



03

**UV** Universidad  
Verdad 79

# MODOS DE MOVILIDAD DE LOS NIÑOS Y NIÑAS EN EDAD ESCOLAR: EXPLORACIÓN DE LA INCIDENCIA DE FACTORES SOCIOECONÓMICOS, DE PERCEPCIÓN Y DE MESOESCALA URBANA UTILIZANDO RANDOM FOREST

*Mobility modes of school-age children: incidence exploration of socioeconomic, perception and urban mesoscale factors using Random Forest*

 **Daniela Ballari**, Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador - IERSE, Universidad del Azuay (Ecuador) (dballari@uazuay.edu.ec) (<https://orcid.org/0000-0002-6926-4827>)

 **Francisco Salgado Castillo**, Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador - IERSE, Universidad del Azuay (Ecuador) (fdsalgado@uazuay.edu.ec) (<https://orcid.org/0000-0001-7380-0701>)

 **Carla Hermida**, Facultad de Diseño, Arquitectura y Arte, Universidad del Azuay (Ecuador) (chermida@uazuay.edu.ec) (<https://orcid.org/0000-0002-1095-7215>)

 **Daniel Orellana**, LactaLAB Ciudades Sustentables, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Cuenca (Ecuador) (daniel.orellana@ucuenca.edu.ec) (<https://orcid.org/0000-0001-8945-2035>)

 **M. Augusta Hermida**, LactaLAB Ciudades Sustentables, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Cuenca (Ecuador) (augusta.hermida@ucuenca.edu.ec) (<https://orcid.org/0000-0003-1326-2723>)

## Resumen

El análisis y comprensión de la incidencia de los factores socioeconómicos, de percepción y de mesoescala urbana sobre los modos de movilidad de los niños y niñas en edad escolar es fundamental para fomentar el uso de modos más sustentables. Este estudio explora la relación entre factores socioeconómicos, de percepción y de mesoescala urbana sobre los modos de movilidad diaria de niños y niñas en edad escolar (6 a 12 años) en la ciudad intermedia de Cuenca (Ecuador, América Latina). Se utilizó la herramienta Random Forest, como método de aprendizaje automático supervisado, para clasificar los modos de movilidad en: “caminar”, “autobús” y “automóvil”, y para identificar la importancia de los factores en cada modo. Los datos se obtuvieron de una encuesta de movilidad realizada en hogares de Cuenca en el 2019. A pesar de que buseta es un modo de movilidad usual para escolares,

no pudo ser considerado en este estudio ya que no se contemplaba en la encuesta original utilizada. Los resultados mostraron que el mejor modelo para los modos de movilidad “caminar” y “autobús” fue con todos los grupos de factores (socioeconómicos, de percepción y de mesoescala urbana), mientras que para “automóvil”, como se esperaba, fue el modelo con factores socioeconómicos el más relevante. Si bien los factores más importantes fueron el número de vehículos por familia y nivel socioeconómico, también encontramos que los factores de percepción son relevantes para incentivar el caminar como un modo de movilidad cotidiana. Del mismo modo, para fomentar el uso del autobús, deben tenerse en cuenta los factores urbanos de mesoescala. Este estudio aporta datos y un enfoque metodológico para contribuir a la política pública en materia de movilidad activa en edad escolar.

### **Abstract**

Analyzing and understanding the incidence of socioeconomic, perception and urban mesoscale factors on mobility modes of school-age children is essential to motivate a more sustainable mobility. This study explores the relationship between socioeconomic, perception and urban mesoscale factors on the daily mobility modes of school-age boys and girls (6 to 12 years old) in the intermediate-sized city of Cuenca (Ecuador, Latin America). Random Forest, as a classification machine learning method, was used to classify the mobility modes into walk, bus and car, and to identify factor importance in each mode. The data were obtained from a mobility survey carried out on Cuenca households in

2019. Even if school bus is a usual mobility mode for schoolchildren, it could not be accounted in this study because it was not contained in the original survey. The results showed that the best model for walk and bus mobility modes was with all the factor groups, while for Car, as expected, was the socioeconomic model. Even if the most important factors were cars' number per family and socioeconomic level, we also found that, in order to encourage walking as the mobility mode, the perception factors are relevant. Similarly, in order to encourage bus mobility mode, the urban mesoscale factors should be accounted for. This study contributes with data and a methodological approach that could influence public policy regarding scholar-aged active mobility.

### **Palabras clave**

Modos de movilidad, niños y niñas de 6 a 12 años, factores de mesoescala urbana, Random Forest.

### **Keywords**

Mobility Modes, children 6 to 12 years old, urban mesoscale factors, Random Forest.

## **1.**

### **Introducción**

La incidencia de factores socioeconómicos y urbanos en los modos de movilidad cotidiana ha sido un tema clave en las últimas décadas. Se han encontrado relaciones entre el modo de movilidad elegido y factores como la densidad habitacional, la diversidad de usos, la conectividad (McCormack y Shiell, 2011; Wang y Zhou, 2017) y las características socioeconómicas de los hogares (Klinger et al., 2013; Liu y Shen, 2011). Algunos de estos estudios se centraron en encontrar estas relaciones en niños y niñas en edad escolar (Davison et al., 2008; McMillan, 2005; Rothman et al., 2018); y, en algunos casos, se ha verificado que los factores sociodemográficos de los padres, como el salario y la tenencia de vehículo, determinan las condiciones de los desplazamientos, por ejemplo, si la movilidad de los hijos se realiza de manera independiente o no (Rodríguez-Rodríguez et al., 2021).

Sin embargo, existe poca investigación en América Latina (Huertas-Delgado et al., 2018; Palma et al., 2020; Rodríguez-Rodríguez et al., 2021). Por lo tanto, a pesar del creciente interés sobre la movilidad cotidiana en todo el mundo, los factores que inciden en la movilidad de niños y niñas, en edad escolar, en ciudades intermedias de América Latina, son en gran parte desconocidos.

La movilidad sustentable, es decir el priorizar los desplazamientos no motorizados y el uso del transporte público, contribuye en gran medida a la sostenibilidad general de las ciudades. En esta línea, se ha demostrado que la movilidad activa tiene, además, muchos beneficios para los escolares, tales como la mejora de la condición física (McMillan, 2005), el desarrollo de habilidades para la interacción social, un mejor rendimiento en el aprendizaje y el desarrollo de la cognición espacial (Mokkink et al., 2012). Sin embargo, existe una preocupación creciente por la disminución de la actividad física de los escolares, particularmente en lo que respecta a la movilidad activa hacia y desde la escuela (Davison et al., 2008; Rothman et al., 2018). Así también, en lo que respecta al uso del transporte público, algunos autores encuentran

que existe una resistencia a su uso por parte de los padres y madres de familia, en función de la edad de los hijos, pero también de la calidad del servicio (Queiroz, 2020). Con lo cual, se podría inferir que el mejoramiento de la calidad del transporte público pudiese coadyuvar a incrementar su uso por parte de los niños y jóvenes.

En este contexto, se ha tomado el caso de Cuenca (Ecuador - América Latina), para reflexionar sobre la movilidad de niños y niñas en edad escolar. Cuenca es una ciudad andina -, de tamaño intermedio, con una población de aproximadamente 637.000. habitantes, de acuerdo con la proyección al año 2020 (Ecuador en cifras, s.f.). La ciudad ha experimentado, en las últimas décadas, un fuerte aumento del número de vehículos motorizados; con una tasa de crecimiento del parque automotor del 10% anual (Municipio de Cuenca, 2015). Esto ha sido promovido por políticas públicas tanto a nivel nacional como local, que priorizan la transportación privada motorizada, tales como como el bajo costo de la gasolina, las fuertes inversiones para el mejoramiento de vías vehiculares y facilidades de estacionamiento, entre otras.

El objetivo de este estudio es explorar la relación de los factores socioeconómicos, de percepción y de mesoescala urbana en los modos de movilidad cotidiana de niños y niñas en edad escolar (6 a 12 años) en la ciudad de Cuenca. Se utilizó un método de aprendizaje automático supervisado (Random Forest) para clasificar los modos de movilidad en “caminar”, “autobús” y “automóvil”, y para identificar la importancia de factores de tipo socioeconómico, percepción y mesoescala para cada modo de movilidad. Los datos se obtuvieron a partir de una encuesta de movilidad realizada en hogares de Cuenca en el año 2019. A pesar de que buseta es un modo de movilidad usual para escolares, no pudo ser considerado en este estudio ya no se contemplaba en la encuesta original utilizada.

## 2.

### Metodología

#### 2.1. Materiales

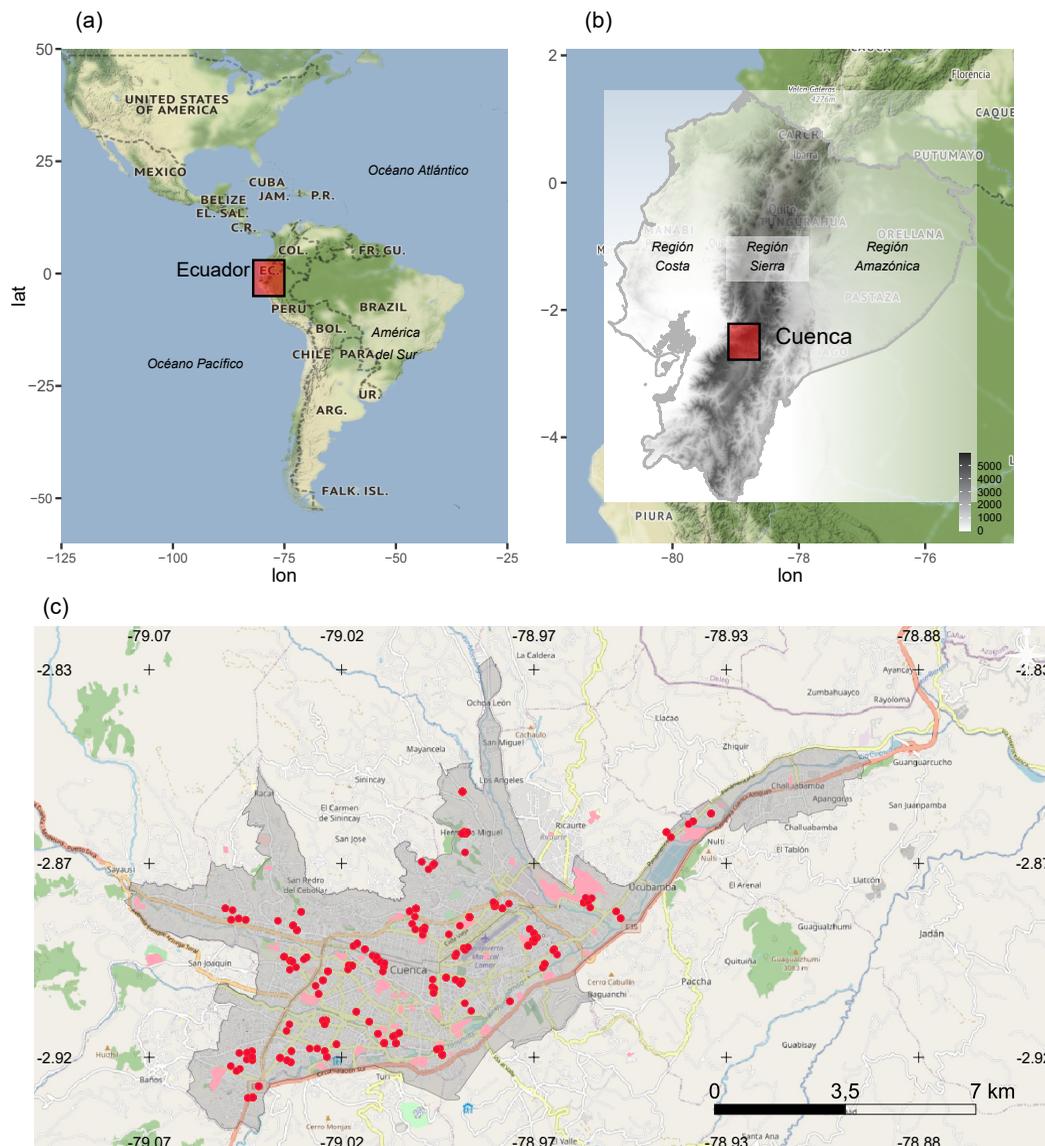
##### 2.1.1. Factores socioeconómicos y de percepción

Se utilizó la encuesta sobre movilidad realizada en el año 2019 a hogares del casco urbano de Cuenca. Después de un análisis de varios referentes, la encuesta sobre movilidad completa tomó como base la: *Victorian Integrated Survey of Travel & Activity* (Boulangre et al., 2017) y la *Community Preference Survey* (Tian et al., 2015). En su totalidad, constaba de 5 secciones: a) información general del hogar, b) información para estratificación socioeconómica, c) características y modos de transporte de las personas que conforman el hogar, d) información de la vivienda actual y esperada, e) información sobre los barrios actuales y esperados. El diseño específico de muestreo estadístico fue de tipo probabilístico, polimétrico y aleatorio; la unidad de muestreo fue la zona censal (UPM). Se aplicaron a un total de 995 hogares luego de un proceso de pilotaje de varias fases.

Para este texto, cuyo énfasis son los niños en edad escolar, se tomaron en consideración únicamente aquellas encuestas de hogares con niños y niñas de 6 a 12 años ( $n = 322$ ); y un total de 46 variables del cuestionario, contenidas en dos secciones: i) la sección sobre la información socioeconómica general del hogar, y ii) la sección sobre las percepciones de la movilidad y de los barrios actuales y esperados (ideales) para vivir. La Figura 1 muestra la ubicación de Cuenca en relación con América Latina (1.a) y con Ecuador (1.b), y la ubicación de las 322 ubicaciones de hogares encuestados.

**Figura 1**

Área de estudio. a) Ciudad de Cuenca dentro de América Latina; b) Cuenca dentro de Ecuador; y c) Ubicación de los 322 hogares encuestados con niños y niñas de 6 a 12 años.



Las unidades de análisis fueron los hogares con los niños y niñas de 6 a 12 años, y los factores socioeconómicos y de percepción se obtuvieron de la persona que llenaba la encuesta. Se filtraron los principales modos de movilidad (caminar, autobús, automóvil), excluyendo bicicleta y taxi debido al bajo número de respuestas. En cuanto a “autobús”, se hace referencia al transporte público. A pesar de que buseta es un modo de movilidad usual para escolares, no pudo ser considerado en este estudio ya que no se contemplaba en la encuesta original utilizada.

Se seleccionaron 46 variables de la encuesta que se enumeran a continuación:

- **Modo de movilidad cotidiana de los niños y niñas** (1 variable): caminar, autobús, automóvil.
- **Factores socioeconómicos** (12 variables): número de automóviles en propiedad, número de motocicletas en propiedad, número de bicicletas para adultos, número de bicicletas para niños/niñas, bicicletas utilizadas en los últimos 14 días por adultos, bicicletas utilizadas en los últimos 14 días por niños/niñas, tenencia de la vivienda, nivel socioeconómico, edad del niño/niña, género del niño/niña, edad de los encuestados y género de los encuestados.
- **Factores de percepción** (33 variables):
  - Percepción sobre temas de movilidad (6): señalización, control de tráfico, carreteras, carriles y aparcamientos de bicicletas, aceras y funcionamiento del transporte público.
  - Percepción de los barrios de residencia actual (9): alta conectividad entre vías, cercanía a parques y/o orillas de ríos, densidad de población, presencia de comercios, servicios y equipamiento, movilización casi obligatoria en automóvil, presencia de numerosas líneas y paradas de autobuses, seguridad al andar en bicicleta, y seguridad y comodidad al caminar.
  - Percepción sobre barrios esperados o ideales (18): diversidad de tipos de vivienda, diversidad étnica y de nacionalidades, diversidad socioeconómica, personas en todas las etapas de la vida, buena conectividad de rutas, vivir frente a una vía principal, cerca de parques, barrio denso o populoso, numerosas y diversas tiendas, servicios e instalaciones, varios edificios de departamentos, urbanización cerrada, falta de autobuses, cerca de transporte público, buena infraestructura para bicicletas, buenos senderos para caminar, cerca del centro histórico, vivir a menos de 15 minutos del lugar de trabajo, y lejos del ruido, el tráfico y la contaminación.

### 2.1.2. Factores urbanos de mesoescala (variables espaciales)

Los hogares encuestados fueron georreferenciados y asociados por ubicación con factores urbanos de mesoescala (26 variables). Se calcularon tres grupos de factores, todos ellos basados en amortiguadores o *buffers*. El primer grupo se calculó como la media de una zona de amortiguamiento con un radio de 100 m: altitud, pendiente, densidad de viviendas, población, índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI). El segundo se basó en el recuento de elementos en un búfer de radios cambiantes: número de paradas de autobús a 100 m, 200 m, 300 m, 400 m y 500 m de los hogares. Finalmente, el tercer grupo se calculó como la presencia (1) o ausencia (0), dentro de un búfer de 100 m, respecto a la tipología de los tejidos urbanos, y la distancia que separa los hogares del centro de la ciudad.

Es importante destacar que de acuerdo con Wheeler (2015) existen 27 tipos de tejidos urbanos dentro de una clasificación internacional; pero de todos ellos, solo tres resultaron relevantes en este estudio: tipo campus, camino rural y cuasi-damero. El tejido urbano tipo campus es aquel que se relaciona con instalaciones como universidades y hospitales, que contiene vías internas de circulación, edificios, áreas de parqueo y áreas verdes, con edificaciones dispersas pero organizadas. Los tejidos urbanos tipo camino rural conectan áreas urbanizadas en el exterior de la ciudad, en ellos se asientan viviendas y comercios intercalados con terrenos agrícolas, pero con conectividad muy baja y pocas intersecciones; y el tejido cuasi-damero es aquel con uso mixto, predios pequeños o medianos, sigue un patrón de calles reticular, pero irregular, a diferencia de la perfección del damero urbano, y con alta conectividad (Wheeler, 2015).

### 2.2. Análisis

Se utilizó *Random Forest* (RF) (Breiman, 2001) para determinar la influencia de los factores seleccionados en la movilidad de los niños y niñas. RF es un método de *machine learning* para clasificación supervisada, que hace uso de una colección de árboles

de decisión (Ferri-García et al., 2020), donde cada uno de ellos se construye con submuestras seleccionadas aleatoriamente. RF divide el espacio de predictores (variables independientes tanto de naturaleza cuantitativa como cualitativa) en regiones distintas y no superpuestas. La fortaleza de este método radica en las pocas suposiciones estadísticas que se deben cumplir y, por lo tanto, la preparación de los datos es mínima. Además, devuelve un orden de importancia de las variables para la clasificación (Díaz-Urriarte y De Andres, 2006). Sin embargo, la limitación es que se tiene poco control de interpretación del modelo (modelo caja negra para modeladores estadísticos).

A partir de un muestreo aleatorio estratificado se conformó un set de datos de entrenamiento (70%) para realizar el aprendizaje del modelo. Posteriormente, con el set de datos restantes (30%) se validó la bondad del modelo. Los conjuntos de datos tenían las siguientes dimensiones:

- i) Caminar: entrenamiento (54 sí, 172 no), validación (23 sí, 73 no);
- ii) Autobús: entrenamiento (111 sí, 114 no), validación (48 sí, 49 no);
- iii) Automóvil: entrenamiento (60 sí, 165 no), validación (26 sí, 71 no).

Para cada modo de movilidad, se probaron cuatro modelos con diferentes conjuntos de factores:

- i) todos los factores;
- ii) factores de mesoescala;
- iii) factores socioeconómicos;
- iv) factores de percepción.

Cada modelo por separado visualiza en qué proporción las variables ayudan a explicar la movilidad de los niños y niñas escolares. Los modelos se probaron mediante la validación cruzada con 10 iteraciones. Esto significa que el conjunto de datos de entrenamiento se dividió, aleatoriamente, en 10 partes, que se usaron para probar la bondad de ajuste de los mo-

delos y sus parámetros. Esto se repitió 5 veces, usando 500 árboles con una semilla aleatoria. Dado que se trataba de un problema de dos clases (por ejemplo camina o no camina), la métrica de evaluación para el entrenamiento fue el AUC (*area under the ROC - Receiver Operating Characteristic*), que se basa en la sensibilidad y la especificidad. El parámetro *mtry* de RF (número de factores seleccionados aleatoriamente en cada nodo de los árboles) se obtuvo para cada modelo basándose en el AUC mayor. Todos los análisis se realizaron en el software R, y para el entrenamiento del modelo se utilizó el paquete *caret* (Kuhn, 2008).

### 2.2.1. Selección de modelo

Para la validación externa, las matrices de confianza se calcularon con los conjuntos de datos del 30% de prueba, es decir, dichos conjuntos de datos no se utilizaron para la etapa de entrenamiento. Se evaluaron tres métricas de clasificación:

- i) Precisión con significancia estadística (diferencia significativa con la tasa de no información - NIR No information rate);
- ii) Kappa (una métrica más conservadora que Precisión);
- iii) AUC en %

Los valores p de NIR se ajustaron con el método de Bonferroni, ya que nuestro factor objetivo se dividió en tres sub-variables (caminar, autobús y automóvil). Los mejores modelos se seleccionaron en función de las métricas con valores más altos y con significancia estadística.

### 2.2.2. Importancia de los factores

La importancia de los factores se determinó mediante la técnica sin modelo ROC. Con esto, se calculó la curva ROC para cada factor y su área fue una medida de la importancia del factor (Kuhn, 2008). Esto significa que, cuanto mayor es el área, más importante es el factor. Los 15 factores principales se tomaron en cuenta para los mejores modelos. Finalmente, para la discusión de la importancia de los factores se utilizó estadística gráfica-descriptiva.

### 3.

## Resultados

### 3.1. Selección del modelo

La Tabla 1 muestra los resultados generales para las tres métricas de validación (Precisión, Kappa y AUC) y el parámetro de ajuste de *mtry* para los tres modos de movilidad y los cuatro grupos de factores. El modelo de mejor rendimiento para cada modo se resalta en grita.

**Tabla 1**

*Rendimiento general del modelo*

Factores	Caminar NIR=0.760				Bus NIR=0.528				Automóvil NIR=0.760			
	Prec.	K.	Auc	M	Prec.	K.	Auc	M	Prec.	K.	Auc	M
Todos los factores	<b>0.91**</b>	<b>0.70</b>	<b>89.5</b>	<b>2</b>	<b>0.78**</b>	<b>0.56</b>	<b>87.0</b>	<b>36</b>	0.86*	0.65	93.4	36
Mesoescala	0.81	0.39	77.7	2	0.75**	0.50	81.1	13	0.84	0.59	85.2	13
Socioeconómicos	0.84	0.55	79.7	12	0.80**	0.52	80.8	7	<b>0.86*</b>	<b>0.67</b>	<b>94.4</b>	<b>2</b>
Percepción	0.90**	0.66	85.9	2	0.69**	0.52	80.2	17	0.82	0.45	78.9	2

Nota: \*\* valor p ajustado <0.01 \*valor p ajustado <0.05. Prec=Precisión, K.=Kappa, Auc=AUC%, M=*mtry*

Texto negrito (mejor modelo), texto normal (otros modelos con significancia), texto en gris (modelos sin significancia)

Para el modo de movilidad de “caminar”, el mejor modelo integró todos los factores, teniendo los valores más altos de las métricas. En segundo lugar, se encuentra el grupo de percepción que tuvo una precisión significativa. Para “autobús”, todos los modelos fueron significativos, pero el mejor fue con todos los factores. Aunque tuvo una precisión ligeramente menor, AUC y Kappa fueron los más altos. Este modelo fue seguido por el grupo socioeconómico. Finalmente, para “automóvil”, el mejor modelo fue el socioeconómico, seguido por el grupo de todos los factores.

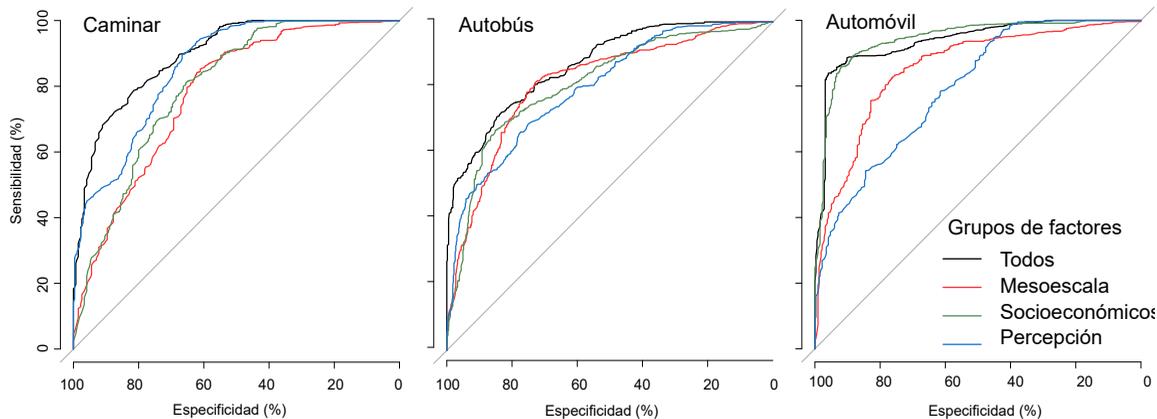
Con respecto al parámetro *mtry* de RF, en la mayoría de los casos, el mejor modelo se obtuvo utilizando solo dos factores seleccionados aleatoriamente en cada división. Sin embargo, para “todos los factores” en los modos de “autobús” y “automóvil”, se utilizaron 36 factores. Dado que este número fue elevado y no mostró un gran aumento en el rendimiento, podría ser aconsejable utilizar solo el grupo de factores socioeconómicos (*mtry* = 2), en lugar de todos los factores.

En general, se obtuvieron mejores rendimientos en los modelos para los modos “caminar” y “automóvil” que para “autobús”, a pesar de que tenían clases muy desequilibradas (NIR 0,760). Para “caminar” y “automóvil”, la Precisión y el AUC fueron grandes, sin embargo, el Kappa fue moderado. Por lo tanto, si bien estos modelos son informativos para identificar los factores más importantes, todavía no los consideramos aceptables para fines de predicción. Por lo tanto, se deben realizar más pruebas para mejorar el rendimiento de los modelos de RF equilibrando las clases con métodos de submuestreo.

La Figura 2 muestra las curvas ROC para los diferentes modos de movilidad y grupos de factores. Para “caminar” (Figura 2.a), se puede observar que la mejor predicción se obtuvo con todos los factores (curva más externa), mientras que la peor predicción se obtuvo con el grupo de mesoescala (más interno). La curva ROC de percepción fue la segunda más importante, por lo que se puede destacar que la percepción tiene implicaciones importantes al elegir “caminar” como modo de movilidad. Por el contrario, para “autobús” (Figura 2.b), la percepción fue la curva más interna mostrando que la percepción no es relevante para la elección del bus como modo de movilidad. Finalmente, para “automóvil” (Figura 2.c), la curva más externa fue el grupo socioeconómico, seguido de cerca por el grupo de todos los factores. Más internamente (y con menor desempeño) se ubicó el grupo de mesoescala, y, con el peor desempeño de predicción se localizaron los factores de percepción.

**Figura 2**

*Curvas ROC para los modelos entrenados.*



### 3.2. Importancia de los factores

La Tabla 2 resume los factores más importantes para el mejor modelo en cada modo de movilidad. Para los factores socioeconómicos, como se esperaba, el número de vehículos privados por familia y el nivel socioeconómico aparecieron como los factores más importantes (AUC alto). Los factores socioeconómicos fueron relevantes para los tres modos de movilidad. Además, la propiedad de la casa era importante para la elección de los modos de movilidad de “caminar” y “automóvil”, y la edad del niño/niña y fue importante para “autobús” y “automóvil”. Finalmente, el resto de los factores socioeconómicos fueron relevantes para “automóvil”.

**Tabla 2**

*Importancia de factores por grupo y por modo de movilidad*

	Factor	Caminar (todos)	Bus (todos)	Automóvil (socioeco- nómico)
Socioeconómico	*** No. de automóviles propios	1	1	1
	*** Nivel socioeconómico	3	4	2
	** Casa propia	5		3
	** Edad del niño/a		5	4
	** No. bicicletas usadas en los últimos 14 días por niños/as		8	7
	* No. de bicicletas para adultos			5
	* No. de motos			6
	* Género de la persona que responde la encuesta			8
	* No. de bicicletas para niños			9
	* Edad de persona que responde la encuesta			10
	* No. bicicletas usadas en los últimos 14 días por adultos			11
	* Género de niño/a			12
Mesoescala	** Tejido urbano: campus	11	13	
	** Media de pendiente 100m	13	10	
	* Media de elevación 100m		3	
	* Tejido urbano: caminos rurales		14	
	* Tejido urbano: cuasi damero		15	
Percepción	** Vivir cerca del centro histórico	4	2	
	** Barrio denso	9	12	
	* Llegar al barrio sólo por automóvil	2		
	* Mejorar el control del tráfico,	6		
	* Barrio seguro para la bicicleta	7		
	* Barrio diverso en cuanto a nacionalidad y etnia	8		
	* Barrio seguro y confortable para caminar	10		
	* Mejorar el transporte público	12		
	* Mejorar señalización	14		
	* Barrio con falta de transporte público	15		
	* Barrio con tiendas y equipamiento		6	
	* Barrio con edificaciones		7	
* Barrio con parques y ríos		9		
* Mejorar ciclo vías y áreas de parqueo		11		

Nota: \*\*\*Importante en tres, \*\* dos, y \* un modelo. Número en las columnas es el orden de aparición.

En relación con los factores de mesoescala, el tejido urbano tipo campus y la pendiente media en un buffer de 100 m desde la ubicación del hogar fueron importantes para “caminar” y “autobús”. Además, para “autobús”, también fue importante la altura media alrededor de los 100 m de los hogares y los tejidos urbanos de tipo camino rural y cuasi-damero.

Si bien por razones de espacio no se muestran en la Tabla 2, los factores de mesoescala también fueron significativos para predecir el modo de movilidad del autobús. Además de los factores ya mencionados, la densidad habitacional media de los lugares de vida en torno a 100 m de los hogares, el número de paradas de autobús a 500 m, 400 m, 300 m, 200 m y 100 m (en este orden) también se identificaron como factores importantes. El orden de los buffers (distancias de radio) puede deberse al incremento en el número de paradas en radios mayores.

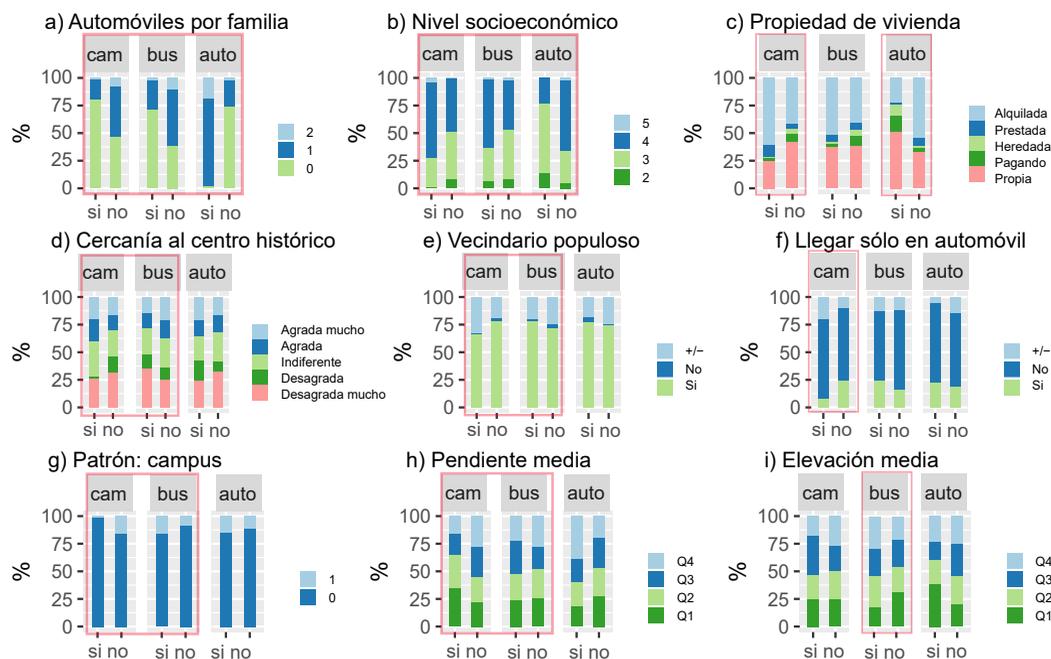
Finalmente, para los factores de percepción, vivir cerca del centro histórico y vivir en vecindarios densos o populosos fue importante para los modos “caminar” y “autobús”. Para “caminar”, también fue importante la percepción sobre la necesidad de mejorar el control del tránsito, la operación del transporte público y la señalización, barrios con diversidad étnica y de nacionalidades, que sean seguros para andar en bicicleta y caminar, con falta de transporte público, y la percepción sobre vivir en barrios a los que solo se puede llegar en automóvil. En el caso de la percepción sobre vivir en barrios a los que solo se puede llegar en automóvil, se relaciona inversamente con “caminar” en el sentido de que cuanto más alta es esta percepción, menos se tiende a caminar.

## 4. Discusión sobre la importancia de los factores

La Figura 3 muestra los factores más importantes, destacándose con un recuadro rojo los modos específicos para los que fueron importantes. Las Figuras 3.a, 3.b y 3.c están relacionados con factores socioeconómicos; las Figuras 3.d, 3.e y 3.f con los factores de percepción; y las Figuras 3.g, 3.h y 3.i con los factores urbanos de mesoescala.

**Figura 3**

Visualización de los factores más importantes por modo de movilidad.



Nota: Cam= Caminar, Bus=Autobús, Auto=Automóvil.

Para el grupo socioeconómico, la cantidad de automóviles por casa fue el factor más importante. Se identificó en los tres modelos seleccionados como el factor más importante. La Figura 3.a muestra que, a menor número de vehículos por familia, más niños eligen “caminar” y “autobús” como modos de movilidad. Las familias cuyos hijos caminan o toman el autobús tienen principalmente un automóvil, mientras que las familias cuyos hijos van a la escuela en automóvil tienen uno y dos automóviles por familia. Además, el nivel socioeconómico fue el segundo factor más importante (Figura 3.b).

Los niños y niñas que caminan o toman el autobús pertenecen principalmente a la 5ª y 4ª clase socioeconómica (clases bajas), mientras que los niños y niñas que van en automóvil pertenecen a la 3ª y 2ª clase socioeconómica (clases superiores). Este resultado es similar al encontrado por Mitra et al. (2014) donde en los barrios de altos ingresos de Toronto, la movilidad de los niños y niñas era más dependiente que en los barrios de bajos ingresos. En cuanto a la propiedad de la vivienda (Figura 3.c), los niños y niñas que caminan y toman el autobús viven principalmente en casas alquiladas, mientras que las familias con niños y niñas que viajan en automóvil tienen su propia casa.

En cuanto a la percepción sobre vivir en un barrio con determinadas características, se observó menor preferencia por vivir cerca del centro histórico por parte de los representantes de los niños y niñas que toman el autobús que para aquellos que caminan. En otras palabras, las familias cuyos hijos caminan a la escuela tienen mayor preferencia por vivir cerca del centro histórico (Figura 3.d). Además, las familias cuyos hijos toman el autobús tienden a tener una mayor preferencia por vivir en vecindarios densos o populosos que los niños y niñas que caminan (Figura 3.e). Finalmente, las familias cuyos hijos caminan mostraron menor preferencia a vivir en vecindarios donde solo pueden llegar en automóvil (Figura 3.f).

Con respecto a los factores urbanos de mesoescala, el estar cerca (es decir, dentro de un radio de 100 m) de los tejidos urbanos tipo campus, como universidades, hospitales y otras instalaciones similares, fue importante para las categorías de “caminar” y “autobús” (Figura 3.g). Los hogares, cuyo modo de movilidad era “caminar”, no se encontraban localizados de manera próxima (radio de 100 m) de los tejidos urbanos tipo campus. Mientras que para la categoría “autobús”, una cantidad

ligeramente mayor de hogares se encontraba a unos 100 metros del tejido urbano tipo campus que los hogares que no tomaron el autobús. La pendiente media también fue un factor de importancia para “caminar” y “autobús” (Figura 3.g). Aunque se utilizó como factor cuantitativo para entrenar el modelo, en la Figura 3.h se re-clasificó por cuartiles. Se puede observar que la mayoría de los hogares de “caminar” se ubicaron por debajo de la pendiente topográfica media, mientras que lo opuesto fue para “autobús”. Se observó una tendencia similar para la altura media (Figura 3.i). Resultados similares para la pendiente y la altura se encontraron en el estudio de Zannat et al. (2020) sobre la movilidad activa de los estudiantes universitarios.

Si bien la Figura 3 no muestra el factor de mesoescala de paradas de autobús, se destaca que el mismo fue considerado en este análisis como un recuento (frecuencia) en un buffer de 100 m, 200 m, 300 m, 400 m y 500 m de los hogares. Se prevé a futuro complementar este estudio con análisis de proximidad de las paradas a los hogares y densidad de paradas cercanas.

## 5. Conclusiones

Este trabajo se centró en la clasificación de los modos de movilidad de los niños/niñas a partir de una encuesta de hogares de movilidad realizada en 2019 en Cuenca, Ecuador. Los resultados mostraron que Random Forest es un enfoque prometedor para predecir los modos de movilidad e identificar los factores que tienen incidencia según el modo de movilidad. Como era de esperar, la cantidad de automóviles y el nivel socioeconómico fueron los factores más importantes para la clasificación. Esta es una evidencia relevante para contribuir al desarrollo de las políticas públicas desde un enfoque para desalentar la movilidad motorizada. Además, para fomentar la caminata como modo de movilidad activa, deben tenerse en cuenta los factores de percepción, mientras que para fomentar el uso del autobús deben analizarse los factores urbanos de mesoescala.

Los resultados mostrados en este estudio son aplicables para el contexto de la Ciudad de Cuenca (Ecuador). Si bien estos los resultados concretos no pueden ser generalizables a otras ciudades ecuatorianas y latinoameri-

canas, destacamos la aplicabilidad metodológica aquí seguida para analizar datos de encuestas en relación con factores de mesoescala urbanos, socioeconómicos y de percepción. Además, en este trabajo se analizaron tres modos de movilidad (caminar, bus y automóvil). Otros importantes modos de movilidad, como lo es el transporte escolar, deben ser profundizados en futuros estudios a partir de una encuesta diseñada para tales fines.

Adicionalmente, ciudades intermedias latinoamericanas, como el caso de Cuenca, que pretenden incidir en la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible para 2030, en particular el objetivo 11, pueden poner en práctica los métodos y resultados mostrados en este estudio para estudiar y promover la movilidad activa. Es importante señalar que la encuesta de hogares utilizada para este texto se realizó antes de la crisis sanitaria provocada por la COVID-19 desde marzo de 2020. Por lo tanto, será interesante repetir la encuesta en el futuro para explorar posibles cambios en los patrones de movilidad. Finalmente, los resultados aquí presentados permiten focalizar futuras investigaciones y políticas públicas en materia de movilidad escolar; será pertinente, por ejemplo, incluir la variable de género en futuras encuestas y estudios para determinar posibles diferencias en la movilidad de los niños con respecto a la de las niñas.

## Agradecimientos

Esta investigación fue realizada como parte del proyecto “Rutas Escolares Seguras”, financiado por CEDIA en el marco del Programa CEPRA, en colaboración con la Universidad de Cuenca, la Universidad del Azuay y la Pontificia Universidad Católica del Ecuador - Sede Ibarra. La encuesta de hogares fue desarrollada con el apoyo del programa Ciudades Intermedias Sustentables de GIZ y el proyecto “Más Allá del Petróleo: Forma Urbana y Transporte” de REDU-FUT financiado por la DIUC-Universidad de Cuenca.

## Referencias

- Boulangé, C., Gunn, L., Giles-Corti, B., Mavoa, S., Pettit, C., y Badland, H. (2017). Examining associations between urban design attributes and transport mode choice for walking, cycling, public transport and private motor vehicle trips. *Journal of transport & health*, 6, 155-166. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2017.07.007>.
- Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning* 45, 5-32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>.
- Davison, K. K., Werder, J. L., y Lawson, C. T. (2008). Children's active commuting to school: Current knowledge and future directions. *Preventing Chronic Disease*, 5(3). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2483568/>.
- Díaz-Uriarte, R., y De Andres, S. A. (2006). Gene selection and classification of microarray data using random forest. *BMC bioinformatics*, 7(1), 1-13. <https://doi.org/10.1186/1471-2105-7-3>.
- Ecuador en cifras (s.f.) [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Poblacion\\_y\\_Demografia/Proyecciones\\_Poblacionales/proyeccion\\_cantonal\\_total\\_2010-2020.xlsx](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Poblacion_y_Demografia/Proyecciones_Poblacionales/proyeccion_cantonal_total_2010-2020.xlsx)
- Ferri-García, R., Fernández-Luna, J. M., Rodríguez-López, C., y Chillón, P. (2020). Data mining techniques to analyze the factors influencing active commuting to school. *International Journal of Sustainable Transportation*, 14(4), 308-323. <https://doi.org/10.1080/15568318.2018.1547465>.
- Huertas-Delgado, F. J., Chillón, P., Barranco-Ruiz, Y., Herrador-Colmenero, M., Rodríguez-Rodríguez, F., y Villa-González, E. (2018). Parental perceived barriers to active commuting to school in Ecuadorian youth. *Journal of Transport and Health*, 10, 290-296. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2018.05.102>.

- Klinger, T., Kenworthy, J. R., y Lanzendorf, M. (2013). Dimensions of urban mobility cultures – a comparison of German cities. *Journal of Transport Geography*, 31, 18–29. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2013.05.002>.
- Kuhn, M. (2008). Building predictive models in R using the caret package. *Journal of Statistical Software*, 28(5), 1–26. <https://doi.org/10.18637/jss.v028.i05>.
- Liu, C., y Shen, Q. 2011. An empirical analysis of the influence of urban form on household travel and energy consumption. *Computers, Environment and Urban Systems*, 35(5), 347–357. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2011.05.006>.
- McCormack, G. R., y Shiell, A. (2011). In search of causality: a systematic review of the relationship between the built environment and physical activity among adults. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 8(1), 125. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-8-125>.
- McMillan, T. E. (2005). Urban form and a child's trip to school: the current literature and a framework for future research. *Journal of Planning Literature*, 19(4), 440–456. <https://doi.org/10.1177/0885412204274173>.
- Mitra, R., Faulkner, G. E. J., Buliung, R. N., y Stone, M. R. (2014). Do parental perceptions of the neighbourhood environment influence children's independent mobility? Evidence from Toronto, Canada. *Urban Studies*, 51(16), 3401–3419. <https://doi.org/10.1177/0042098013519140>.
- Mokkink, L. B., Terwee, C. B., Patrick, D. L., Alonso, J., Stratford, P. W., Knol, D. L., ... de Vet, H. C. W. (2012). COSMIN checklist manual. Amsterdam: University Medical Center. [https://faculty.ksu.edu.sa/sites/default/files/cosmin\\_checklist\\_manual\\_v9.pdf](https://faculty.ksu.edu.sa/sites/default/files/cosmin_checklist_manual_v9.pdf).
- Municipio de Cuenca. (2015). Plan de Movilidad y Espacios Públicos de Cuenca. *Municipio de Cuenca*. <http://www.cuenca.gob.ec/?q=content/plan-de-movilidad>.
- Palma, X., Chillón, P., Rodríguez-Rodríguez, F., Barranco-Ruiz, Y., y Huertas-Delgado, F. J. (2020). Perceived parental barriers towards active commuting to school in Chilean children and adolescents of Valparaíso. *International Journal of Sustainable Transportation*, 14(7), 525–532. <https://doi.org/10.1080/15568318.2019.1578840>.
- Rodríguez-Rodríguez, F., Gálvez-Fernández, P., Huertas-Delgado, F. J., Aranda-Balboa, M. J., Saucedo-Araujo, R. G., y Herrador-Colmenero, M. (2021). Parent's sociodemographic factors, physical activity and active commuting are predictors of independent mobility to school. *International journal of health geographics*, 20(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s12942-021-00280-2>.
- Queiroz, M., Pedro, C., y Filipe, M. (2020). School commuting: the influence of soft and hard factors to shift to public transport. *Transportation Research Procedia* 47 .25–632. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.140>.
- Rothman, L., Macpherson, A. K., Ross, T., y Buliung, R. N. (2018). The decline in active school transportation (AST): A systematic review of the factors related to AST and changes in school transport over time in North America. *Preventive Medicine*, 111, 314–322. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2017.11.018>.
- Tian, G., Ewing, R., y Greene, W. (2015). Desire for smart growth: A survey of residential preferences in the Salt Lake region of Utah. *Housing Policy Debate*, 25(3), 446–462. <https://doi.org/10.1080/10511482.2014.971333>.
- Wang, D., y Zhou, M. (2017). The built environment and travel behavior in urban China: A literature review. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 52, 574–585. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.10.031>.
- Wheeler, S. M. (2015). Built landscapes of metropolitan regions: An international typology. *Journal of the American Planning Association*, 81 (3), 167–190. <https://doi.org/10.1080/01944363.2015.1081567>.

Zannat, K. E., Adnan, M. S. G., y Dewan, A. (2020). A GIS-based approach to evaluating environmental influences on active and public transport accessibility of university students. *Journal of Urban Management*, 9(3), 331–346. <https://doi.org/10.1016/j.jum.2020.06.001>.

