorrido (**cost**).



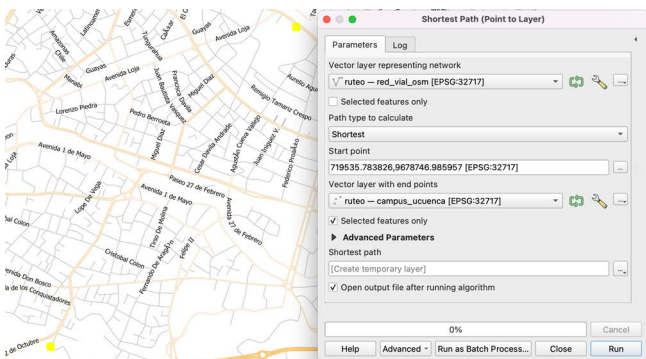
Ruta más corta de punto a capa

Es posible utilizar una capa de puntos para calcular varias rutas a la vez, desde un origen a varios destinos.

1. Cargar la capa **campus_cuenca**.
2. Seleccionar la herramienta **Shortest Path (point to layer)**.
3. Seleccione en el mapa el punto de origen con el botón [...] de **start point**.
4. En **Vector Layer with End Points** seleccionar **campus_ucuenca**.
5. Hacer clic en **Run**.
6. Explorar los atributos de la nueva capa creada.



Para calcular solamente rutas a algunos destinos de la capa **campus_ucuenca**, seleccionarlos en el mapa antes de ejecutar la herramienta.



Ruta más corta, según el sentido de circulación (una vía)

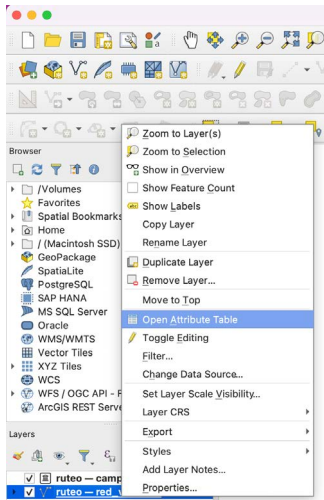
En una red vial, la ruta más corta para un vehículo motorizado no es la misma que para un peatón, pues los vehículos deben

respetar los sentidos de circulación. En este ejercicio, se modificará el ruteo para tomar en cuenta el sentido de circulación de las calles que son de una vía.

1. En la capa **red_vial_osm** explorar los atributos.
2. Encontrará un atributo llamado **sentido**, el cual define si la calle es unidireccional (sentido = 1). El sentido de circulación está determinado por la dirección en la que se digitaliza la calle en la capa original. El flujo de tráfico sigue el mismo sentido establecido durante la creación de la red vial en el sistema de información geográfica (SIG).

Consejo: para crear el atributo con el sentido de circulación en una capa extraída de *OpenStreetMap*, puede realizar los siguientes pasos (en esta capa ya está definida y no es necesario).

3. Abrir la tabla de atributos de la capa haciendo clic derecho y seleccionando **Open attribute table**.



4. En la tabla de atributos, abrir la calculadora de atributos con el botón correspondiente o con **Ctrl+I**.

osm_id	name	highway	Open field calculator (Ctrl+I)	sentido	
1	29223051	NULL	residential	"oneway"=>"no"	0
2	29223060	NULL	trunk_link	"destination"=>"Hospital del Río", "lanes"=>"1", "maxspeed"=>"50", "oneway"...	1
3	29223062	Juan Montalvo	residential	"lanes"=>"2", "lit"=>"yes", "maxspeed"=>"30", "oneway"=>"yes", "sidewalk"...	1
4	29223063	Miguel Heredia	residential	"lanes"=>"2", "maxspeed"=>"30", "oneway"=>"yes", "sidewalk"=>"both", "su..."	1
5	29223065	Miguel Velez	residential	"lanes"=>"2", "maxspeed"=>"30", "oneway"=>"yes", "sidewalk"=>"both", "su..."	1
6	29223185	Avenida de la...	primary	"lanes"=>"2", "maxspeed"=>"30", "oneway"=>"yes", "surface"=>"asphalt"	1
7	29223186	Cantón Paute	residential	"lanes"=>"2", "maxspeed"=>"40", "sidewalk"=>"right", "surface"=>"concrete"	0
8	29223187	Avenida de la...	primary	"bridge"=>"yes", "lanes"=>"2", "layer"=>"1", "maxspeed"=>"50", "oneway"=>...	1

5. Crear un nuevo atributo de tipo integer, llamado **sentido**, y escribir la siguiente fórmula:

CASE

WHEN "other_tags" ILIKE '%"oneway"=>"yes"%' THEN 1

WHEN "other_tags" ILIKE '%"junction"=>"roundabout"%' THEN 1

WHEN "other_tags" ILIKE '%"oneway"=>"-1"%' THEN -1

ELSE 0

END

Field Calculator dialog box configuration:

- Only update 1 selected feature:
- Create a new field: (Update existing field:)
- Create virtual field:
- Output field name:
- Output field type:
- Output field length: Precision:
- Expression:


```

CASE
WHEN "other_tags" ILIKE '%"oneway"=>"yes"%' THEN 1
WHEN "other_tags" ILIKE '%"junction"=>"roundabout"%' THEN 1
WHEN "other_tags" ILIKE '%"oneway"=>"-1"%' THEN -1
ELSE 0
END
      
```
- Feature:
- Preview: 0
- Buttons: Help, Cancel, OK

Esta fórmula toma los atributos originales de OSM en cuanto al sentido de la vía y los redondeles, y realiza un cálculo condicional que indica que al encontrar el texto “**oneway**”=>”**yes**” o “**junction**”=>”**roundabout**” dentro del atributo **other_tags** ingresará el valor **1**, cuando encuentre el texto “**oneway**”=>”**-1**” ingresará el valor **-1**. En todos los otros casos, ingresará el valor 0.

En la simbología de la capa **red_vial_osm** se ha definido una regla para visualizar con una flecha el sentido de circulación de las calles de una vía.

6. Hacer **zoom** en el mapa para encontrar las calles de una vía.

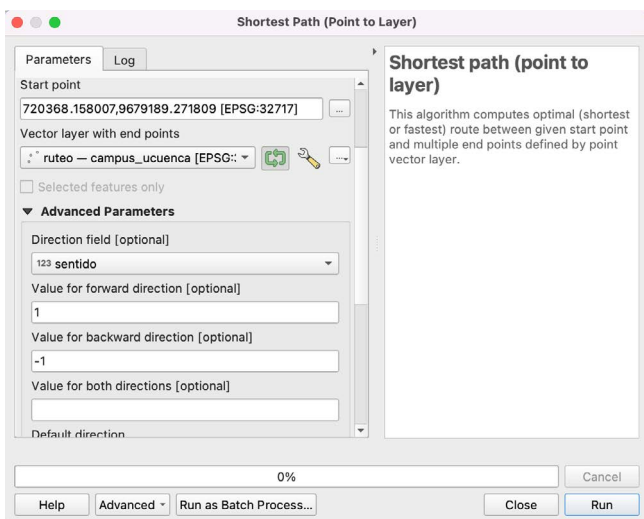


7. Seleccionar la herramienta **Shortest Path (point to Layer)**.

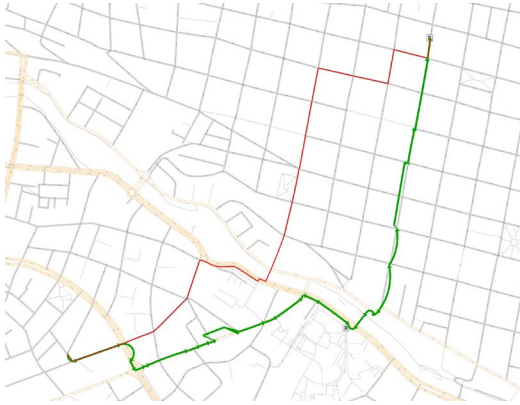
8. Seleccionar en el mapa el punto de origen.

9. En **Vector Layer with End Points**, seleccionar **campus_ucuenca**.

10. En **Advanced parameters**, seleccionar sentido en **Direction Field**. Escribir **1** en **Value for forward direction** y **-1** en **Value for backward direction**. Esto le indicará a la herramienta que aquellas líneas que tengan **1** en el atributo **sentido** serán consideradas de una vía en la dirección de digitalización, y las que tengan **-1** serán una vía en sentido contrario a la digitalización.



11. Ejecutar la herramienta nuevamente con **Run** y explorar el resultado. Puede definir una simbología en la capa de rutas creadas para mejorar la visualización.



Observe que ahora las rutas creadas respetarán la dirección de circulación vehicular. Podría darse que la ruta esté utilizando un segmento prohibido (ej. una ciclovia o paso peatonal). En el siguiente ejercicio se observará cómo solucionar estos casos.

77

Rutas más rápidas, según la velocidad de circulación

Otro aspecto a tener en cuenta al momento de crear rutas es el tiempo de recorrido. En algunos casos, se considerará la distancia como el factor a optimizar. Pero en muchos otros, y de manera particular para los vehículos, la ruta más corta no es necesariamente la ruta más rápida, debido, por ejemplo, a la velocidad de circulación en la red vial. Por lo tanto, podemos crear rutas óptimas tomando en cuenta la velocidad para mejorar el tiempo de recorrido.

Para esto, es necesario tener un atributo con los datos de velocidad. En este ejercicio crearemos este atributo y definiremos la velocidad, según el tipo de vía.

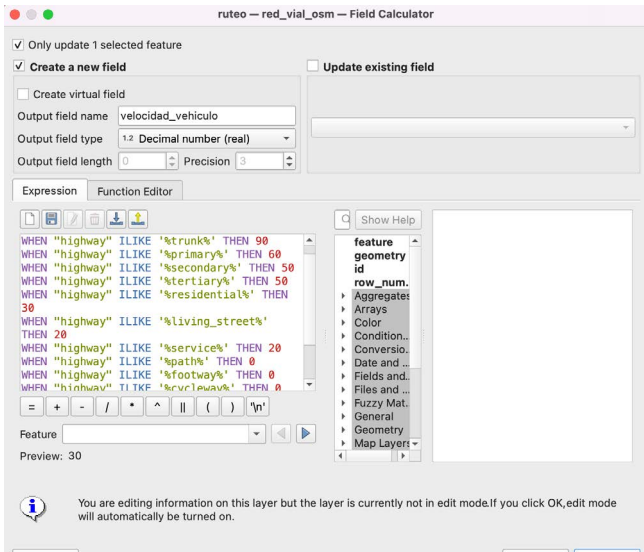
1. Abrir la tabla de atributos de `red_vial_osm`. Crear un nuevo atributo de tipo decimal llamado `velocidad_vehiculo`, utilizando la siguiente fórmula:

```

CASE
WHEN "highway" ILIKE '%trunk%' THEN 90
WHEN "highway" ILIKE '%primary%' THEN 60
WHEN "highway" ILIKE '%secondary%' THEN 50
WHEN "highway" ILIKE '%tertiary%' THEN 50
WHEN "highway" ILIKE '%residential%' THEN 30
WHEN "highway" ILIKE '%living_street%' THEN 20
WHEN "highway" ILIKE '%service%' THEN 20
WHEN "highway" ILIKE '%path%' THEN 0
WHEN "highway" ILIKE '%footway%' THEN 0
WHEN "highway" ILIKE '%cycleway%' THEN 0
ELSE 0
END

```

Esta fórmula define la velocidad máxima permitida, según el tipo de vía almacenado en el campo **highway**. Usted puede modificar estos valores, según su caso de estudio específico. Tome en cuenta que las velocidades están en km/hora.



2. Abrir la herramienta de **shortest path**. Definir la capa de la red vial y los puntos de origen y destino.
3. En **Path type to calculate**, escoger **Fastest** (el más rápido).
4. En **Advanced parameters**, configurar los atributos de sentido de circulación en **Direction field**, como en el ejercicio anterior.
5. En **Speed field** escoger el atributo creado anteriormente **Velocidad_vehiculo**.
6. Ejecutar el proceso con **Run** y explorar los resultados.

Ejercicio autónomo

- Comparar los resultados obtenidos con las opciones de **Shortest** y **Fastest** en **Path type to calculate**. ¿En qué caso utilizaría cada una de ellas?
- Ejecutar las herramientas **Shortest Path (point to Layer)** y **Shortest Path (Layer to point)**. ¿Cuál es la diferencia? ¿En qué casos la diferencia entre las dos no sería importante?
- Intentar determinar cómo funcionan las herramientas **Service area**.
- Las herramientas de Network Analysis tienen opciones para optimizar distancias (las rutas más cortas) o tiempos (las rutas más rápidas). ¿Puede pensar en otros factores que podrían optimizarse?

Practicar lo aprendido: rutas escolares seguras

En este ejercicio, usted calculará un conjunto de rutas óptimas (en términos de tiempo y de distancia) entre dos tipos de equipamientos.

Descripción

A usted le han asignado un proyecto de pacificación de calles para mejorar la movilidad peatonal en una zona escolar, interviniendo en las calles que unen un parque con las 10 escuelas más cercanas, en términos de tiempo de movilización a pie. La velocidad de caminata de un niño es de aproximadamente 3,7 km/h, sin embargo, en las calles principales, troncales y secundarias, la velocidad es de 2 km/h debido a la dificultad de caminar por el tráfico vehicular. Usted debe crear, por lo tanto, un mapa que indique cuáles son los segmentos que se van a intervenir. En el mapa se debe indicar también los tiempos y distancias de cada uno de los 10 recorridos.

Datos

Para la realización del ejercicio, se utilizarán las capas en el archivo [ruteo.gpkg](#):

- `red_vial_osm`
- `equipamientos_educativos`
- `equipamientos_recreativos`

Herramientas y procesos

Las herramientas y procesos necesarios para realizar el análisis son:

- Selección por atributos (para seleccionar los equipamientos recreativos, tipo parque, y educativos, tipo educación básica o unidad educativa).

- Creación y cálculo de atributos para establecer atributos con la velocidad a pie en diferentes tipos de vía.
- Análisis de ruta más corta para calcular el itinerario más rápido a pie.
- Exportación de capas.
- Representación y visualización.

Para tomar en cuenta

Las capas de equipamientos educativos y recreación tienen diversos tipos de equipamientos. Debe estudiar los atributos y valores para seleccionar solamente los equipamientos recreativos de tipo parque (todos los tipos de parque) y los elementos educativos de tipo escuela (educación general básica o unidad educativa).

Los valores pueden haber perdido caracteres y tildes debido a la conversión de tipo de archivo, por lo que deberá poner especial cuidado en el momento de realizar la selección por atributos.

Las unidades de velocidad peatonal están en km/h.

18

Resultado esperado

Elaborar un mapa de la zona de estudio donde se muestre:

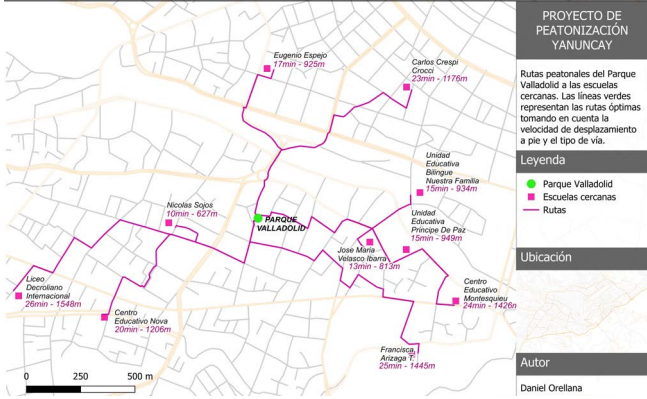
- El equipamiento recreativo seleccionado.
- Las rutas peatonales a las 10 escuelas más cercanas.
- Los tiempos en minutos y distancias en metros de cada ruta.

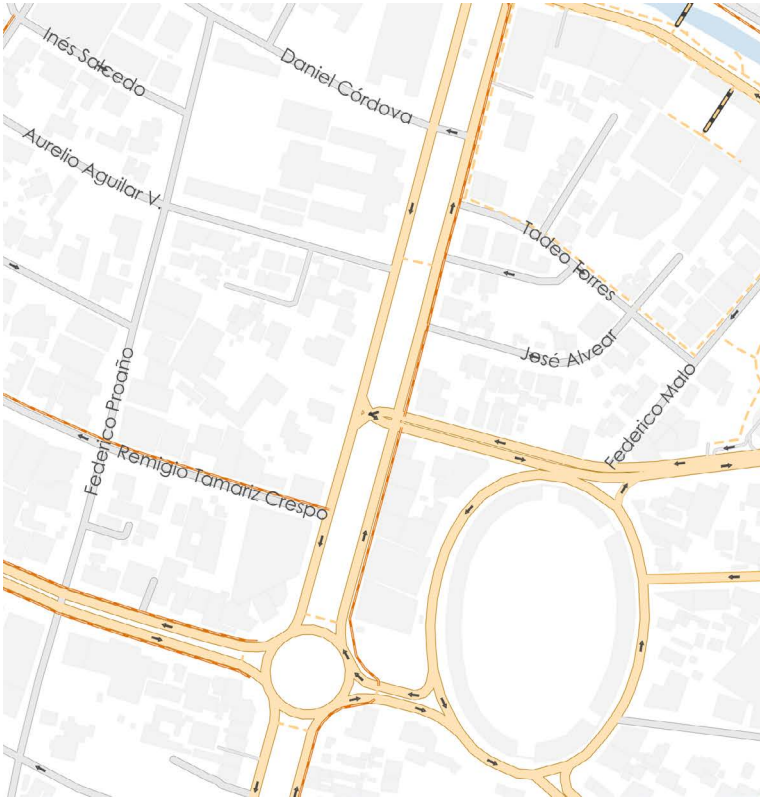
No olvidar colocar los elementos claves del mapa: título, leyenda, barra de escala, etc.

RETO: lograr un etiquetado adecuado, de manera que se muestre el tiempo y la distancia.

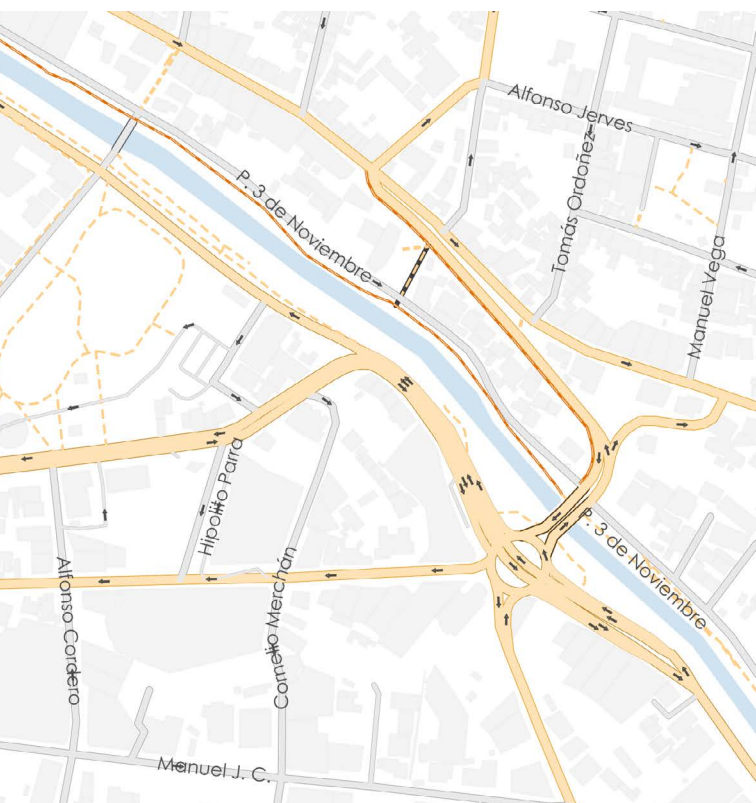
Ejemplo de resultado:

Rutas peatonales a intervenir





2. Obtención de datos de red vial



Resumen

En este tutorial, aprenderá cómo funcionan los datos geográficos que representan una red vial. Además, se familiarizará con la plataforma de datos abiertos *OpenStreetMap* y conocerá cómo puede utilizar estos datos para realizar análisis de movilidad en cualquier zona urbana del mundo.

Dificultad



Nivel
intermedio

Conocimientos necesarios

- QGIS: abrir proyectos, cargar datos, guardar datos, aplicar simbología, instalar *plugins*.
- Conceptos básicos de *OpenStreetMap*.

Datos

Los datos para este tutorial se obtendrán como parte del procedimiento.

Introducción

El modelo de datos de red es un enfoque de representación de datos que se utiliza en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para analizar redes de transporte. Estas pueden referirse a una variedad de sistemas de infraestructura física, como carreteras, rutas de tránsito público, rutas de bicicletas, rutas peatonales, rutas de aviones, etc.

El modelo de datos de red se basa en una representación gráfica de nodos (vértices, o *nodes*), y aristas (líneas o *edges*), donde los nodos pueden representar intersecciones o terminales, y las aristas representan las conexiones o rutas entre ellos, como caminos, carreteras, rutas, etc. Es importante señalar la importancia de la topología, es decir, de la representación explícita de la conexión existente entre las líneas y los nodos. Los atributos asociados con los nodos y aristas pueden incluir información como la longitud de la ruta, el tiempo de viaje, la capacidad de la ruta, la velocidad máxima permitida, y otros factores que pueden influir en el análisis del transporte.

El análisis de redes de transporte en SIG puede contener operaciones como la búsqueda del camino más corto, el cálculo de la ruta óptima entre varios puntos, el análisis de la accesibilidad y la conectividad, y la planificación de rutas eficientes.


La mayoría de los análisis de movilidad requieren de un conjunto de datos que representen una red vial. La calidad y nivel de detalle de estos es crucial para un adecuado análisis; pequeños errores, cambios u omisiones en los datos de la red pueden producir resultados completamente diferentes.

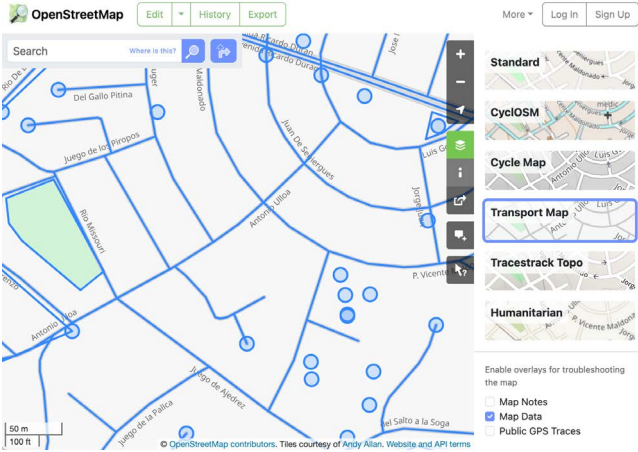
Es común que los datos disponibles en las instituciones gubernamentales encargadas no tengan las características necesarias para un adecuado análisis. Afortunadamente, la iniciativa *OpenStreetMap* basada en aportes voluntarios de la comunidad, provee una base de datos libre de la red vial con alto nivel de detalle para prácticamente todo el planeta.

Para saber más de *OpenStreetMap* puede revisar el siguiente artículo: <https://mappinggis.com/2021/04/openstreet-map-la-plataforma-de-mapas-libre-mas-grande-del-mundo/>

Explorar *OpenStreetMap*

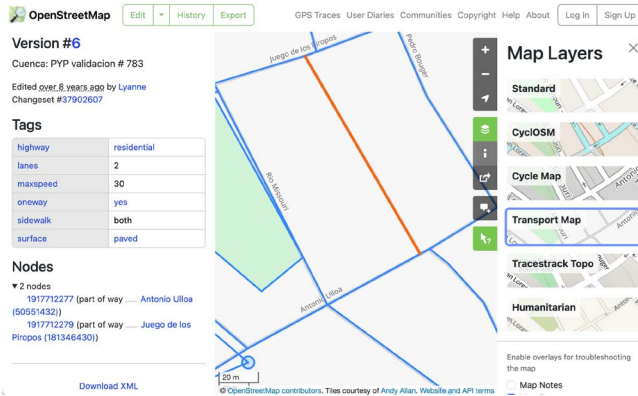
Recuerde que *OpenStreetMap* es principalmente tres cosas: un mapa, una base de datos geográfica y una comunidad de personas que actualizan y mantienen los datos de forma voluntaria. En este primer ejercicio, exploramos el mapa y la base de datos.

1. Ir a <https://OpenStreetMap.org>. La página se abrirá con el mapa de *OpenStreetMap* (OSM). Recordar que este mapa es la representación cartográfica de la base de datos espacial de OSM.
2. Explorar el mapa de una zona urbana de interés. Hacer *zoom* hasta una intersección de vías para ver todo el detalle posible.
3. Hacer clic en el botón de capas  y seleccionar en la parte de abajo **Map Data**. Ahora el área de visualización mostrará con líneas azules todos los elementos lineales, como calles, senderos, ríos, etc. y con pequeños círculos los puntos de interés. Estas son las geometrías almacenadas en la base de datos espacial de OSM. En este tutorial nos ocuparemos solamente de las líneas.



4. Consulte las características de una calle, seleccionando la herramienta **Query features**  y haciendo clic sobre la geometría.

68



5. Nota: a diferencia de los formatos tradicionales de Sistemas de Información Geográfica, *OpenStreetMap* utiliza un es-

quema propio para almacenar los atributos de los elementos basado en una clave (**key**) y un valor (**value**) almacenados en una etiqueta (**tag**) con el formato **key=value**. Por ejemplo, la etiqueta **highway=residential** indica que es una calle de tipo residencial; **oneway=yes** muestra que es una calle de una sola dirección, y **maxspeed = 30** enseña que la velocidad máxima es 30 km/h. Con este esquema de etiquetas, cada elemento de la base de datos puede tener sus propios atributos.

6. Haga clic en una de las claves, por ejemplo, **lanes** para ver la ayuda y explicación de dicha clave en una nueva pestaña del navegador.
7. Explore las características de otros elementos.

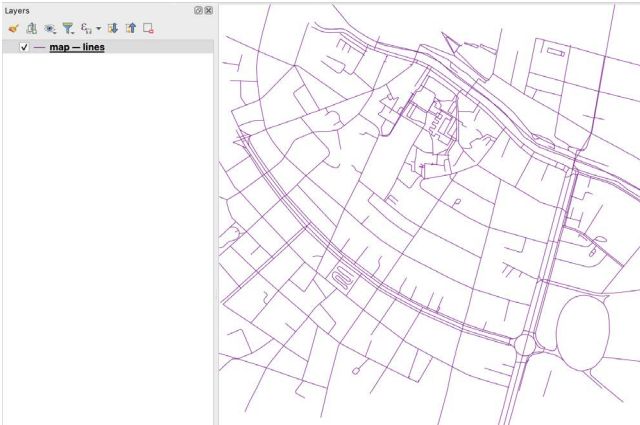
Exportar datos de *OpenStreetMap*

Una de las enormes ventajas de OSM es que sus datos son libres para cualquier uso siempre que se cite la fuente. En este ejercicio aprenderá varias formas de exportar datos de OSM para integrarlos a un *software* SIG como QGIS.

1. En la ventana principal de OSM, mover el mapa y hacer **zoom** hasta visualizar un área no demasiado grande (por ejemplo, un barrio).
2. Hacer clic en el botón **Export** en la parte superior. Se abrirá una pestaña donde podrá comprobar las coordenadas límite del área a exportar.
3. También puede seleccionar manualmente otra área con el comando **Manually select a different área**.
4. Una vez que se haya seleccionado el área a exportar (evitar

áreas demasiado grandes en este ejercicio), hacer clic en el botón **Export**.

5. Se descargará un archivo llamado **map.osm**. Guardar en una carpeta del disco duro.
6. Abrir QGIS y arrastrar el archivo **map.osm** a la pantalla principal. Se abrirá una ventana en la cual le pedirá seleccionar el tipo de geometrías que se añadirán a QGIS. En este caso, seleccionar solamente **lines** (líneas) y hacer clic en **Add layers**. QGIS creará una capa llamada **map - lines** con todas las geometrías de tipo línea contenidas en el área exportada. Tener en cuenta que esta capa está en el sistema de coordenadas geográficas WGS84, representado en grados decimales de latitud y longitud.



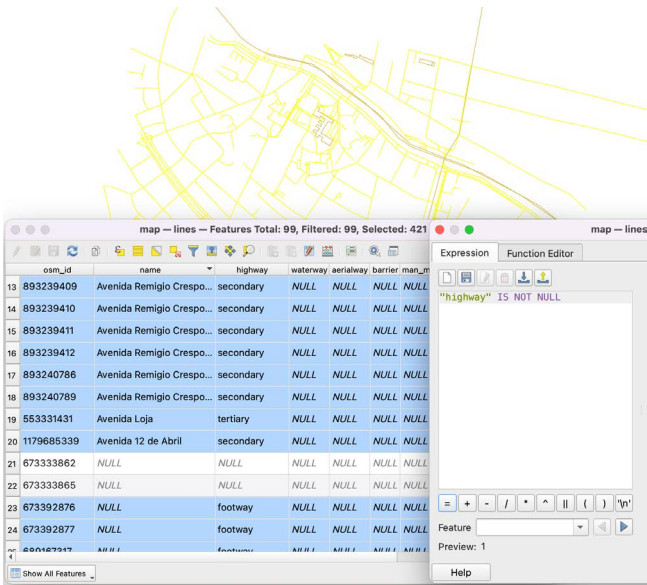
7. Abrir la tabla de atributos de la capa. Podrá ver que QGIS ha almacenado algunas etiquetas (**name**, **highway**, **waterway**) en atributos independientes. Todas las demás etiquetas se almacenan separadas por punto y coma en un solo atributo **other_tags**.

csm_id	name	highway	waterway	aerialway	barrier	man_made	z_order	other_tags
893234899	Roberto Crespo Toral	secondary	NULL	NULL	NULL	NULL	6	"lanes"=>"2", "maxspeed"=>"50", "oneway"=>"yes", ...
893234901	Roberto Crespo Toral	secondary	NULL	NULL	NULL	NULL	6	"lanes"=>"2", "maxspeed"=>"50", "oneway"=>"yes", ...
894137677	Ricardo Muñoz Davila	secondary	NULL	NULL	NULL	NULL	6	"lanes"=>"2", "maxspeed"=>"50", "oneway"=>"yes", ...
894137678	Ricardo Muñoz Davila	secondary	NULL	NULL	NULL	NULL	6	"lanes"=>"2", "maxspeed"=>"50", "oneway"=>"yes", ...
640992323	Puente del Vado	tertiary	NULL	NULL	NULL	NULL	24	"bridge"=>"yes", "cycleway:right"=>"lanes", "lanes"=>">
992604611	Puente del Centenario	residential	NULL	NULL	NULL	NULL	3	"foot"=>"permissive", "lanes"=>"2", "maxspeed"=>"3", ...
992604612	Puente del Centenario	residential	NULL	NULL	NULL	NULL	3	"foot"=>"permissive", "lanes"=>"2", "maxspeed"=>"3", ...
762099114	Padre Aguirre	pedestrian	NULL	NULL	NULL	NULL	0	"lanes"=>"1", "maxspeed"=>"30", "motor_vehicle"=>">
893239407	Lorenzo Piedra	residential	NULL	NULL	NULL	NULL	3	"lanes"=>"2", "maxspeed"=>"50", "oneway"=>"yes", ...
893239408	Lorenzo Piedra	residential	NULL	NULL	NULL	NULL	3	"lanes"=>"2", "maxspeed"=>"50", "oneway"=>"yes", ...
553331430	Avenida Remigio Crespo...	secondary	NULL	NULL	NULL	NULL	6	"lanes"=>"3", "maxspeed"=>"50", "oneway"=>"yes", ...
553331432	Avenida Remigio Crespo...	secondary	NULL	NULL	NULL	NULL	6	"lanes"=>"2", "maxspeed"=>"50", "oneway"=>"yes", ...
893239409	Avenida Remigio Crespo...	secondary	NULL	NULL	NULL	NULL	6	"lanes"=>"1", "maxspeed"=>"50", "oneway"=>"yes", ...

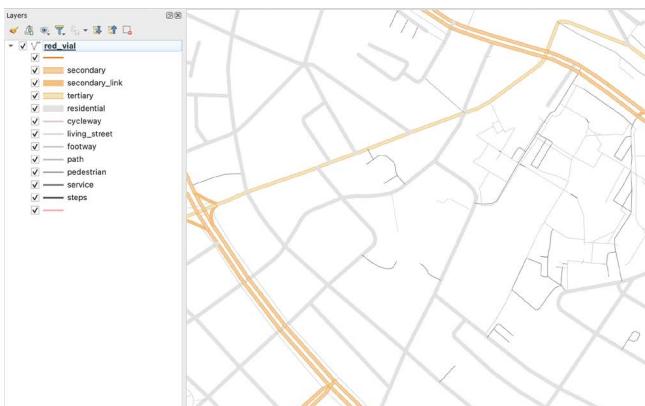
Preparar datos de *OpenStreetMap* en QGIS

Hasta ahora solamente hemos importado los datos crudos de *OpenStreetMap* a QGIS. Para analizar y elaborar mapas, en este ejercicio aprenderá a preparar adecuadamente estos datos.

1. Utilizar la selección por atributos para seleccionar todos los elementos en los que el atributo **highway** tenga almacenado algún valor, es decir los elementos que pertenecen a la red vial. Para esto use la siguiente expresión:
2. **"highway" IS NOT NULL .**
3. Comprobar que se han seleccionado los elementos de la red vial.



- Hacer clic derecho en la capa **map-lines**, escoger **Export > Save selected features as...** para los elementos seleccionados en un archivo *geopackage*, con el nombre **red_vial.gpkg**. Al guardar, cambiar el sistema de coordenadas de referencia **CRS** a **WGS84 /UTM zone 17S (EPSG:32717)**. Esto permitirá tener los datos en coordenadas proyectadas al sistema UTM.
- Cambiar la simbología de la capa **red_vial** utilizando una simbología categorizada según el atributo **highway**. Escoger para cada tipo de vía un color, tipo de línea y grosor adecuado.

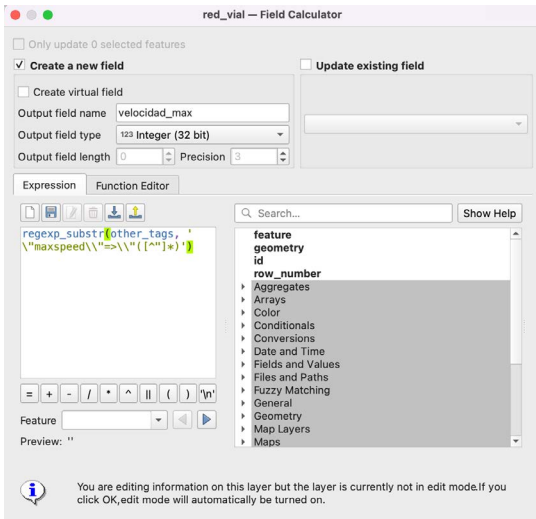
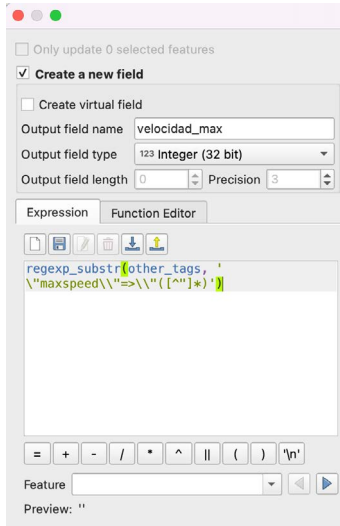


Como hemos visto, varias características están almacenadas en el atributo **other_tags**. Ahora vamos a extraer algunas de ellas y almacenarlas en columnas de atributos independientes.

1. Abrir la tabla de atributos de **red_vial**.
2. Crear un nuevo campo de tipo entero (integer) llamado **velocidad_max** con la calculadora de campos. Utilice el siguiente código para extraer el valor de velocidad máxima al nuevo atributo:

```
| regexp_substr(other_tags, ' "maxspeed"=>"([\^"]*)')
```

3. Grabar la capa saliendo del modo de edición, para esto hacer clic en el botón del lápiz que se ha activado automáticamente en la tabla de atributos.



4. Comprobar en la tabla de atributos que se ha creado **velocidad_max**. Tomar en cuenta que las calles que no tienen definida la velocidad máxima quedarán con valores nulos.

	other_tags	velocidad_max
68	, "layer"=>"1", "lit"=>"yes", "oneway"=>"no"	NULL
69	axspeed"=>"50", "oneway"=>"yes", "sidewalk"=>"...	50
70	axspeed"=>"30", "oneway"=>"yes", "sidewalk"=>"...	30
71	axspeed"=>"30", "oneway"=>"yes", "sidewalk"=>"...	30
72	axspeed"=>"30", "oneway"=>"yes", "sidewalk"=>"...	30
73	axspeed"=>"30", "oneway"=>"yes", "sidewalk"=>"...	30
74	axspeed"=>"30", "oneway"=>"yes", "sidewalk"=>"...	30
75	axspeed"=>"50", "oneway"=>"yes", "sidewalk"=>"...	50
76	axspeed"=>"50", "oneway"=>"yes", "sidewalk"=>"...	50
77	neway"=>"yes", "sidewalk"=>"both", "surface"=>"c...	NULL
78	ines:backward"=>"1", "lanes:forward"=>"1", "onewa...	NULL
79	ines:backward"=>"1", "lanes:forward"=>"1", "onewa...	NULL
80	, "layer"=>"1", "lit"=>"yes", "surface"=>"wood"	NULL
81		NULL
82	crete"	NULL

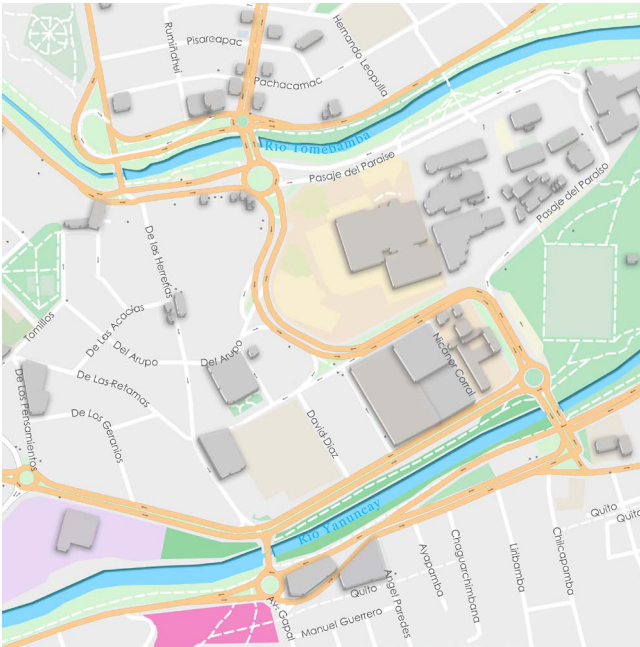
5. Repetir el proceso para almacenar el sentido de circulación en otro campo de tipo texto (*string*) de largo 20 llamado **sentido**. Utilizar el siguiente código:

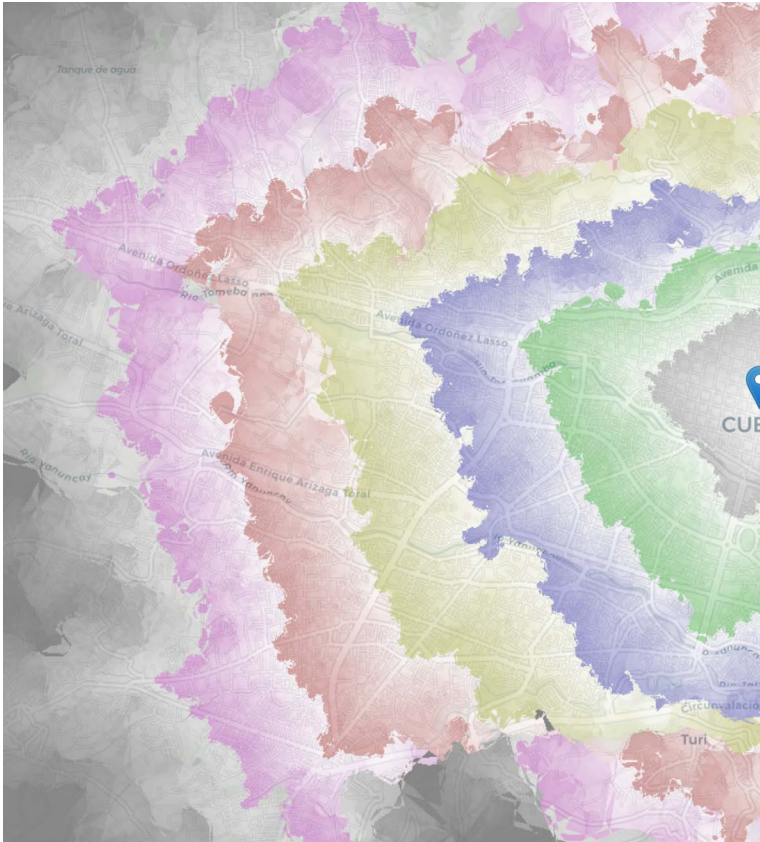
```

CASE
WHEN regexp_substr(other_tags, ' \"oneway\"=>\"([^\"]*)') =
'yes' THEN 'Una Vía'
ELSE 'Doble vía'
END

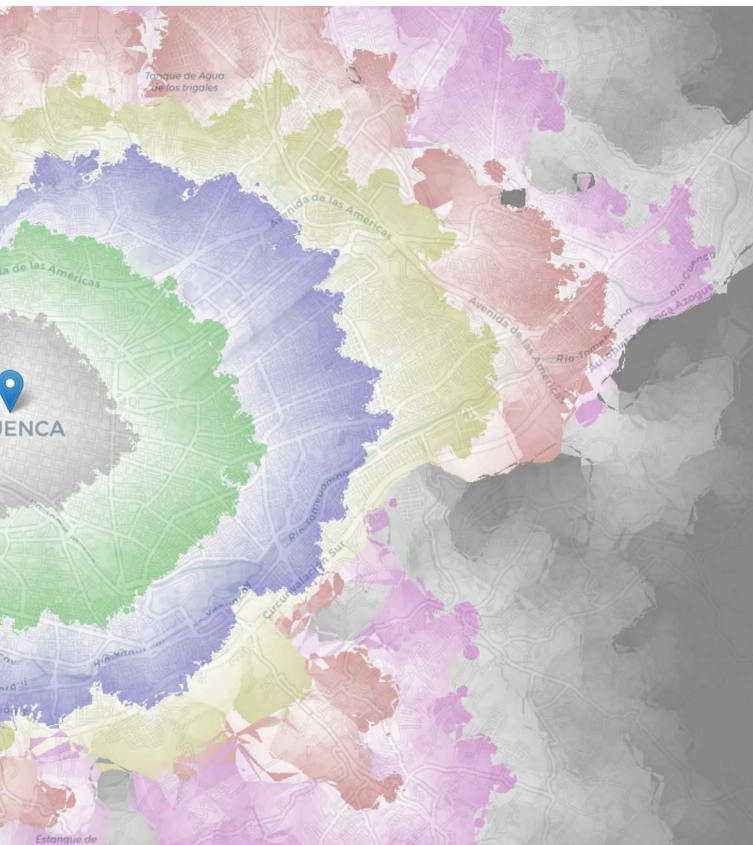
```

6. Intentar encontrar los puentes (etiqueta **bridge=yes**). Utilizar como modelo el código anterior, reemplazando **oneway** por **bridge**.
7. Intentar utilizar los nuevos atributos para definir símbolos que representan los puentes y los sentidos de circulación.
8. Nota: QGIS tiene unas capacidades cartográficas muy potentes, permitiendo realizar mapas complejos y estéticos.





3. Ruteo multimodal e isócronas con *OpenTripPlanner*



Resumen

En este tutorial usted aprenderá el funcionamiento básico de *OpenTripPlanner* y la instalación del *plugins* OTP en QGIS para realizar varios análisis de movilidad, tanto en la *web* como en *software* SIG.

Dificultad



Nivel
básico

Conocimientos necesarios

- QGIS básico (abrir proyectos, cargar y guardar datos, aplicar simbología, instalar *plugins*).

Datos

Este tutorial no requiere de datos adicionales.

Introducción

OpenTripPlanner (OTP) es un proyecto de *software* libre que proporciona una plataforma para la planificación de viajes y el análisis de isócronas en transporte público, bicicleta, automóvil y a pie, incorporando diferentes tipos de datos geoespaciales y de horarios. Es especialmente útil para el análisis de movilidad urbana, ya que permite modelar y simular redes de transporte en entornos urbanos. OTP puede integrar información en tiempo real, como actualizaciones de la ubicación de los autobuses o trenes, y cambios en los horarios, para proporcionar a los usuarios itinerarios precisos y actualizados. Además, su capacidad de analizar los tiempos de viaje, las distancias y los costos de diferentes opciones de movilidad es una herramienta valiosa para los planificadores urbanos y los profesionales del transporte.

Mediante el análisis de los datos generados por OTP, es posible identificar patrones, evaluar la accesibilidad a diferentes servicios y áreas de la ciudad, y desarrollar estrategias para mejorar la eficiencia del sistema de transporte.

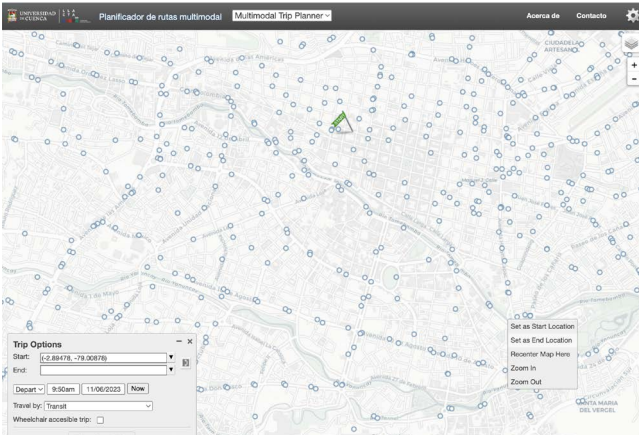
La plataforma OTP está usualmente instalada en un servidor y puede ser configurada para acceder a través de la *web* mediante una interfaz de usuario, o a través de *software* especializado mediante una API (*Application Programming Interface*). Por ejemplo, el *software* QGIS cuenta con un *plugin* (extensión) para acceder a la API de una instancia de OTP y utilizarlo como parte de procesos de análisis espacial.

Para saber más de *OpenTripPlanner*, acceder a <https://docs.opentripplanner.org/>

Uso del *ruteador* multimodal en la web

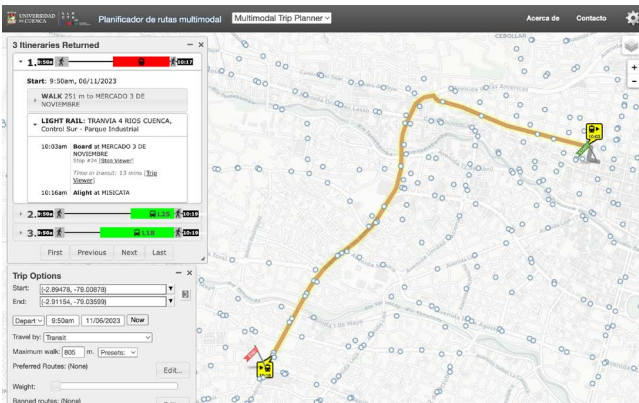
Gracias al apoyo de la Corporación Ecuatoriana para el Desarrollo de la Investigación y la Academia - CEDIA, el grupo de investigación LlactaLAB de la Universidad de Cuenca ha implementado una instancia de *OpenTripPlanner* para la ciudad de Cuenca, con todos los datos de los sistemas de transporte de la ciudad: red vial, sistema de transporte público, sistema de bicicleta compartida, etc.

1. Abrir un navegador y escribir la siguiente dirección: <https://llactalab.ucuenca.edu.ec/ruteador/>
2. Revisar el video introductorio para tener una primera aproximación a *OpenTripPlanner*. Luego, hacer clic en **Ir al Ruteador**.
3. Se abrirá una página con la interfaz de usuario de OTP mostrando un mapa de la ciudad y un cuadro de opciones de viaje. Hacer clic derecho en cualquier lugar de la ciudad y seleccionar **Ruta desde aquí**. Aparecerá una bandera verde. Luego, hacer clic derecho en otra ubicación de la ciudad y seleccione **Ruta hacia aquí**.



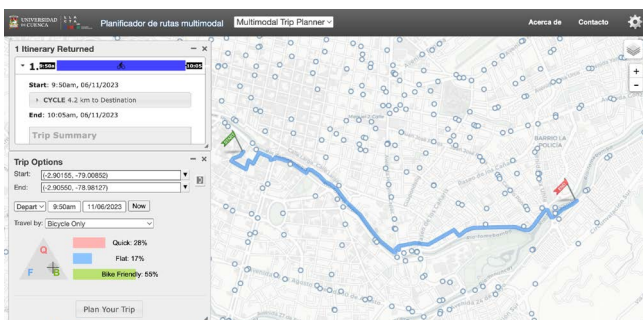
4. OTP mostrará algunos posibles itinerarios para llegar desde el origen al destino utilizando transporte público. Además, indicará para cada ruta el nombre y número de línea, indicará si es bus o tranvía, el tiempo estimado de viaje y la hora estimada de llegada. En el panel de itinerarios, puede seleccionar cada opción para ver el recorrido en el mapa y los detalles correspondientes.

103



5. En el panel **Opciones de Viaje**, seleccionar **Viajar en Solo bicicletas**, para pedir a OTP una ruta en bicicleta. En el triángulo inferior mueva la mirilla para optimizar la ruta según sus preferencias.

- **Rápido**: priorizará la ruta en la que se pueda llegar en menos tiempo al destino.
- **Sin cuestas**: priorizará las rutas con menores pendientes.
- **Adaptado a bicicleta**: priorizará las rutas que circulen por ciclovías o calles de poco tráfico.



6. Volver a cambiar las preferencias de viaje en bicicleta y observar los cambios.

Es importante señalar que, en algunas ocasiones, las rutas propuestas por OTP parecen contradictorias. Por ejemplo, podría ser que a pesar de seleccionar **Adaptado para bicicleta: 100 %**, la ruta propuesta no siga necesariamente las ciclovías. Esto muchas veces se debe a la existencia de una intersección peligrosa en la ciclovía, lo que la haría menos adecuada para bicicletas. En estos casos, el *ruteador* para bicicletas buscará otra alternativa.

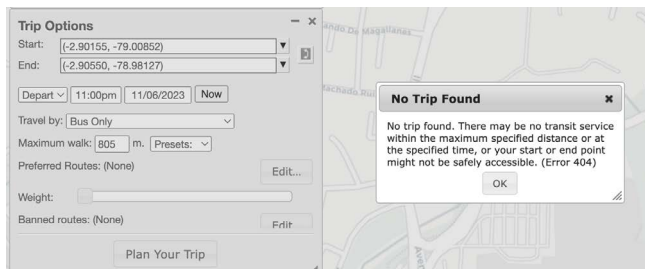
7. Explorar las rutas en otros medios de transporte:

- Caminando
- Bicicleta
- Auto particular
- Solo bus
- Solo tranvía
- Cualquier transporte público
- Sistema de Bicicleta Pública
- *Park and ride* (Aparcar y transporte público)

El planificador multimodal toma en cuenta la hora de viaje para determinar las diferentes opciones, según la información provista por la Dirección de Movilidad del GAD Municipal de Cuenca. Sin embargo, actualmente no se toma en cuenta el impacto del tráfico en los tiempos de viaje, por lo que las estimaciones, tanto para transporte público como para auto, serán generalmente menores a los tiempos de viaje reales en horas pico.

8. Seleccionar **Viajar en Transporte público**.

9. En **Salir a las**, colocar **11:00 pm** y hacer clic en **Calcular viaje**. La plataforma indicará que no existen viajes disponibles, ya que el sistema de transporte público no opera por la noche.



10. Explorar las posibilidades de viajes multimodales, por ejemplo, combinar bicicleta con tranvía o transporte público con bicicleta pública.

11. La opción **Máximo a pie** permite definir la distancia máxima de caminata en viajes multimodales. Por ejemplo, la distancia máxima a pie para llegar a una estación de tranvía, una parada de bus o una estación de bicicleta pública.

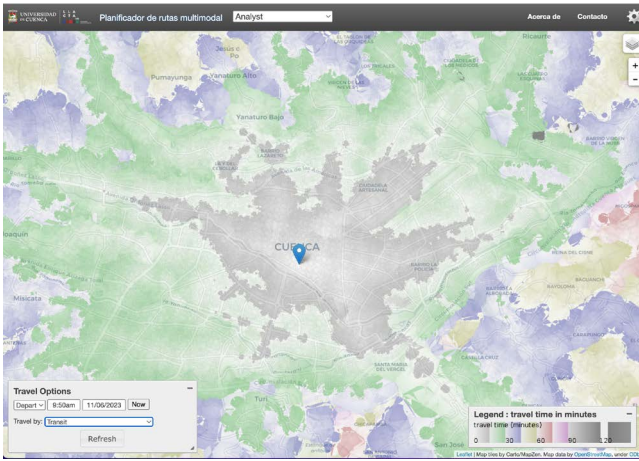


106

Modo analista

La funcionalidad de *routeador* es útil para analizar las opciones para un viaje entre un origen y un destino cada vez. El modo Analista permite visualizar las isócronas a partir de cualquier origen en el mapa en diferentes medios de transporte

1. En el menú superior, abrir el menú de selección **Planificador Multimodo** y cambiar a la opción **Analista**.
2. El mapa mostrará ahora las isócronas en intervalos de 15 minutos para el modo seleccionado.



3. Mover el marcador de origen a otros lugares y explorar los tiempos de viaje al resto de la ciudad. Comparar lugares con diferentes niveles de cobertura de transporte público.

107

Ejercicio autónomo

Utilice el *ruteador* y el modo analista para responder las siguientes preguntas:

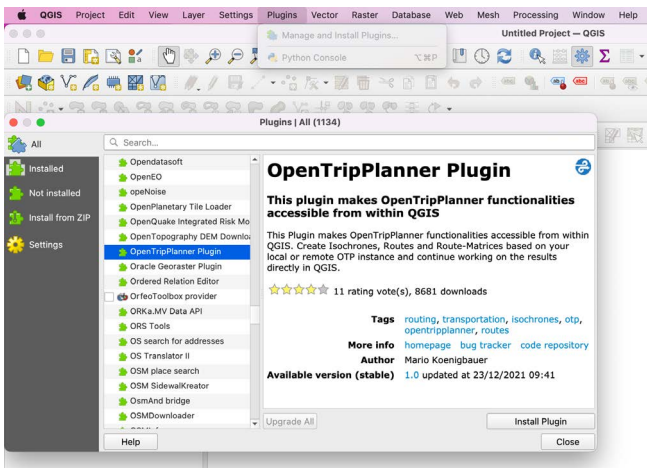
- a. ¿Cuál es el tiempo de viaje en bus desde el sector Tres Puentes (Cuenca) hasta el Parque Calderón (Cuenca)? (Puede utilizar otros puntos de referencia)
- b. ¿Es más rápido llegar en bicicleta o en auto?
- c. Intercambie los puntos de origen y destino para definir la ruta de regreso. ¿Los tiempos de viaje son los mismos que para la ruta de ida?

La interfaz *web* permite realizar ruteos y análisis visuales básicos con el modo analista. Sin embargo, para poder realizar análisis más avanzados como los que se realizarán en los siguientes tutoriales, será necesario utilizar un *software* de sistemas de información geográfica como QGIS o un lenguaje de análisis de datos como R o Python.

Instalación del *plugin* OTP

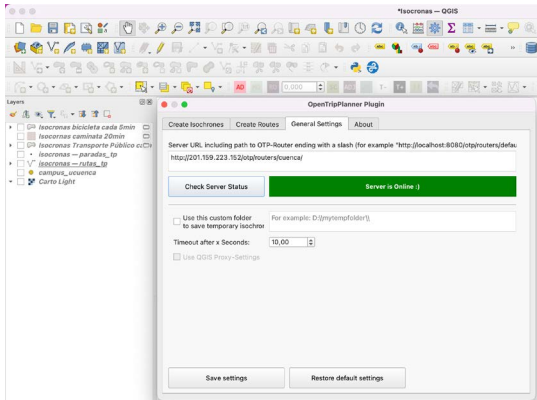
En esta sección, instalaremos el *plugin* de *OpenTripPlanner* en QGIS.

1. En QGIS, abrir el menú **Plugins** y seleccionar **Manage and Install Plugins**.
2. Buscar el *plugin* **OpenTripPlanner**.
3. Instalar el *plugin*.

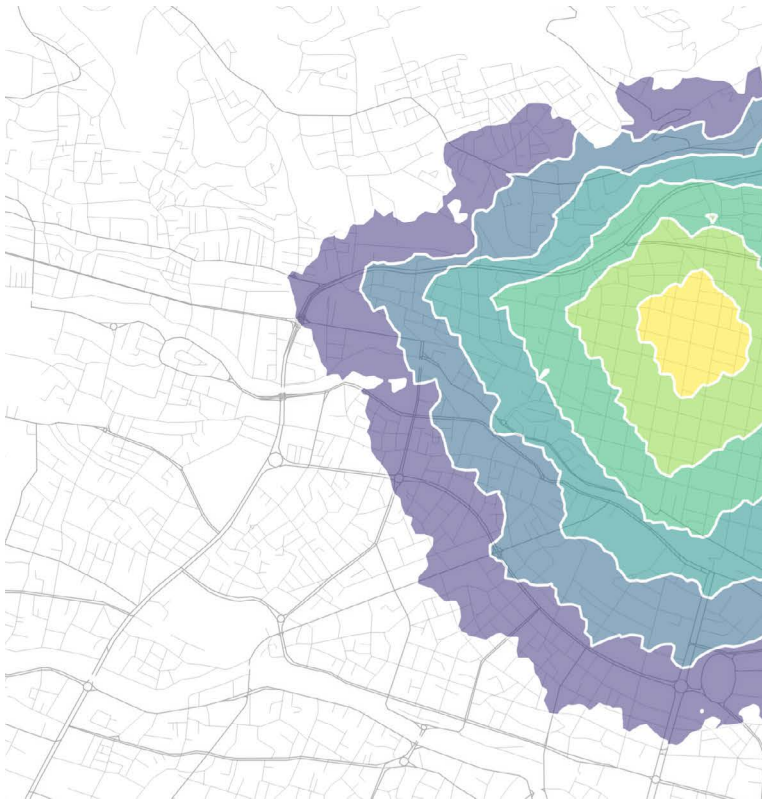


Configuración inicial del *plugin* OTP

1. Clic en el botón de **OTP** de la barra de herramientas de *plugins* en QGIS.
2. En la ventana de **OpenTripPlanner**, seleccionar la pestaña **General settings**.
3. Copiar y pegar, o escribir, la dirección del servicio de OTP de LactaLAB: **http://201.159.223.152/otp/routers/cuenca/**
4. Click en **Check Server Status** para comprobar que el servicio esté activo,
5. Si el servidor está funcionando y la conexión tuvo éxito, aparecerá el mensaje **Server is Online :)**.
6. Clic en **Save Settings** para grabar la configuración para que esté disponible cada vez que abra el *plugin*.



7. Ahora QGIS está conectado a *OpenTripPlanner*, para realizar análisis más avanzados.



4. Isócronas y áreas de servicio



Resumen

En este tutorial, aprenderá a calcular áreas de influencia o áreas de servicio de un equipamiento a partir del tiempo o distancia en red, según diferentes modos de transporte.

Dificultad



Nivel
intermedio

Conocimientos necesarios

- QGIS Básico (abrir proyectos, cargar datos, guardar datos, aplicar simbología)
- Isócronas

Prerrequisitos

- Instalar en *plugin* de *OpenTripPlanner* en QGIS (ver el tutorial "Análisis de rutas e isócronas con *OpenTripPlanner*").

Datos

- Archivo de QGIS: **isocsonas.qgz**
- Archivo de datos: **isocronas.gpkg**

Una isócrona es un área que delimita la superficie a la cual se puede llegar en un tiempo determinado. El cálculo de isócronas permite revelar, entre otras cosas, el área de influencia de un negocio, la accesibilidad de una persona a diferentes lugares, el área de servicio de un equipamiento, entre otros fenómenos. Además, permite, con un análisis un poco más complejo, revelar el nivel de eficiencia del sistema de transporte público de una ciudad, o explorar las inequidades espaciales en el acceso a las oportunidades urbanas.

La importancia de una isócrona contrasta con el método tradicional simplificado de estimar el área de influencia de un equipamiento a través de un "buffer", es decir de un área con un radio determinado. Sin embargo, este buffer es poco realista, pues las personas se desplazan en un entorno físico con calles, aceras, barreras y puentes que facilitan o dificultan el desplazamiento. Por otro lado, la distancia como una medida del área de influencia suele ser insuficiente, pues según el medio de transporte, la misma distancia puede ser recorrida en diferentes tiempos.

En este tutorial se utiliza QGIS y *OpenTripPlanner* (OTP) para el cálculo de isócronas. *OpenTripPlanner* es una plataforma de *software* libre para el análisis de movilidad multimodal en una red vial. LactaLAB cuenta con una instancia de *OpenTripPlanner* configurada para Cuenca, que contiene todos los datos de los sistemas de transporte de la ciudad: red vial, sistema de transporte público, sistema de bicicleta compartida, etc.

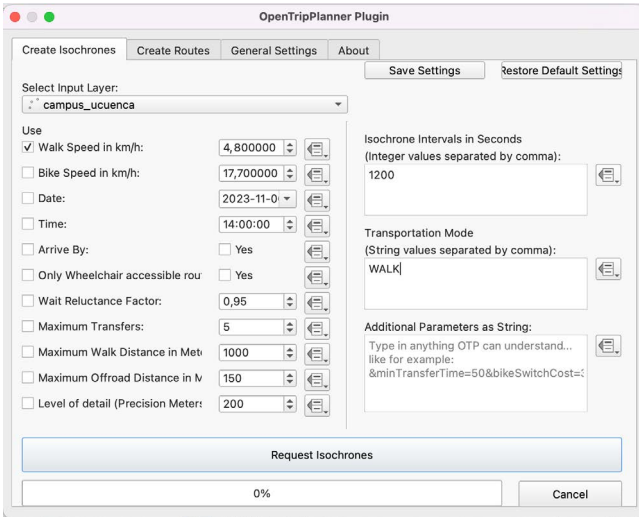
Para saber más de *OpenTripPlanner*: <https://docs.opentripplanner.org/>

Para visitar el analista online de isócronas de LactaLAB: <https://lactalab.ucuenca.edu.ec/ruteador/>

Calcular isócronas a pie

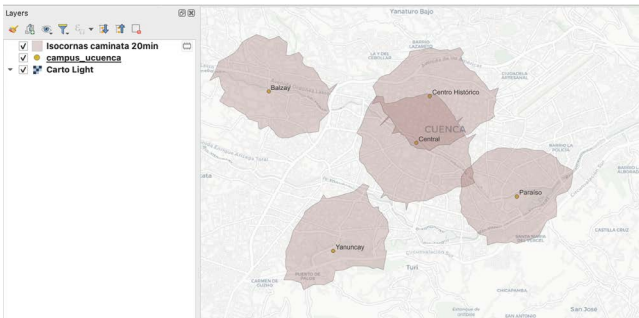
En este ejercicio, determinaremos el área accesible a pie en 30 minutos desde las puertas de los campus de la Universidad de Cuenca.

1. Abrir el proyecto **Isocronas.qgz**, o cargar en un nuevo proyecto un mapa base y la capa de datos **campus_ucuenca**, que se encuentra en el archivo **isocronas.gpkg**.
2. Clic en el **ícono OTP** de la barra de herramientas de *plugins* en QGIS.
3. En la ventana de *OpenTripPlanner*, seleccionar la pestaña **Create Isochrones**.
4. Seleccionar como capa de origen **campus_ucuenca**.
5. En **Isochrone interval in seconds**, colocar **1200** para calcular isócronas de 20 minutos.
6. En **Transportation Mode**, escribir **WALK** para indicar a OTP que se calculará isócronas para caminata.
7. Dejar el resto de parámetros tal como están y hacer clic en **Request isochrones**.



115

8. OTP creará una nueva capa con una isócrona para cada punto de origen. Cambiar la transparencia de la capa para facilitar la visualización y renombrar la capa como **Isocronas caminata 20 min.**

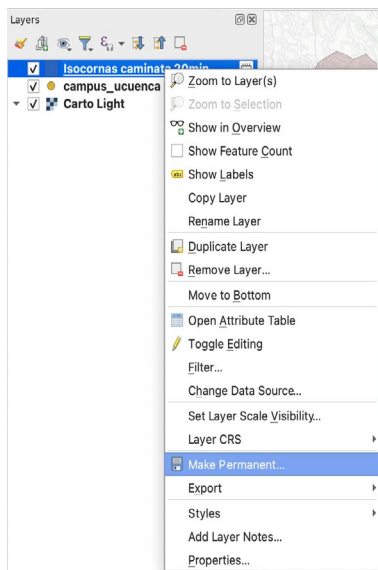


Interpretar los resultados

Observe las formas de las isócronas generadas. Cada polígono representa el área a la cual se puede acceder desde la puerta de cada campus. Observará que cada isócrona tiene un tamaño y forma diferente, dependiendo de las características de la red vial y la topografía. Intente responder las siguientes preguntas:

- ¿Por qué la isócrona del campus Yanuncay tiene una forma aplanada hacia el sur?
- ¿Qué implica la superposición de las isócronas de los campus Central y Centro Histórico?

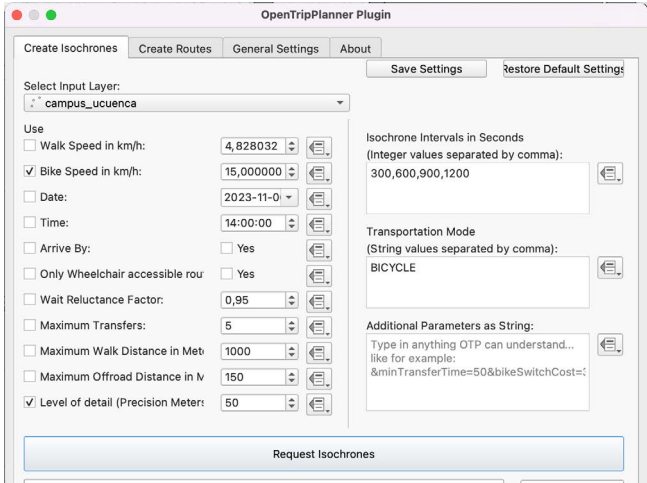
La capa creada de isócronas es temporal y se perderá si cierra el proyecto. Si desea guardar la capa en un archivo, haga clic derecho en la capa y seleccione **Make Permanent** y guarde el archivo.



Calcular isócronas en bicicleta

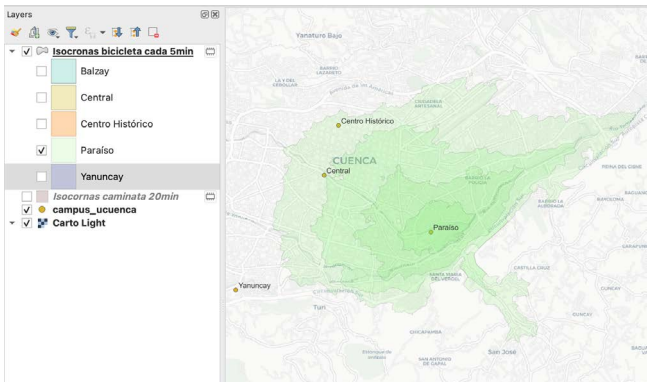
Ahora, replicamos el cálculo de isócronas para viajes en bicicleta y cambiaremos algunos parámetros:

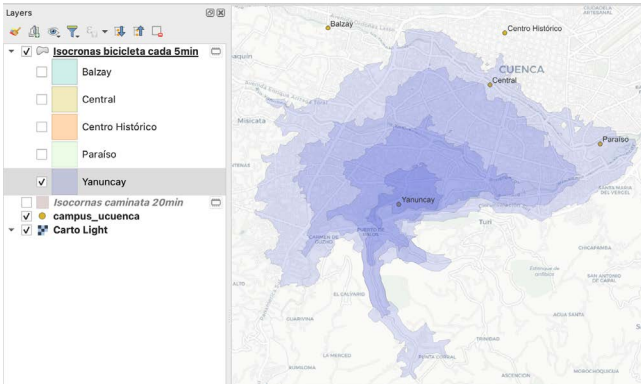
1. Volver a abrir la ventana de *OpenTripPlanner* con el **botón OTP** de la barra de herramientas. Si ve un mensaje de error, es posible que la ventana de OTP esté abierta detrás de la ventana principal de QGIS.
2. En la pestaña **Create Isochrones**, cambiar los siguientes parámetros. Asegurarse de marcar el cuadro de verificación para aplicar los parámetros.
 - **Bike speed in km/h: 15**. Esto indicará que la velocidad promedio de las bicicletas es de 15 km/h. OTP modificará en cada segmento de vía la velocidad promedio, según varios parámetros: tipo de vía, tipo de superficie, topografía, entre otros.
 - **Level of detail (Precision in meters): 50**. Esto indicará que las isócronas se generarán con mayor detalle
 - **Isochrone interval in seconds: 300,600,900,1200**. Esto creará isócronas de 5, 10, 15 y 20 minutos. Asegúrese de no dejar espacios entre las comas y los números.
 - **Transportation mode: BYCICLE**.
 - Dejar los demás parámetros como están y hacer clic en **Request Isochrones**.



118

3. Renombrar la capa generada como **“Isocronas Bicicleta cada 5min”**. Utilizar una simbología categorizada, según el atributo **campus**, aplicando transparencia al símbolo (opacidad del 15 %). Ahora, desde el panel de capas podrá mostrar o esconder las isócronas de cada campus.





Interpretar los resultados

Explore las isócronas de cada campus.

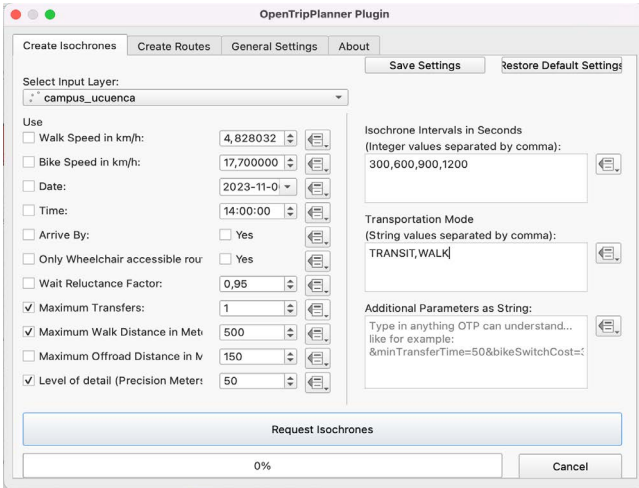
- Observe las isócronas del campus Yanuncay. Podrá ver que la isócrona más grande (20 minutos) incluye al campus Paraiso. Sin embargo, las isócronas del campus Paraiso no llegan a cubrir al campus Yanuncay. ¿Por qué? (Piense qué puede influir en la velocidad de una bicicleta)
- ¿Qué otras características pueden inferir a partir de las isócronas de cada campus?

Calcular isócronas en transporte público

El cálculo de isócronas en transporte público tiene algunas particularidades. Por un lado, el usuario partirá desde su origen a pie hasta la parada de bus más cercana. Allí tendrá que esperar hasta que llegue el bus o tranvía en el que viajará durante un tiempo determinado para bajarse en la parada más cercana a su destino y continuar la última parte del trayecto a pie. Adicionalmente, podría ser que el usuario deba hacer un transbordo a otra línea. *OpenTripPlanner* calculará las isócronas, tomando en

cuenta todos estos factores, por lo que se deben configurar varios parámetros adicionales.

1. Volver a abrir la ventana de *OpenTripPlanner* con el **botón OTP** de la barra de herramientas. Si ve un mensaje de error, es posible que la ventana de OTP esté abierta detrás de la ventana principal de QGIS.
2. En la pestaña **Create Isochrones**, cambiar los siguientes parámetros. Asegurarse de marcar el cuadro de verificación para aplicar los parámetros.
3. **Maximum transfers: 1**. Esto indicará que se puede hacer máximo un transbordo entre líneas de bus (o entre un bus y el tranvía).
4. **Level of detail (Precision in meters): 50**. Esto indicará que las isócronas se generarán con mayor detalle.
5. **Isochrone interval in seconds: 300, 600, 900, 1200**. Esto creará isócronas de 5, 10, 15 y 20 minutos. Asegúrese de no dejar espacios entre las comas y los números.
6. **Transportation mode: TRANSIT, WALK**. Es importante recordar que los viajes en transporte público implican también el inicio y el final del trayecto a pie, por esto se añade **WALK**.
7. **Maximum Walk Distance in Meters: 500**. La distancia máxima total que camina una persona desde y hacia una parada de bus.
8. Dejar los demás parámetros como están y hacer clic en **Request Isochrones**.

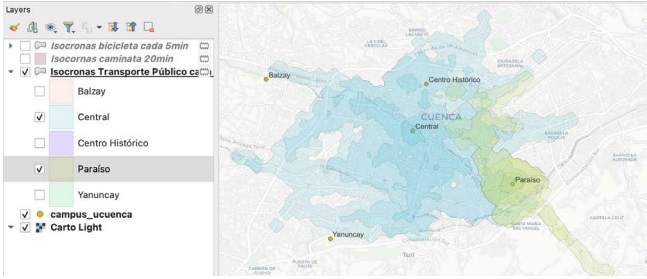


Renombrar la capa generada como **Isocronas Transporte Público cada 5min**. Utilizar una simbología categorizada según el atributo **"campus"**, aplicando transparencia al símbolo (opacidad del 15 %). Ahora desde el panel de capas, podrá mostrar o esconder las isócronas de cada campus.

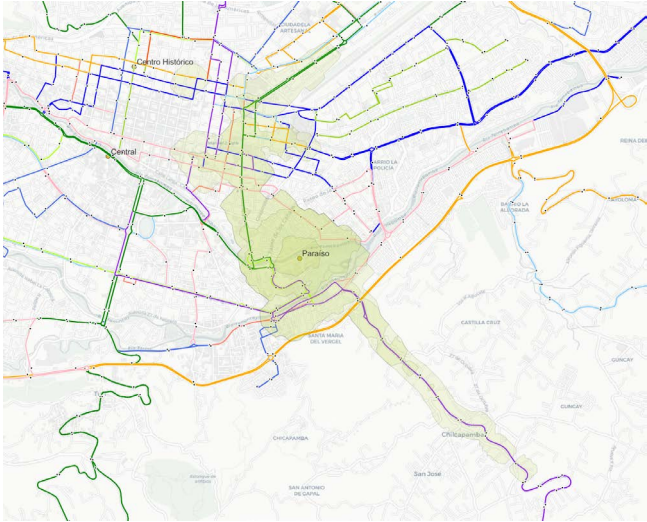
Interpretar los resultados

Explore las isócronas de cada campus.

- Compare las isócronas del campus Central con las del campus Paraíso. ¿Qué puede concluir de este análisis?
- Observe cómo en algunos casos, las isócronas forman islas separadas. ¿Es este resultado esperable? ¿Por qué?



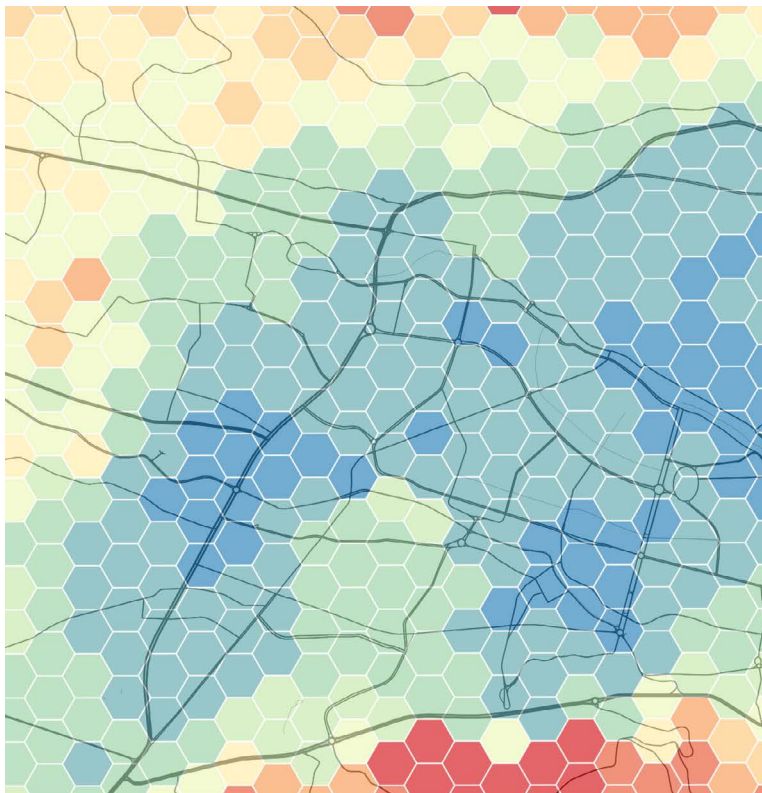
- Para facilitar la interpretación, agregue las capas de rutas y paradas de transporte público **paradas_tp** y **rutas_tp**, que se encuentran en el archivo **isocronas.gpkg**.



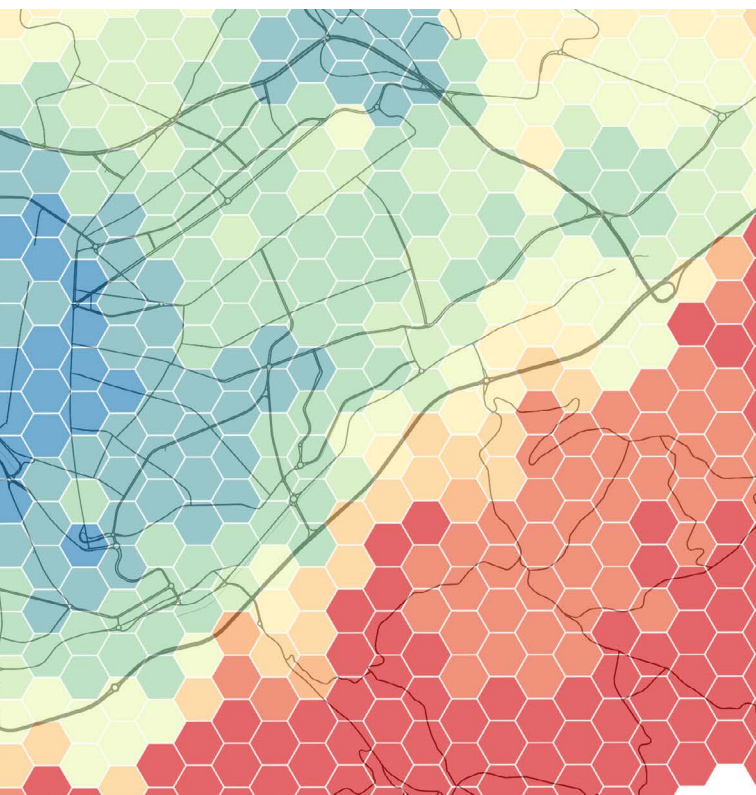
Ejercicio autónomo

A partir de lo aprendido, intente responder las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es el área a la que se puede llegar desde el campus Paraíso en vehículo particular (CAR) en 20 minutos?
- ¿Qué sucede si intento calcular isócronas en transporte público, a las 04:00 (**Time: 04:00:00**), del 13 de enero de 2023 (**Date: 2023-01-13**)? Explique el resultado.
- ¿Qué sucede si las personas caminan máximo 200 metros desde o hasta una parada de bus?



5. “Ciudad de los 15 minutos”



Resumen

En este tutorial usted aprenderá a analizar la accesibilidad a oportunidades urbanas bajo el concepto de la "ciudad de los 15 minutos".

Dificultad



Nivel
avanzado

Conocimientos necesarios

- QGIS intermedio:
 - Cargar datos, cambiar simbología,
 - Analizar la superposición de capas.
 - Juntar atributos.

Datos

- Archivo de QGIS: **ciudad_15_minutos.qgz**
- Base de datos: **ciudad_15_minutos.gpkg**

Introducción

La “ciudad de los 15 minutos” se refiere a un concepto en el cual las personas deberían poder acceder a las oportunidades urbanas básicas (abastecimiento, comercio, servicio), en no más de 15 minutos a pie desde su hogar. Para evaluar este concepto, podemos crear una isócrona a partir de un punto de interés (ver tutorial “Isócronas y áreas de influencia”) y determinar la cantidad y diversidad de equipamientos y servicios urbanos que están dentro de ella.

Siguiendo la misma lógica, es posible repetir el estudio para varios puntos en la ciudad y así tener un mapa que nos permita comprender los niveles de accesibilidad a oportunidades de toda la ciudad. Finalmente, este ejemplo de análisis evalúa escenarios futuros en los que se planifiquen cambios en el sistema de transporte o en la proyección de la vivienda y del uso del suelo.

Este tipo de investigación es muy útil para una persona que está deseando alquilar o comprar una residencia, con el objetivo de saber de antemano si tendrá equipamientos y servicios cercanos. También es utilizado por planificadores, para determinar las áreas que requieren servicios, o incluso por corredores de bienes raíces o promotores inmobiliarios que quieran incluir parámetros de movilidad sostenible y accesibilidad dentro de su modelo de negocio.

127

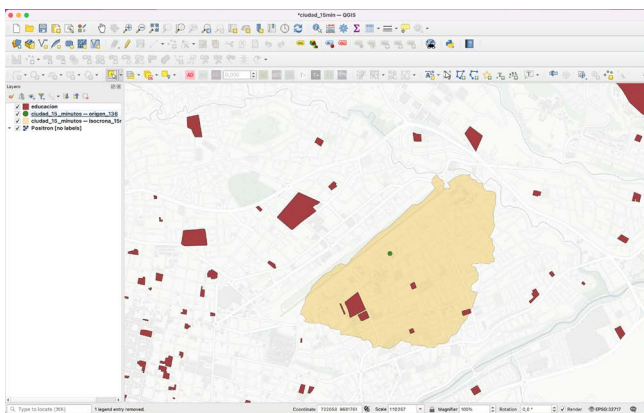
Procedimiento

En este tutorial utilizaremos isócronas calculadas previamente. Si desea generar nuevas isócronas, puede consultar el tutorial “Isócronas y áreas de servicio”.

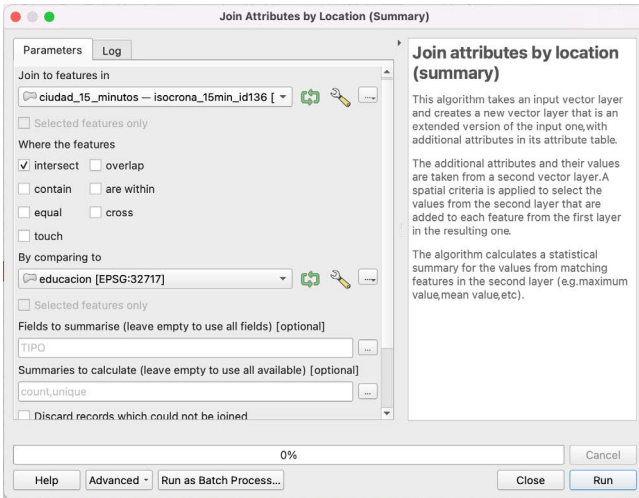
Calcular la accesibilidad a equipamientos educativos desde un origen

1. Abrir el proyecto **ciudad_15min.qgz** o cargar en un nuevo

proyecto un mapa base y las capas de datos **educacion**, **isocrona_15min_id136** y **origen_136**, que se encuentra en el archivo **ciudad_15_minutos.gpkg**. La capa **isocrona_15min_id136** representa el área accesible en 15 minutos a pie desde el punto **origen_136**.

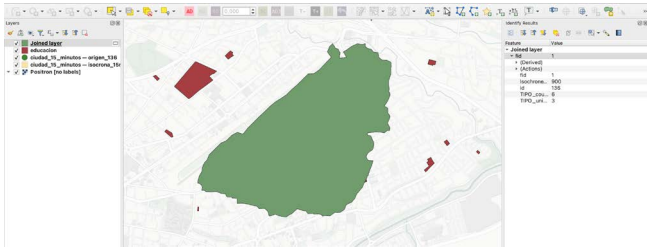


2. Para determinar el número de equipamientos educativos a 15 minutos del origen, se deberá realizar una unión de atributos por localización espacial (**summary spatial join**) de la isócrona con la capa de educación. Para esto, desde la caja de herramientas **processing toolbox**, seleccionar el comando **Vector general > Join attributes by location (summary)**.
3. En la ventana de la herramienta, en **Join features in**, seleccionar la capa **isocrona_15min_id136**; en **Where the features**, seleccionar **Intersect**; y, en **By comparing to**, seleccionar **educacion**. Hacer clic en el icono [...] de **Fields to summarise** y marcar el atributo **tipo**. Hacer clic en el icono [...] de **Summaries to calculate** y seleccionar **Count** y **unique**. Ejecutar el comando con el botón **Run**.



4. Como resultado, se creará una nueva capa **Joined layer** con la geometría de la isócrona, y dos nuevos atributos en los que contará el número de equipamientos educativos dentro de la isócrona y el número de diferentes tipos de equipamientos (Ej.: primaria, bachillerato, universidad, etc.).

5. Explorar los atributos de la capa resultante y comprobar que a 15 minutos del origen existen seis equipamientos educativos (**TIPO_count=6**) de tres tipos distintos (**TIPO_unique=3**).



Practicar

Cargue la capa recreación desde el archivo **ciudad_15_minutos_datos.gpkg** y repita el procedimiento para determinar cuántos equipamientos educativos hay en total y de cuántos subtipos hay a 15 minutos del mismo origen.

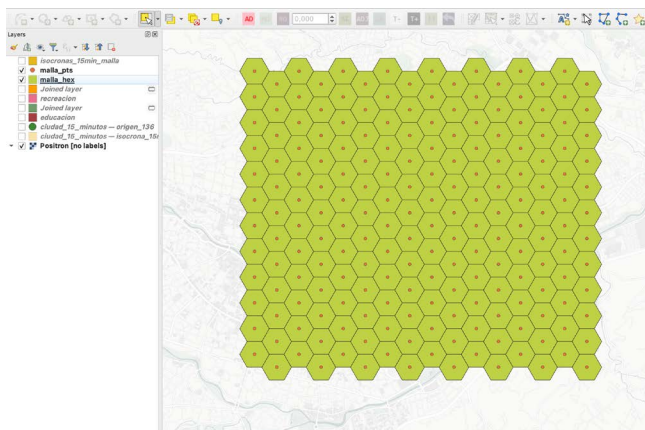
Mapa de accesibilidad

Un mapa de accesibilidad a oportunidades indica el número de equipamientos accesibles, para cada lugar en el área de estudio. Permite tener una visión global de la ciudad y así comparar los niveles de accesibilidad en el espacio. Para esto, se debe repetir el cálculo anterior para una serie de orígenes y, luego, representarlos en el mapa.

Para el ejercicio, utilizaremos como orígenes los centroides de una malla hexagonal de 300 m de diámetro, que cubren una parte de la ciudad.

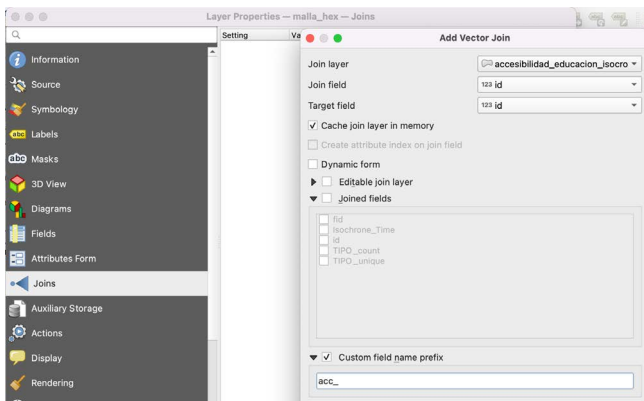
1. Cargar las capas **malla_hex**, **malla_pts** desde el archivo **ciudad_15_minutos.gpkg**, que representan los lugares de origen para el análisis.
2. Cargar la capa **isocronas_15min_malla**, que contiene las isócronas de 15 minutos a pie desde cada uno de los orígenes. Ya que esta capa tiene muchísimas geometrías, no será útil para visualizar y servirá solamente para el análisis. Revisar los atributos de las capas y comprobar

que hay un atributo identificador **id**, que luego permitirá juntar los datos.

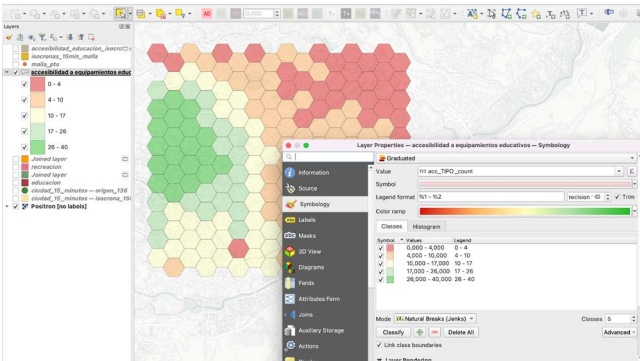


3. Repetir el análisis anterior con la herramienta **Join attributes by location (summary)** para analizar el número total y los distintos tipos de equipamientos educativos accesibles, desde cada origen. Para esto, utilizará la capa **isocronas_15min_malla** como origen, y la capa **educación**, como capa de comparación. Contabilizar el número total de elementos y el número de elementos distintos, según el atributo **SUB_TIPO**. Renombrar la capa resultante como **accesibilidad_educacion_isocronas** y revisar la tabla de atributos. Notar que para aquellas isocronas que no contienen equipamientos, el valor mostrado será **NULL**. Modificar este valor y reemplazarlo por **0** (cero) antes de continuar.
4. Juntar los atributos de la capa resultante a la capa de la malla hexagonal para una adecuada representación espacial. Para esto, hacer clic derecho en la capa **malla_hex** y seleccionar **Properties > Joins**. Hacer clic en el símbolo

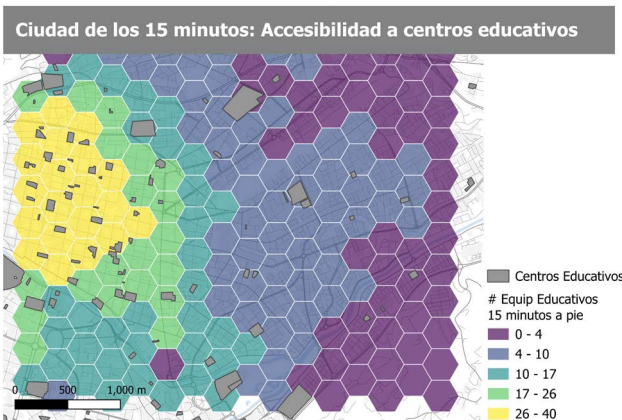
+ para agregar una nueva unión de tablas. En la ventana que se abre, seleccionar en **Join Layer** **accesibilidad_educacion_isocronas**, en **Join field** seleccionar **id** y en **Target field**, también **id**. Para facilitar la identificación de los atributos, en **Custom field name prefix** escribir **acc_**. Abrir la tabla de atributos de la capa **ma-lla_hex** para comprobar los resultados.



5. Renombrar la capa como **Accesibilidad a equipamientos educativos**. Modificar la simbología para representar el atributo **TIPO_Count** con valores graduados, utilizando el modo **Natural Breaks**.



- Duplicar la capa resultante haciendo clic derecho sobre la capa y seleccionando **duplicate layer**. Cambiar la simbología de la nueva capa para representar el número de diferentes tipos de establecimientos accesibles.
- Preparar mapas para presentar los resultados.



Interpretar los resultados

Observe los resultados y responda las siguientes preguntas:

- ¿Qué zonas de la ciudad tienen mayor accesibilidad a equipamientos educativos?
- ¿En qué zonas se pueden acceder a al menos cuatro tipos distintos de equipamientos?
- ¿Cuál de los dos indicadores considera más adecuado para determinar si una zona está bien servida?

Ejercicio autónomo

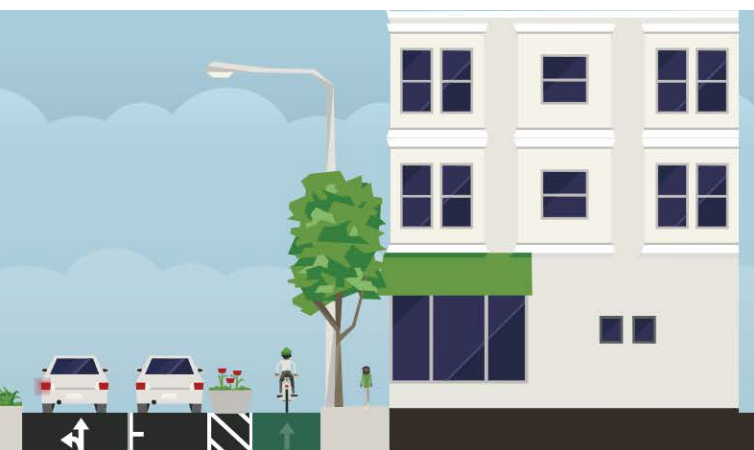
En el archivo de datos encontrará capas relacionadas con otros tipos de oportunidades urbanas (administración, aprovisionamiento, bienestar social, etc.).

A partir de lo aprendido, analice la accesibilidad a esos equipamientos e intente responder las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son las zonas de menor accesibilidad en el área de estudio?
- ¿Qué conclusiones puede mencionar en el contexto de la "ciudad de los 15 minutos"?
- ¿Qué cree que sucede en las zonas con poca accesibilidad en términos de movilidad?
- ¿Qué recomendaciones de política pública podría emitir, a partir de los resultados?



6. Rediseño de calles con *StreetMix*



Resumen

En este tutorial usted aprenderá a utilizar *StreetMix* para explorar las posibilidades de rediseño de una calle.

Dificultad



Nivel
básico

Conceptos relacionados

- Calles completas, pacificación, espacio público, movilidad activa.

Prerrequisitos

- Familiaridad con Google Maps.

Datos

- Ninguno.

Introducción

Los nuevos principios de diseño urbano buscan reparar los errores de las calles mal diseñadas durante las últimas décadas, donde se privilegiaba la circulación del auto particular, sobre todos los otros usos que podía tener.

StreetMix es una plataforma en línea y de código abierto, que permite a los usuarios crear representaciones visuales de calles y sus diversos componentes. Es una herramienta interactiva y fácil de usar, ofrece una manera intuitiva para planificar y visualizar cambios en la infraestructura de la calle, manipulando diferentes elementos, como carriles para bicicletas, aceras, carriles para autos, zonas verdes, etc.

Este tipo de plataforma es útil para profesionales de la planificación urbana, pero también puede ser utilizada por cualquier persona interesada en el diseño de espacios en la ciudad. A menudo, se utiliza para demostrar visualmente cómo se verían las modificaciones propuestas, como la adición de carriles para bicicletas o la ampliación de las aceras. También es una herramienta valiosa para la educación y la seguridad vial, ya que puede ayudar a visualizar y comprender cómo el diseño de las calles impacta su uso y accesibilidad.

Para saber más de *StreetMix*, puede consultar el siguiente enlace: <https://about.streetmix.net/es/>

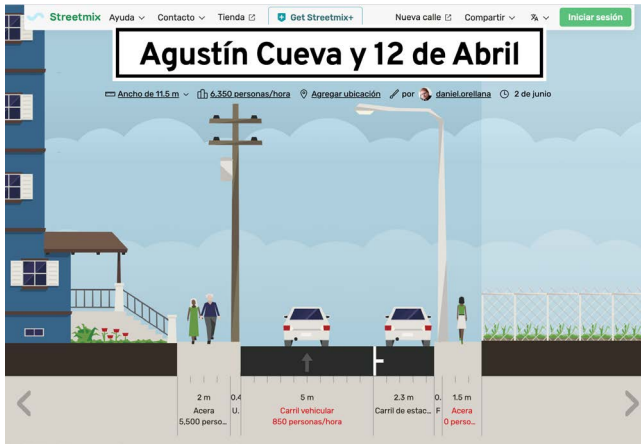
Procedimientos

Modificar una calle con *StreetMix*

En este primer ejercicio, usted modificará un esquema creado previamente de la calle Agustín Cueva (Cuenca). Como referencia, puede ver la escena de Google *StreetView* a continuación:



1. Abrir un navegador de internet e introducir la siguiente dirección: <https://streetmix.net/daniel.orellana/3/agustin-cueva-y-12-de-abril>. La plataforma de *StreetMix* le presentará un esquema en sección del segmento de calle. Incluye varios datos, como el ancho total medido entre las líneas de fábrica a ambos lados de la calle (**11,5 m**), la ubicación y la capacidad total teórica de la calle (número total de personas por hora que podrían circular en todos los medios), en este caso es **6 350 personas/hora**. Bajo cada elemento de la calle se muestran sus medidas. Los textos en rojo indican que las medidas del elemento están fuera de los rangos recomendados. Puede ver que, tanto el carril vehicular como la acera, tienen valores que no son adecuados.



2. En la parte superior, bajo el título, hacer clic en el valor de **estadísticas** de la calle. Se abrirá un cuadro de estadísticas detallando cómo se han calculado estos valores y las fuentes de referencia. Los valores por defecto suelen ser sobreestimados, pero sirven para hacer comparaciones relativas.
3. Al pasar el *mouse* sobre el elemento, aparecerá un mensaje indicando su tipo, las dimensiones y botones para cambiarlos. Intentar modificar el ancho del carril vehicular para que tenga un valor dentro del rango recomendado, por ejemplo, 3 metros. Este valor es suficiente, tanto para vehículos particulares como para camiones, y otros vehículos de servicio y logística.
4. Observar que el texto inferior deja de estar en rojo. Además, ahora hay espacios no utilizados a cada lado de la calle.
5. Redimensionar la acera derecha para llevarla a un valor adecuado. Al ser el acceso a un gran equipamiento (Univer-

sidad de Cuenca y Teatro Carlos Cueva), requerirá de una acera ancha, por ejemplo, de 3 metros.

6. Observar que aún quedan 50 cm sin utilizar. Elegir un árbol de la barra inferior de elementos y colocarlo al lado del poste.
7. Ahora que ha cambiado la distribución de espacios de la calle, revisar nuevamente las estadísticas de su capacidad. Podrá ver que casi se ha duplicado a **11 850 personas/hora**, ya que ha aumentado la cantidad de gente que puede caminar por las aceras. Además, es importante notar que el volumen vehicular no ha disminuido.



8. Explorar libremente otros posibles cambios a la calle. Determinar, por ejemplo, si es posible incluir una ciclovía, o reemplazar el carril de estacionamiento por *parklets*, puestos ambulantes o mobiliario urbano. Recordar que es un ejer-

cicio de exploración y creatividad que permite explorar las posibilidades del espacio público.

9. Cuando termine su ejercicio, puede distribuir su creación haciendo clic en el botón **Compartir**, en la parte superior izquierda. Se abrirá un menú con una *URL* y con botones para compartir directamente en redes sociales.
10. Puede crear una cuenta personal para activar algunas de las funciones y guardar sus propias calles.

Rediseñar una calle a elección

En este ejercicio podrá crear un esquema de cualquier calle para rediseñarla en StreetMix. Para ello, debe haber creado una cuenta e iniciado sesión con StreetMix.

1. Hacer clic en el botón **Nueva calle**, en la parte superior derecha. Escoger la opción **Comienza con una calle vacía** y cerrar la ventana blanca.
2. Hacer clic en **Agregar ubicación** para abrir un mapa del mundo. Buscar la calle en la que va a trabajar, hacer clic y seleccionar **Confirmar ubicación**.

Idealmente, debería disponer de las medidas actuales de la calle que va a rediseñar. Si no las tiene, puede utilizar Google Maps para tener una estimación aproximada, en los siguientes pasos:

3. En una nueva ventana del navegador, abrir Google Maps y buscar nuevamente la misma ubicación. Una vez que lo haya hecho, cambie la vista del mapa a modo **satélite** en el menú **Capas** de la parte inferior izquierda.

4. Aumentar el *zoom* todo lo posible hasta que pueda distinguir los límites de la calle y aceras.
5. Hacer clic con el botón derecho del *mouse* en el punto donde terminan las edificaciones o cerramientos, y comienza la acera. En el menú que se abre, seleccionar **Medir distancia**.
6. Hacer clic derecho en el lado opuesto de la calle, así mismo, en el punto donde acaba la acera y comienzan las edificaciones. En el menú desplegable, seleccionar **Distancia hasta aquí**.



7. Si quiere mejorar las estimaciones, debe repetir el proceso en varios puntos del mismo segmento de calle, y utilizar el valor promedio.
8. Tomar nota de la distancia, regresar a *StreetMix* y colocar ese valor en **Ancho**. Recordar que estas medidas son aproximadas.

9. Cambiar el nombre de la calle haciendo clic en **Calle sin Nombre**. Se recomienda colocar la calle y la intersección, por ejemplo, Honorato Vázquez y Tomás Ordóñez.
10. Agregar los diferentes elementos en la calle apoyándose en las imágenes de Google StreetView. Si no conoce las medidas, utilice su mejor criterio. También puede guiarse utilizando la función Street View en Google Maps. Como referencia, el ancho promedio de un vehículo urbano es de 1,8 m.
11. En algunas ciudades, los gobiernos locales u otras instituciones cuentan con cartografía a gran escala o imágenes aéreas de alta resolución, que también puede utilizar para estimar las medidas. Por ejemplo, en el caso de Cuenca, el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) municipal tiene un geovisualizador donde puede seleccionar diferentes capas de datos. La dirección es <http://ide.cuenca.gob.ec/geoportal-web/viewer.jsf?map=1>. En todo caso, la mejor forma de tener información precisa es tomando medidas directamente en campo.
12. Una vez colocados todos los elementos que representan el estado actual de la calle, realizar una copia de la calle haciendo clic en **Nueva calle** y seleccionar **Comienza con una copia de la última calle**.
13. Proponer distintos planes de rediseño de la calle, por ejemplo, "calle pacificada", "calle peatonal", "calle completa", etc.

En esta sección se proveen algunas definiciones operativas y resumidas de varios términos y conceptos relacionados con la movilidad sostenible.

Accesibilidad: conjunto de condiciones personales, sociales y del entorno que permiten a las personas negociar el tiempo y el espacio para cumplir con sus actividades cotidianas, mantener relaciones y generar los lugares que necesitan para participar en sociedad.

Auto compartido (carsharing): un sistema en el que un mismo auto es utilizado por diferentes usuarios en momentos diferentes (ver **Movilidad compartida**).

Bicicleta compartida (bike sharing): un sistema de movilidad en el que los usuarios toman una bicicleta en un punto de origen y la dejan en un punto de destino (ver **Movilidad compartida**).

“Ciudad de los 15 minutos”: concepto de planificación urbana que propone que todos los servicios esenciales (trabajo, educación, salud, compras, recreación) estén accesibles a una distancia que permita ser recorrida en 15 minutos, caminando o en bicicleta.

Desarrollo Orientado al Transporte (DOT): estrategia de planificación urbana que organiza el desarrollo alrededor de nodos de transporte público para maximizar el acceso y reducir la dependencia del automóvil.

Electromovilidad (Movilidad eléctrica): sistema de transporte basado en motores alimentados por energía eléctrica. Pueden incluir autos y buses eléctricos, motocicletas eléctricas, tranvía, trenes, etc. El beneficio principal de la electromovilidad es la reducción local de la contaminación del aire, pero por sí misma no resuelve otros problemas derivados del exceso de vehículos particulares.

Inmovilidad: concepto relacionado con la falta de acceso a los medios de movilidad, que puede deberse a restricciones físicas, económicas o sociales, afectando la capacidad de las personas para desplazarse.

Isócrona: área que delimita la superficie a la cual se puede llegar en un tiempo determinado. El cálculo de isócronas permite revelar, entre otras cosas, el área de influencia de un negocio, la accesibilidad de una persona a diferentes lugares, el área de servicio de un equipamiento, entre otros fenómenos. Además, permite, con análisis adicionales, revelar el nivel de eficiencia del sistema de transporte público de una ciudad, o explorar las inequidades espaciales en el acceso a las oportunidades urbanas.

Movilidad activa: movilidad basada en la energía física de la persona que se desplaza, proporcionando beneficios en la salud, economía y medioambiente. Ejemplos de modos activos incluyen caminata, bicicleta, silla de ruedas, patinetas, entre otros.

Movilidad como servicio: un servicio de movilidad flexible, integrado y orientado al usuario, generalmente desarrollado a través de plataformas digitales que combina proveedores de transporte públicos y privados. La movilidad como servicio se centra en ofrecer al usuario las mejores alternativas para llegar a un destino en diferentes modos de transporte.

Movilidad compartida: modelo de transporte que promueve el uso compartido de vehículos, como autos, bicicletas o *scooters*, para reducir la necesidad de vehículos privados y optimizar el uso del espacio urbano. Estos sistemas pueden ser “flotantes”, en el caso que los usuarios pueden tomar y dejar el vehículo en cualquier lugar dentro de un área determinada, o “estacionarios”, cuando el vehículo debe ser recogido y dejado en una estación designada.

Movilidad urbana sostenible: un paradigma que integra aspectos de transporte, urbanos, sociales, ambientales y económicos para lograr un acceso adecuado de las personas a los lugares de empleo, abastecimiento, servicio,

recreación y otras oportunidades urbanas, de forma segura, asequible y eficiente.

Micromovilidad: movilidad en pequeños vehículos personales, impulsados por energía personal o motor eléctrico, que no superen los 30 kg de peso y con una velocidad máxima de 30 km/h. La micromovilidad incluye bicicletas, bicicletas eléctricas, patinetas, monopatines eléctricos, *scooters*, etc.

Oportunidades urbanas: lugares donde se encuentran los equipamientos, servicios y facilidades que ofrece la ciudad para que las personas desarrollen su vida cotidiana. Incluye los lugares de trabajo, los establecimientos de educación, salud y otros servicios públicos, los lugares de esparcimiento y recreación como parques, plazas, canchas, o cines, los lugares de abastecimiento como tiendas, mercados, supermercados, boutiques y otros almacenes, entre otros.

Pirámide invertida de movilidad: jerarquización de los modos de transporte que prioriza primero a los peatones, luego a otras formas de movilidad activa y al transporte público, al transporte de logística y, finalmente, al automóvil particular.

Proximidad: característica de la planificación urbana que busca reducir la necesidad de desplazamientos largos al promover la cercanía entre las áreas residenciales y los servicios básicos.

Supermanzanas: estrategia de rediseño urbano donde varias cuadras se integran para reducir el tráfico motorizado y fomentan la movilidad activa y el uso del espacio público al interior del lugar de intervención.

Viaje compartido (*car pooling*): un modelo en el cual un vehículo es aprovechado para el trayecto de dos o más personas. Los sistemas de viajes compartidos generalmente implican el uso de aplicaciones móviles para ofrecer y reservar plazas en un viaje compartido.

Vehículos Motorizados de Movilidad Personal (VMP): pequeños vehículos motorizados como *scooters* eléctricos y patinetes que se utilizan para el transporte personal y no superan una velocidad máxima establecida.

Referencias

- Abberley, P. (2008). El concepto de opresión y el desarrollo de una teoría social de la discapacidad. En L. Barton (Ed.), *Superar las barreras de la discapacidad: 18 años de "Disability and society"* (pp. 34–50). Morata. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3111678>
- Ackrill, R., & Zhang, M. (2021). Sustainable Mobility – Editorial Introduction. *Sustainable Mobility*, 1(1), 1–6. <https://doi.org/10.2478/susmo-2020-0001>
- Acquisti, A., Gross, R., & Stutzman, F. (2014). Face Recognition and Privacy in the Age of Augmented Reality. *Journal of Privacy and Confidentiality*, 6(2), 1–20.
- Alfonzo, M., Boarnet, M. G., Day, K., Mcmillan, T., & Anderson, C. L. (2006). *The Relationship of Neighborhood Built Environment Features and Walking* (p. 28). <http://escholarship.org/uc/item/8fh1x4h3>
- Allué, M. (2003). *Discapacitados: la reivindicación de la igualdad en la diferencia*. Edicions Bellaterra. <https://play.google.com/store/books/details?id=hEXQAAAACAAJ>
- Banister, D. (2008). The sustainable mobility paradigm. *Transport Policy*, 15(2), 73–80. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2007.10.005>
- Barton, L. (Ed.). (2008). *Superar las barreras de la discapacidad*. Ediciones Morata. <https://play.google.com/store/books/details?id=CZpyAgAAQBAJ>
- Buehler, R., & Pucher, J. (2012). Cycling to work in 90 large American cities: New evidence on the role of bike paths and lanes. *Transportation*, 39(2), 409–432. <https://doi.org/10.1007/s11116-011-9355-8>
- Burgess, E. W. (2008). The Growth of the City: An Introduction to Research Project. In J. M. Marzluff, E. Shulenberg, W. Endlicher, M. Alberti, G. Bradley, C. Ryan, U. Simon, & C. ZumBrunnen (Eds.), *Urban Ecology: An International Perspective on the Interaction Between Hu-*

- mans and Nature* (pp. 71–78). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-0-387-73412-5_5
- Camagni, R., Gibelli, M. C., & Rigamonti, P. (2002). Urban mobility and urban form: the social and environmental costs of different patterns of urban expansion. *Ecological Economics: The Journal of the International Society for Ecological Economics*, 40(2), 199–216. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(01\)00254-3](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(01)00254-3)
- Cervero, R. B. (2013). Linking urban transport and land use in developing countries. *Journal of Transport and Land Use*, 6(1), 7–24. <https://doi.org/10.5198/jtlu.v6i1.425>
- Cervero, R., Sarmiento, O. L., Jacoby, E., Gomez, L. F., & Neiman, A. (2009). Influences of Built Environments on Walking and Cycling: Lessons from Bogotá. *International Journal of Sustainable Transportation*, 3(4), 203–226. <https://doi.org/10.1080/15568310802178314>
- Cooper, C. H. V. (2017). Using spatial network analysis to model pedal cycle flows, risk and mode choice. *Journal of Transport Geography*, 58, 157–165. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2016.12.003>
- Currie, G. (2018). Lies, Damned Lies, AVs, Shared Mobility, and Urban Transit Futures. *Journal of Public Transportation*, 21(1), 3. <https://digitalcommons.usf.edu/jpt/vol21/iss1/3/>
- Deville, P., Linard, C., Martin, S., Gilbert, M., Stevens, F. R., Gaughan, A. E., Blondel, V. D., & Tatem, A. J. (2014). Dynamic population mapping using mobile phone data. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(45), 15888–15893. <https://doi.org/10.1073/pnas.1408439111>
- Enoch, M. P. (2015). How a rapid modal convergence into a universal automated taxi service could be the future for local passenger transport. *Technology Analysis & Strategic Management*, 27(8), 910–924. <https://doi.org/10.1080/09537325.2015.1024646>
- Gehl, J. (2014). *Ciudades para la gente*. Infinito.
- Giannotti, F., & Pedreschi, D. (2008). *Mobility, Data Mining and Privacy: Geographic Knowledge Discovery*. Springer

- Publishing Company, Incorporated. <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1355342>
- Gray, D. B., Gould, M., & Bickenbach, J. E. (2003). Environmental Barriers and Disability. *Journal of Architectural and Planning Research*, 20(1), 29–37. <http://www.jstor.org/stable/43030640>
- Griffin, G. P., & Jiao, J. (2015). Where does Bicycling for Health Happen? Analysing Volunteered Geographic Information through Place and Plexus. *Journal of Transport & Health*. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2014.12.001>
- Guirao, B., & Orellana, D. (2021). New trends in urban mobility. In *Sustainable Urban Development* (pp. 4–1 to 4–17). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/978-0-7503-3971-1ch4>
- Heikkilä, S. (2014). *Mobility as a service - A proposal for action for the public administration, case Helsinki*. <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/13133>
- Hensher, D. A., Mulley, C., Ho, C., Smith, G., Wong, Y., & Nelson, J. D. (2020). *Understanding Mobility As a Service (MaaS): Past, Present and Future*. Elsevier. <https://play.google.com/store/books/details?id=vsjhDwAAQBAJ>
- Hermida, C., Cordero, M., & Orellana, D. (2019). Analysis of the influence of urban built environment on pedestrian flow in an intermediate-sized city in the Andes of Ecuador. *International Journal of Sustainable Transportation*, 13(10), 777–787. <https://doi.org/10.1080/15568318.2018.1514445>
- Hillier, B. (2007). *Space is the machine* (p. 368). Space Syntax Ltd.
- Holden, E., Banister, D., Gössling, S., Gilpin, G., & Linnerud, K. (2020). Grand Narratives for sustainable mobility: A conceptual review. *Energy Research & Social Science*, 65, 101454. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101454>
- Ibrahim, M. R., Haworth, J., & Cheng, T. (2020). Understanding cities with machine eyes: A review of deep computer vision in urban analytics. *Cities*, 96, 102481. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.102481>

- Jirón, P., & Mansilla, P. (2013). Hacia una re-conceptualización teórico-metodológica de la accesibilidad para comprender la exclusión social urbana en Santiago de Chile. *Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte*, 16. <https://congresotransporte.uchile.cl/index.php/CIT/article/view/28411>
- Martens, K. (2016). *Transport Justice: Designing fair transportation systems*. Routledge. <https://play.google.com/store/books/details?id=m0yTDAAAQBAJ>
- Mazurik, K., Desjardins, M., de Grosbois, È., Poldma, T., & Gelech, J. (2014). Individual stakes and collective ideology in tension: Looking at physical and spatial obstacles from an experiential perspective. *Das Altertum*, 8(3), 194–205. <https://doi.org/10.1016/j.alter.2014.02.008>
- Meeder, M., Aebi, T., & Weidmann, U. (2017). The influence of slope on walking activity and the pedestrian modal share. *Transportation Research Procedia*, 27, 141–147. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.12.095>
- Mehta, V. (2008). Walkable streets: pedestrian behavior, perceptions and attitudes. *Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability*, 1(3), 217–245. <https://doi.org/10.1080/17549170802529480>
- Miralles-Guasch, C. (2011). Dinámicas metropolitanas y tiempos de la movilidad. La región metropolitana de Barcelona, como ejemplo. *Anales de Geografía de La Universidad Complutense*, 31(1), 125–145. <https://doi.org/10.5209/rev-AGUC.2011.v31.n1.6>
- Moreno, C., Allam, Z., Chabaud, D., Gall, C., & Pratlong, F. (2021). Introducing the “15-Minute City”: Sustainability, Resilience and Place Identity in Future Post-Pandemic Cities. *Smart Cities*, 4(1), 93–111. <https://doi.org/10.3390/smartcities4010006>
- Newman, P., & Kenworthy, J. (2021). Gasoline consumption and cities revisited: What have we learnt? *Current Urban Studies*, 09(03), 532–553. <https://doi.org/10.4236/cus.2021.93032>
- Ochoa, S. A., & Gutiérrez, M. Á. M. (2018). La seguridad vial y los puentes (anti)peatonales en México y América Lati-

- na. *Antropología. Revista interdisciplinaria del INAH*, 4, 32–42. <https://revistas.inah.gob.mx/index.php/antropologia/article/view/14870>
- Office for Official Publications of the European Communities. (1992). *Green Paper on the Impact of Transport on the Environment*. Office for Official Publications of the European Communities. <https://play.google.com/store/books/details?id=WsdJwgEACAAJ>
- Orellana, D. (2011). Dime cómo te mueves y te diré quién eres: La movilidad como huella del comportamiento espacial de las personas. En J. R. Vaquero (Ed.), *Movilidad, retos y oportunidades para los profesionales de la Información y Comunicación* (pp. 32–45). Fundación Ciencias de la Documentación. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5191.6645>
- Orellana, D. (2012). *Exploring pedestrian movement patterns* (p. 140). Wageningen University. <http://edepot.wur.nl/206471>
- Orellana, D. (2016). Métodos para el análisis de patrones de movilidad no motorizada. En B. L. E. de Alvarez Cristina (Ed.), *Comunidades Urbanas Energeticamente Eficientes* (pp. 140–148). repositorio.ufes.br. http://repositorio.ufes.br/jspui/bitstream/10/6802/1/Versao%20digital_comunidades%20urbanas%20energeticamente%20eficientes.pdf#page=140
- Orellana, D., Hermida, C., & Hermida, M.-A. (2022). ¿Cerca o lejos? Discursos y subjetividad en las relaciones entre el lugar de residencia y la movilidad. *EURE. Revista latinoamericana de estudios urbano-regionales*, 48(144). <https://doi.org/10.7764/EURE.48.144.15>
- Pangbourne, K., Mladenović, M. N., Stead, D., & Milakis, D. (2020). Questioning mobility as a service: Unanticipated implications for society and governance. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 131, 35–49. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.09.033>
- Pew Research Center. (2014). *Emerging Nations Embrace Internet, Mobile Technology* (pp. 1–43). <http://www.pewglobal.org/files/2014/02/Pew-Research-Cen->

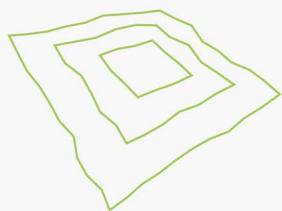
- ter-Global-Attitudes-Project-Technology-Report-FINAL-February-13-20147.pdf
- Piatkowski, D. P., & Marshall, W. (2015). Not all prospective bicyclists are created equal: The role of attitudes, socio-demographics, and the built environment in bicycle commuting. *Travel Behaviour and Society*, 2(3), 166–173. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2015.02.001>
- Prelipcean, A. C., Susilo, Y. O., & Gidófalvi, G. (2018). Collecting travel diaries: Current state of the art, best practices, and future research directions. *Transportation Research Procedia*, 32, 155–166. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.10.029>
- Pucher, J., & Buehler, R. (2008). Making Cycling Irresistible: Lessons from The Netherlands, Denmark and Germany. *Transport Reviews*, 28(4), 495–528. <https://doi.org/10.1080/01441640701806612>
- Quercia, D., Schifanella, R., & Aiello, L. M. (2014). The shortest path to happiness. *Proceedings of the 25th ACM Conference on Hypertext and Social Media - HT '14*, 116–125. <https://doi.org/10.1145/2631775.2631799>
- Rueda, S. (2019). Superblocks for the design of new cities and renovation of existing ones: Barcelona's case. In *Integrating Human Health into Urban and Transport Planning* (pp. 135–153). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-74983-9_8
- Saelens, B. E., Sallis, J. F., Black, J. B., & Chen, D. (2003). Neighborhood-based differences in physical activity: an environment scale evaluation. *American Journal of Public Health*, 93(9), 1552–1558. <https://doi.org/10.2105/AJPH.93.9.1552>
- Schipper, F., Emanuel, M., & Oldenziel, R. (2020). Sustainable urban mobility in the present, past, and future. *Technology and Culture*, 61(1), 307–317. <https://doi.org/10.1353/tech.2020.0004>
- Sheller, M., & Urry, J. (2006). Introduction: Mobile Cities, Urban Mobilities. In M. Sheller & J. Urry (Eds.), *Mobile Technologies of the City* (1st Edition). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203098882>

- Sheller, Mimi, & Urry, J. (2016). Mobilizing the new mobilities paradigm. *Applied Mobilities*, 1(1), 10–25. <https://doi.org/10.1080/23800127.2016.1151216>
- Sochor, J., Arby, H., Karlsson, I. C. M., & Sarasini, S. (2018). A topological approach to Mobility as a Service: A proposed tool for understanding requirements and effects, and for aiding the integration of societal goals. *Research in Transportation Business & Management*, 27, 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2018.12.003>
- Torres, A., Sarmiento, O. L., Stauber, C., & Zarama, R. (2013). The Ciclovía and Cicloruta Programs : Promising Interventions to Promote Physical Activity and Social Capital in Bogota. *American Journal of Public Health*, 103(2), 23–30. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2012.301142>
- UNEP. (2016). *Global Outlook on Walking and Cycling 2016*. United Nations.
- Vale, D. S., Ascensão, F., Raposo, N., & Figueiredo, A. P. (2017). Comparing access for all: disability-induced accessibility disparity in Lisbon. *Journal of Geographical Systems*, 19(1), 43–64. <https://doi.org/10.1007/s10109-016-0240-z>
- Wesolowski, A., Eagle, N., Noor, A. M., Snow, R. W., & Buckee, C. O. (2013). The impact of biases in mobile phone ownership on estimates of human mobility. *Journal of the Royal Society, Interface / the Royal Society*, 10(81), 6. <https://doi.org/10.1098/rsif.2012.0986>
- Zagorskas, J., & Burinskienė, M. (2019). Challenges Caused by Increased Use of E-Powered Personal Mobility Vehicles in European Cities. *Sustainability: Science Practice and Policy*, 12(1), 273. <https://doi.org/10.3390/su12010273>
- Zheng, Y. (2015). Trajectory Data Mining: An Overview. *ACM Trans. Intell. Syst. Technol.*, 6(3), 1–41. <https://doi.org/10.1145/2743025>

La movilidad es uno de los fenómenos más fascinantes de las ciudades, pues deja una huella indeleble en el tejido urbano. La movilidad es la huella de nuestra relación con la ciudad.

Daniel Orellana Vintimilla

ISBN 978-9978-14-575-3



UCUENCA

