



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i6.2364>

Ciencias Administrativas y económicas
Artículo de investigación

*Estimación de los Costos Económicos de la Congestión Vehicular en Quito en el
Año 2016*

Estimation of the Economic Costs of Vehicular Congestion in Quito in 2016

*Estimativa dos Custos Económicos do Congestionamento de Veículos em Quito no
Ano 2016*

Karina Elizabeth Guamaní Clavijo ^I
keguamani@miduvi.gob.ec
<https://orcid.org/0000-0003-2391-8474>

Rafael Tiberio Burbano Rodríguez ^{II}
rafael.burbano@epn.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-6509-7550>

Correspondencia: keguamani@miduvi.gob.ec

***Recibido:** 30 agosto de 2021 ***Aceptado:** 22 de septiembre de 2021 * **Publicado:** 28 de octubre de 2021

- I. Magíster en Administración de Empresas con mención en Gerencia de la Calidad y Productividad, Ingeniera en Ciencias Económicas y Financieras, Licence Droit, Economie, Gestion, Mention Economie - Gestion. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.
- II. Doctor en Economía del Desarrollo, Maestro en Economía. Matemático, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

Resumen

El transporte constituye una actividad de vital importancia en la economía de un país, sin embargo, dicha actividad está caracterizada por la existencia de importantes externalidades negativas como la contaminación ambiental, los accidentes de tránsito, el ruido y la congestión vehicular.

Quito concentra una gran cantidad de equipamientos urbanos y de servicios públicos, comerciales, financieros y educativos; siendo el hipercentro el lugar donde estos índices son aún más elevados y donde se genera la mayor atracción de viajes. Los problemas de movilidad de la ciudad son preocupantes y advierten que en el futuro serán insostenibles, por ello, una medición de los costos económicos de la congestión vehicular es necesaria para que las autoridades de transporte puedan tomar medidas de política pública que puedan minimizarlos, y, por tanto, su carga para la economía. En el presente trabajo, a través de un proceso metodológico que analiza el costo de la congestión vehicular desde el punto de vista del exceso de tiempo que los usuarios invierten en sus desplazamientos, se realizó una estimación de los costos económicos de la congestión vehicular en Quito en el año 2016, encontrando que este problema, con una valoración subjetiva del tiempo basada en el Salario Básico Unificado de 2016 costó USD 133,8 millones; y con una valoración subjetiva del tiempo basada en el ingreso medio costó USD 296,3 millones. En relación con el tiempo extra de pérdida, se encontró que, en 2016, la población quiteña pasó alrededor de 100,9 millones de horas inmersas en la congestión vehicular.

Palabras clave: congestión vehicular; estimación; costos; demoras.

Summary

Transport is an activity of vital importance in the economy of a country, however, this activity is characterized by the existence of important negative externalities such as environmental pollution, traffic accidents, noise and traffic congestion.

Quito concentrates a large amount of urban equipment and public, commercial, financial and educational services; being the hypercenter the place where these indexes are even higher and where the greatest attraction of trips is generated. The mobility problems of the city are worrisome and warn that in the future they will be unsustainable, therefore, a measurement of the economic costs of vehicular congestion is necessary so that transport authorities can take public policy measures that can minimize them, and, therefore, its burden for the economy.

In this paper, through a methodological process that analyzes the cost of congestion from the point of view of excess time users spend on their travels, an estimate of the economic costs of traffic congestion was held in Quito in 2016, finding that this problem, with a subjective assessment of time based on the 2016 Basic Unified Salary, cost USD 133.8 million; and with a subjective valuation of the time based on the average income it cost USD 296.3 million. In relation to the extra time of loss, it was found that, in 2016, the population of Quito spent around 100.9 million hours immersed in traffic congestion.

Keywords: vehicular congestion; estimation; costs; delays.

Resumo

O transporte é uma actividade de importância vital na economia de um país; contudo, esta actividade caracteriza-se pela existência de externalidades negativas significativas, tais como poluição ambiental, acidentes de tráfego, ruído e congestionamento de tráfego.

Quito concentra um grande número de instalações urbanas e serviços públicos, comerciais, financeiros e educacionais, sendo o hipercentro o local onde estes índices são ainda mais elevados e onde se gera a maior atracção de viagens. Os problemas de mobilidade da cidade são preocupantes e avisam que no futuro serão insustentáveis. Por conseguinte, é necessária uma medição dos custos económicos do congestionamento do tráfego para que as autoridades de transportes possam tomar medidas de política pública para os minimizar e, portanto, o seu fardo sobre a economia.

Neste documento, através de um processo metodológico que analisa o custo do congestionamento veicular do ponto de vista do excesso de tempo que os utilizadores investem nas suas viagens, foi feita uma estimativa dos custos económicos do congestionamento veicular em Quito em 2016, concluindo que este problema, com uma avaliação subjectiva do tempo baseada no Salário Básico Unificado de 2016 custou 133,8 milhões de USD; e com uma avaliação subjectiva do tempo baseada no rendimento médio custou 296,3 milhões de USD. Em relação ao tempo extra perdido, verificou-se que, em 2016, a população de Quito passou cerca de 100,9 milhões de horas imersa em congestionamento de tráfego.

Palavras-chave: congestionamento; estimativa; custos; atrasos.

Introducción

El sistema de transporte está caracterizado por la existencia de importantes externalidades negativas como la contaminación ambiental, los accidentes de tránsito, el ruido y la congestión vehicular.

La congestión vehicular comprende una serie de dificultades: tiempos de viaje más largos, pérdidas de tiempo (costo de oportunidad), mayor contaminación ambiental debido a la emisión de gases de efecto invernadero generados por el consumo adicional de combustible de los vehículos que están detenidos en el tráfico vehicular, mayores niveles de ruido, más accidentes de tránsito, menor rendimiento del vehículo, mayores costos de mantenimiento, irritabilidad causada por la pérdida de tiempo, aumento del estrés, impactos negativos en el estado psicológico de las personas, entre otras.

El transporte tiene un papel muy importante en el desarrollo de la economía de un determinado lugar. Esta actividad permite la movilidad de las personas y el traslado de insumos, materias primas, y productos terminados para diversas industrias y clientes en territorios nacionales e internacionales. Según Thomson y Bull (2002), la operación de vehículos que circulan en las vías de ciudades de más de 100 000 habitantes consume alrededor del 3,5% del Producto Interno Bruto (PIB) de América Latina y el Caribe; y el valor social del tiempo consumido en los viajes equivale aproximadamente a otro 3% del PIB.

La congestión vehicular, especialmente en las grandes ciudades, es una realidad que se ha convertido cada vez en más habitual. De acuerdo con De Rus et al. (2003), los costos asociados a la congestión de carreteras en los países desarrollados se sitúan en torno al 2% del PIB de cada país. Según datos del Centre for Economics and Business Research (2014), entre 2013 y 2030, los costos acumulados a causa de la congestión vehicular en Francia serán USD 469 000 millones, en Inglaterra USD 480 000 millones, en Alemania USD 691 000 millones y en Estados Unidos USD 2,8 billones. En Colombia, de acuerdo con un estudio contratado por el Departamento de Planeación Nacional en 2015, la congestión vehicular le costó a dicho país USD 5 057 millones, equivalente al 2% de su PIB.

Quito, por su condición de capitalidad del Ecuador, es un referente político, administrativo y económico de la comunidad nacional e internacional. En su jurisdicción existe una gran concentración de equipamientos urbanos; y de servicios públicos, comerciales, financieros y educativos, siendo el hipercentro (zona delimitada al norte por la Avenida El Inca; al sur por la Calle Ambato; al este por la Avenida 6 de Diciembre, la Avenida 12 de Octubre y la Avenida Gran

Colombia; y al oeste por la Avenida América y la Calle Imbabura) el lugar donde los índices de concentración de población y de equipamientos son aún más elevados.

Según el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, la Empresa Municipal de Movilidad y la Gerencia de Planificación de la Movilidad (2009), el nivel de congestión vehicular en la ciudad registra niveles de saturación que han superado la capacidad física de las vías en muchos de sus tramos, especialmente al interior del hipercentro y en sus vías de acceso.

De acuerdo con la Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas y Metro de Madrid, S.A. (2010), la mayor parte de los volúmenes de viajes ocurre desde o hacia el hipercentro: 418 715 viajes diarios hacia el hipercentro y 2 742 161 viajes diarios dentro del mismo hipercentro. El porcentaje de kilómetros saturados de la red vial principal llega al 32% y se estima que para el 2025 sea del 54%. Entre 2009 y 2014, la velocidad media general de circulación en el sistema vial del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) ha experimentado un descenso, pasando de 19,9 km/h a 14,1 km/h. Una de las principales causas de este problema, es la tendencia creciente del parque automotor. De acuerdo con la Secretaría de Movilidad (2014), el parque automotor de Quito crece, en promedio, a una razón del 7% anual, lo que significa un incremento medio aproximado de 30 000 vehículos por año.

Debido a lo serio del problema, cuantificar los costos de la congestión vehicular es una tarea importante para los departamentos de transporte, organizaciones de planificación metropolitana, autoridades de transporte público y otras partes interesadas de transporte, a fin de que se puedan tomar medidas de política pública que mejoren la situación, y minimicen estos costos y, por tanto, su carga para la economía.

La organización de este artículo es como sigue. En la sección II se expone la literatura relevante sobre el tema. En la sección III se describe la metodología empleada para estimar los costos económicos de la congestión vehicular en Quito y el tiempo extra de pérdida por viaje, diario y anual a causa de este problema. La sección IV contiene los resultados de la investigación y su correspondiente discusión. Finalmente, se incluyen las conclusiones.

Marco teórico

¿Qué es la congestión vehicular?

Estimación de los Costos Económicos de la Congestión Vehicular en Quito en el Año 2016

Definir con precisión a la congestión vehicular es una tarea difícil, pues aún no existe una definición universalmente aceptada de qué es exactamente la congestión vehicular (Aftabuzzaman, 2007).

A lo largo del tiempo se han propuesto muchas definiciones para describir a la congestión vehicular en las vías de las zonas urbanas. Por ejemplo, Thomson y Bull (2002) definen a la congestión vehicular como “la condición que prevalece si la introducción de un vehículo en un flujo de tránsito aumenta el tiempo de circulación de los demás” (p. 110). Para Matas (2004) la congestión vehicular se produce cuando la presencia de un usuario adicional ocasiona un aumento de los costes medios que soportan el resto de usuarios de la infraestructura.

Aftabuzzaman (2007) define a la congestión vehicular en base a estas tres categorías: 1) por la capacidad de la demanda, 2) por el tiempo de retardo del viaje, y 3) por el costo relacionado. En la Tabla 1 se presentan las definiciones de la congestión vehicular de acuerdo con estas tres categorías.

Tabla 1: Definiciones de congestión vehicular

Categoría	Definición	Autor
Capacidad de la demanda	La congestión vehicular ocurre cuando la demanda de viajes excede la capacidad existente del sistema de carreteras.	Rosenbloom, 1978
	Cuando el volumen vehicular en una instalación de transporte (calle o carretera) excede la capacidad de esa instalación, el resultado es un estado de congestión.	Vuchic y Kikuchi, 1994
	La congestión puede definirse como el estado del flujo de tráfico en una instalación de transporte caracterizada por altas densidades y velocidades bajas, en relación con un estado de referencia elegido (con bajas densidades y altas velocidades).	Bovy y Salomon, 2002
Tiempo de retardo del viaje	La congestión es la presencia de retrasos a lo largo de un camino debido a la presencia de otros usuarios.	Kockelman, 2004
	La congestión puede definirse como la situación cuando el tráfico se mueve a velocidades por debajo de la capacidad diseñada de una carretera.	Downs, 2004
	En el ámbito del transporte, la congestión suele relacionarse con un exceso de vehículos en una parte de la calzada en un momento dado, lo que resulta en velocidades más lentas -a veces mucho	Cambridge Systematics y TTI, 2005

Estimación de los Costos Económicos de la Congestión Vehicular en Quito en el Año 2016

	más lentas- que las velocidades normales o de "flujo libre".
Costo relacionado	La congestión del tráfico se refiere a los costos incrementales resultantes de la interferencia entre los usuarios de la carretera. VTPI, 2005

Fuente: Tomada de Aftabuzzaman (2007)

La congestión vehicular como externalidad

Respecto a la congestión vehicular como externalidad, De Rus et al. (2003) explican:

La externalidad se produce porque cada usuario, al tomar su decisión de utilizar una vía, sólo tiene en cuenta el coste que le supone el tiempo que va a emplear en el viaje, más el coste monetario de utilización del vehículo, pero no valora que al circular con su automóvil está haciendo que el tráfico sea menos fluido para todos los usuarios. Por tanto, el último usuario que entra en una carretera congestionada está imponiendo un coste en términos de tiempo extra al resto de automóviles en la carretera, que este usuario no paga (p. 13).

Tipos de congestión vehicular

Falocchio y Levinson (2015) clasifican a la congestión vehicular en dos categorías: congestión vehicular recurrente y no recurrente.

- Congestión vehicular recurrente: “es el retraso que los viajeros experimentan o que regularmente esperan durante los tiempos de viaje en las horas punta de la mañana y de la noche” (Falocchio y Levinson, 2015/2017, p. 35).
- Congestión vehicular no recurrente: “es el retraso causado por eventos no predecibles que interrumpen el flujo del tráfico. Incluyen sucesos como averías de vehículos, accidentes, reparación de vías, mal tiempo, eventos especiales, desastres naturales o artificiales, etc.” (Falocchio y Levinson, 2015/2017, p. 35).

Causas de la congestión vehicular

Para Falocchio y Levinson (2015) las causas de la congestión vehicular son las siguientes:

1. La concentración de la demanda de viajes en el tiempo y en el espacio.
2. El crecimiento de la población, del empleo y del uso del automóvil.
3. Los cuellos de botella.

Consecuencias de la congestión vehicular

Falocchio y Levinson (2015) consideran que la congestión vehicular tiene consecuencias sobre la movilidad, la accesibilidad, la productividad y en el medioambiente.

1. Movilidad: velocidades de recorrido menores, resultantes de la congestión vehicular, reducen la movilidad de las personas que conducen o se transportan a largas distancias.
2. Accesibilidad: la accesibilidad se define como el número de oportunidades accesibles desde una ubicación dada, dentro de un presupuesto de tiempo, y un costo de viaje aceptable. El impacto de la congestión vehicular sobre la accesibilidad es a menudo determinado por los patrones de densidad de uso del suelo.
3. Productividad: la congestión vehicular reduce la capacidad vial. Dependiendo del volumen de tráfico en una vía, puede aumentar o disminuir la velocidad. La velocidad más baja es la llamada velocidad crítica, que causa la pérdida en el volumen de producción vial y también aumenta la duración de la congestión.
4. Costos medioambientales: la congestión vehicular degrada la calidad del aire con consecuencias directas para la salud humana. Aliviar la congestión vehicular se cita a menudo como una estrategia para mejorar la calidad del aire y la sostenibilidad.

Medición de variables de tráfico: flujo de vehículos y velocidades vehiculares

Los conceptos de este apartado se han tomado de Fernández (2014).

- Flujo de vehículos: la medición de esta variable de tráfico se realiza para definir la magnitud de los movimientos existentes y los tipos de vehículos motorizados que circulan en un área de estudio.

Tipos de conteos vehiculares:

Conteos continuos: registran información de flujos vehiculares durante todas las horas del día en que se observa circulación de los mismos.

Conteos periódicos: recolectan información sólo en períodos preestablecidos.

Métodos de medición:

Método manual: se utiliza cuando se necesita registrar información de clasificaciones vehiculares y sentido de circulación de los vehículos.

Método automático: se utiliza cuando se necesita registrar el patrón horario diario o de largos períodos.

- Velocidades de vehículos: “las velocidades que se requieren medir dependen del uso que se le dará a la información: diagnóstico, diseño o modelación” (p. 51), estableciéndose la medición de tres tipos de velocidades: velocidades instantáneas, velocidades de

acercamiento a una sección de vía y velocidades promedio en un tramo de vía con o sin detenciones.

Tipos de velocidades:

Velocidades instantáneas: se miden cuando el tramo de vía es relativamente pequeño y el seguimiento visual no es muy difícil.

Velocidades de acercamiento a una sección de vía: se miden de la misma manera que las velocidades instantáneas, pero, con la consideración de que no exista bloqueo aguas abajo para que la velocidad estimada no esté afectada por la detención del vehículo.

Velocidades promedio en un tramo de vía con o sin detenciones: se miden cuando el seguimiento visual del vehículo es difícil. Se mide registrando la hora a la cual un vehículo cruza una sección de vía imaginaria, tanto al ingreso al tramo bajo estudio como a la salida de este; de esta manera, el tiempo que el vehículo se demora en realizar el recorrido permite determinar la velocidad promedio del tramo, incluyendo los tiempos que se haya detenido durante el recorrido.

Estudios de congestión vehicular

A nivel mundial, se han realizado diversas investigaciones para estimar los costos económicos que resultan de los problemas por congestión vehicular, especialmente en las áreas urbanas donde estos problemas son aún más serios.

A causa de la variedad de metodologías empleadas en estas investigaciones de valoración de costos, los resultados obtenidos muestran una gran variabilidad, tanto al estimar los costos totales, como los efectos marginales causados por la entrada de cada vehículo en una vía o carretera congestionada.

Para De Rus et al. (2003) existen dos tipos de costos generados por la congestión vehicular: el exceso de tiempo que los usuarios invierten en sus desplazamientos y el exceso de consumo de combustible por la circulación a velocidades muy lentas. Para Alcántara (2010), la noción más intuitiva utilizada en la mayoría de los estudios está relacionada con una comparación entre el tiempo real en la vía y un tiempo “ideal” a ser definido.

Sin embargo, el United States Department of Transportation (2009) considera que, aunque el aumento del tiempo de viaje y los costos de combustible añadido son componentes comprensiblemente significativos en los estudios de congestión vehicular, este problema genera otra serie de costos que aumentan su alcance. Otros costos potenciales de la congestión vehicular que han recibido menor atención son los relacionados con el aumento de la falta de confiabilidad, las

Estimación de los Costos Económicos de la Congestión Vehicular en Quito en el Año 2016

emisiones y el daño ambiental, los costos de operación excesivos del vehículo, la pérdida de productividad, el aumento de los costos de inventario y la mayor frecuencia de retrasos en la carga. En la Tabla 2 se presentan algunos de los estudios de costos de congestión vehicular realizados a nivel mundial.

Tabla 2: Estudios de costos de congestión vehicular

Estudio	Lugar	Año de la estimación	Costos de congestión vehicular [millones USD]
Greater Toronto Transportation Authority (2008)	Greater Toronto and Hamilton Area	2006	2 246,8
Centre for Economics and Business Research (2014)	Estados Unidos	2013	8 513,0
Muñoz (2014)	Malla vial arterial principal de la ciudad de Bogotá	2014	55,8
Bureau of Transport and Regional Services (2015)	Ocho ciudades de Australia (Sidney, Melbourne, Brisbane, Perth, Adelaide, Canberra, Hobart y Darwin)	2015	13 152,2
European Commission (2015)	Austria	2009	1 512,6
	Bélgica		2 857,1
	República Checa		672,3
	Alemania		20 336,1
	Dinamarca		1 260,5
	España		4 621,8
	Estonia		84,0
	Finlandia		1 176,5
	Francia		13 865,5
	Reino Unido		20 588,2
	Hungría		588,2
	Irlanda		1 512,6
	Italia		12 268,9
	Lituania		420,2
	Luxemburgo		252,1
	Países Bajos		3 949,6
Polonia	4 033,6		
Portugal	1 008,4		
Eslovaquia	252,1		
Suecia	2 184,9		

Nota. * Los valores fueron convertidos a USD 2017

Metodología

La metodología a utilizarse trata de un método de tipo empírico – analítico de cinco fases basado en Muñoz (2014), mediante el cual se analiza el costo de la congestión vehicular desde el punto de vista del exceso de tiempo que los usuarios invierten en sus desplazamientos.

Acorde a esta metodología, el cálculo de los costos de congestión vehicular contrasta dos escenarios de análisis: el escenario de la situación real y un escenario de la situación ideal. Para cada escenario, a través de simulaciones y modelos matemáticos, se determinan los costos por congestión vehicular, y su diferencia corresponde al costo final de congestión.

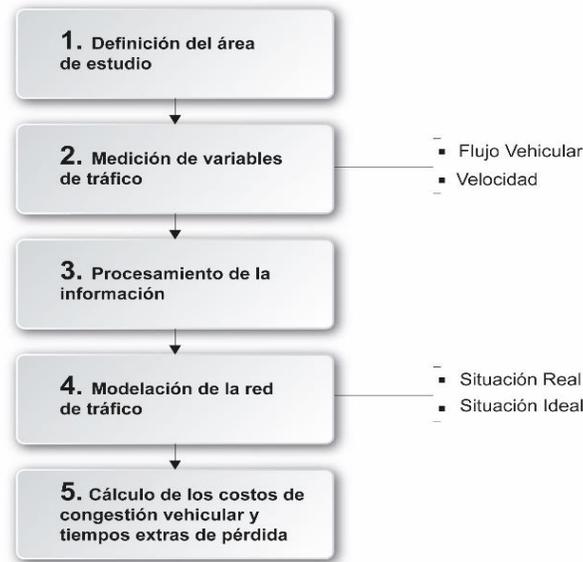
Cabe señalar que como esta metodología considera sólo el exceso de tiempo que los usuarios invierten en sus desplazamientos y excluye otros costos asociados como el exceso de consumo de combustible, los daños medioambientales, la pérdida de productividad, etc., los resultados a obtenerse constituyen una aproximación de los costos económicos totales de la congestión vehicular en Quito.

En la primera fase de este proceso metodológico se realiza la delimitación espacial y temporal del área de estudio, así como la delimitación de las variables de tráfico a ser medidas en la siguiente fase. La segunda fase trata de la medición de las variables flujo de vehículos y velocidades vehiculares, las mismas que constituyen las variables de entrada para realizar la modelación de la red de tráfico en un software especializado. La tercera fase consiste en el procesamiento de la información obtenida en la fase anterior. En la cuarta fase se realiza la modelación y simulación de la red de tráfico vehicular de Quito en el software especializado, las simulaciones son tanto de la situación real, como de la ideal. En la quinta fase se presentan los modelos matemáticos necesarios para el cálculo de los costos de congestión vehicular y del tiempo extra de pérdida por viaje, diario y anual.

En la Figura 1 se muestra un esquema del proceso metodológico a emplearse.

Figura 1: Proceso metodológico para el cálculo de los costos de congestión vehicular y tiempos extras de pérdida

Estimación de los Costos Económicos de la Congestión Vehicular en Quito en el Año 2016



Delimitación del área de estudio

La delimitación del área de estudio consiste en establecer las intersecciones semaforizadas de las vías principales de la ciudad que componen el modelo de la red de tráfico de Quito para su modelación y simulación en un software especializado. Para ello, se realiza la delimitación espacial y temporal del área de estudio, así como una delimitación de las variables flujo vehicular y velocidades vehiculares a ser medidas en la segunda fase.

Delimitación espacial: En vista de que un estudio completo del sistema de transporte en toda la red vial principal del DMQ requiere de considerables recursos económicos y de personal fuera del alcance de una investigación como la actual, el área de estudio se define en noventa y ocho intersecciones semaforizadas de Quito urbano, las cuales se escogieron con el fin de formar seis rutas viales (tres en sentido norte – sur y tres en sentido sur – norte) que inicien y finalicen a una misma altura de un distinto eje vial de la ciudad, y así poder estimar y comparar tiempos de viaje entre estas rutas. En la Tabla 3 se pueden observar las rutas viales definidas para este estudio.

Tabla 3: Rutas viales definidas para el estudio

Ruta	Desde	Hasta	Sentido
1	Av. Mariscal Antonio José de Sucre y San Francisco de Rumihurco	Av. Mariscal Antonio José de Sucre y Av. La Gasca	Norte - sur
2	Av. Diego Vásquez de Cepeda y Chiriboga	Av. América y Av. Cristóbal Colón	
3	Av. Galo Plazo Lasso y De Los	Av. Río Amazonas y Av. Cristóbal	

Estimación de los Costos Económicos de la Congestión Vehicular en Quito en el Año 2016

	Arupos	Colón	
4	Av. Mariscal Antonio José Sucre y Av. Morán Valverde	Av. Mariscal Antonio José Sucre y Av. La Gasca	Sur - norte
5	Av. Teniente Hugo Ortiz y Av. Morán Valverde	Av. América y Av. Cristóbal Colón	
6	Av. Pedro Vicente Maldonado y Av. Morán Valverde	Av. 10 de Agosto y Av. Cristóbal Colón	

Por otra parte, debido a que parte de esta metodología consiste en la medición de las variables flujo de vehículos y velocidades vehiculares, las mediciones se definen en dieciocho intersecciones semaforizadas de la Avenida Mariscal Antonio José de Sucre; esta selección se realiza debido a que esta avenida (parte del anillo vial de la red vial principal del DMQ) circunvala longitudinalmente a todo Quito urbano. En la Tabla 4 se presentan las intersecciones semaforizadas de la Avenida Mariscal Antonio José de Sucre definidas para las mediciones de las variables de tráfico.

Tabla 4: Intersecciones semaforizadas de la Avenida Mariscal Antonio José de Sucre para la medición de las variables de tráfico

No.	Intersección
1	Avenida Morán Valverde
2	Cusubamba
3	Tabiazo
4	Pilaló
5	Toacaso
6	Avenida Ajaví
7	Juan Camacaro
8	Avenida Alonso de Angulo
9	Michelena
10	Avenida Teniente Hugo Ortiz
11	Cañaris
12	Avenida De Los Libertadores
13	Avenida Rodrigo de Chávez
14	Francisco Barba
15	San Francisco de Rumihurco
16	Catón Cárdenas
17	Bernardo de Legarda
18	Calle Tercera

Delimitación temporal: Para la medición de las variables de tráfico se definen previamente los siguientes aspectos temporales:

- Fecha de medición de las variables de tráfico: 17 de junio de 2016 (a fin de evitar mediciones con cuellos de botella no recurrentes ocasionados por inclemencias del tiempo).
- Horario de medición: De 06:00 a.m. a 07:00 a.m. (hora representativa del tránsito vehicular en Quito, donde la demanda vehicular es intermedia).

Delimitación de las variables de tráfico:

- Flujo de vehículos:

Tipos de vehículos a considerarse en el estudio: 1) Transporte privado: autos y taxis; 2) Transporte público: BRT (Bus Rapid Transit) troncal Central Trolebús, Oriental Ecovía y Occidental; bus convencional; 3) Transporte de mercancías: de carga liviana.

Tipo de conteo vehicular: Conteo periódico.

Método de medición para flujos vehiculares: Método manual.

- Velocidades vehiculares:

Tipo de velocidad a medirse: Velocidades promedio en un tramo de vía con o sin detenciones.

Medición de variables de tráfico

Para la medición de las variables de tráfico se realizaron grabaciones de vídeo por una hora en las intersecciones semaforizadas indicadas en la Tabla 4.

Posteriormente, con cada vídeo, se efectuaron los conteos de vehículos privados, públicos y de mercancías; y la determinación de las velocidades promedio. Igualmente, se determinó el tiempo de duración de la luz roja, ámbar y verde del semáforo de cada intersección.

Procesamiento de la información

Las variables flujo de vehículos y velocidades vehiculares constituyen las variables de entrada para la estructuración del modelo de simulación de tráfico en el software especializado, en este sentido, el procesamiento de los datos obtenidos en las mediciones realizadas en las dieciocho las intersecciones semaforizadas de la Avenida Mariscal Antonio José de Sucre sirven de base para establecer lo siguiente:

1. Los porcentajes vehiculares de los transportes privado, de mercancía y público en las noventa y ocho intersecciones semaforizadas para este estudio

Estimación de los Costos Económicos de la Congestión Vehicular en Quito en el Año 2016

2. Las velocidades promedio por tipo de transporte de los tramos viales que están entre estas noventa y ocho intersecciones. La Tabla 5 presenta los resultados de los flujos vehiculares por tipo de transporte.

Tabla 5: Flujos vehiculares por tipo de transporte

Intersección	Tipo de transporte			Total
	Privado	Mercancía	Público	
Av. Morán Valverde	81,8%	1,5%	16,7%	100% (1.099)
Cusubamba	81,5%	2,1%	16,4%	100% (1.268)
Tabiazo	90,4%	2,4%	7,2%	100% (1.448)
Pilaló	86,3%	5,3%	8,4%	100% (2.080)
Toacaso	89,0%	,71%	10,3%	100% (1.401)
Av. Ajaví	84,4%	3,0%	12,7%	100% (1.320)
Juan Camacaro	90,9%	2,0%	7,1%	100% (1.434)
Av. Alonso de Angulo	89,6%	2,1%	8,4%	100% (1.828)
Michelena	85,6%	2,4%	12,0%	100% (1.242)
Av. Teniente Hugo Ortiz	75,4%	1,9%	22,7%	100% (1.240)
Cañarís	73,6%	,77%	25,7%	100% (1.033)
Av. De Los Libertadores	73,9%	4,5%	21,6%	100% (1.058)
Av. Rodrigo de Chávez	67,0%	1,7%	31,3%	100% (757)
Francisco Barba	76,7%	5,6%	17,7%	100% (1.643)
San Francisco de Rumihurco	96,1%	1,8%	2,1%	100% (1.842)
Catón Cárdenas	94,2%	2,8%	2,9%	100% (1.582)
Bernardo de Legarda	93,9%	3,2%	2,9%	100% (905)
Calle Tercera	95,3%	3,3%	1,4%	100% (2.402)
Total	86,2%	2,8%	11,1%	100% (25.582)

La Tabla 6 muestra los resultados de las velocidades promedio por tramo vial.

Tabla 6: Velocidades promedio por tipo de vehículo en la Avenida Mariscal Antonio José de Sucre

Desde	Hasta	Longitud [km]	Velocidad promedio [km/h]		
			Transporte privado	Transporte de mercancías	Transporte público
Matilde Álvarez	Av. Morán Valverde	0,43	34,9	26,1	29,6
Av. Morán Valverde	Cusubamba	0,88	18,6	10,8	16,5

Estimación de los Costos Económicos de la Congestión Vehicular en Quito en el Año 2016

Cusubamba	Tabiazo	0,83	15,8	14,6	16,0
Tabiazo	Pilaló	0,29	26,9	27,3	29,4
Pilaló	Toacaso	0,25	10,9	10,6	9,3
Toacaso	Av. Ajaví	0,56	15,4	14,1	13,8
Av. Ajaví	Juan Camacaro	0,68	14,4	18,4	15,0
Juan Camacaro	Av. Alonso de Angulo	0,39	35,1	34,4	17,9
Av. Alonso de Angulo	Michelena	0,27	39,4	34,6	41,5
Michelena	Av. Teniente Hugo Ortiz	0,67	16,2	17,6	16,1
Av. Teniente Hugo Ortiz	Cañaris	0,29	13,0	11,0	8,1
Cañaris	Av. De Los Libertadores	0,24	19,9	12,1	17,5
Av. De Los Libertadores	Av. Rodrigo de Chávez	0,29	10,0	5,4	7,0
Av. Rodrigo de Chávez	Francisco Barba	0,39	4,3	4,14	3,83
Hernando Pizarro	San Francisco de Rumihurco	0,34	26,7	25,1	19,1
San Francisco de Rumihurco	Catón Cárdenas	0,23	11,0	8,6	9,2
Catón Cárdenas	Bernardo de Legarda	1,8	26,9	27,7	34,3
Bernardo de Legarda	Calle Tercera	1,2	16,4	13,3	13,3

Modelación de la red de tráfico

En esta fase del proceso metodológico, se realiza la modelación de la red de tráfico de Quito, tanto de la situación real como de la ideal, para su posterior simulación en el software de simulación de tráfico PTV Vissim. Luego de la simulación el software genera los resultados de rendimiento de la red (vehicle network performance results) necesarios para el cálculo de los costos de congestión vehicular y tiempos extra de pérdida a través de modelos matemáticos.

Para la estructuración del modelo de la red de tráfico de Quito en la situación real e ideal se consideran los siguientes parámetros:

- Imagen de fondo: Mapa de Quito (Openstreetmap) provisto por el software.

- Tramos y conectores: En total se realizaron trescientas diecisiete construcciones entre tramos y conectores (alrededor de 67 kilómetros), que representan las seis rutas viales definidas en la primera fase.

- Variables de tráfico de la situación real:

Volúmenes vehiculares: En las noventa y ocho intersecciones semaforizadas se asignan los volúmenes vehiculares de junio 2016 registrados por las cámaras para conteos vehiculares del Sistema Central Adaptativo Semafórico del DMQ; esta información fue proporcionada por la Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas (EPMOP).

Composiciones vehiculares: En las intersecciones semaforizadas de las rutas 2, 3, 5 y 6, que están paralelas a cada una de las dieciocho intersecciones de la Avenida Mariscal Antonio José de Sucre, se establecen los porcentajes por tipo de transporte definidas en la Tabla 5.

Para las intersecciones semaforizadas que no están a la altura de ninguna intersección de la Avenida Mariscal Antonio José de Sucre, se establece un promedio de las composiciones vehiculares, un promedio para sentido norte – sur y otro, para sentido sur – norte.

Velocidades de vehículos: Como en el caso anterior, en las intersecciones semaforizadas de cada ruta que están a la misma altura de cada una de las dieciocho intersecciones de la Avenida Mariscal Antonio José de Sucre se establece la velocidad promedio por tipo de transporte determinada en la medición.

Para las intersecciones semaforizadas que no están a la altura de ninguna intersección de la Avenida Mariscal Antonio José de Sucre, se establecen las velocidades promedio de viaje en transporte público y privado definidas por la Alcaldía Metropolitana de Quito (2015) en su Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. De esta manera, la velocidad promedio de viaje en transporte público será de 12,1 km/h; y la velocidad promedio de viaje en transporte privado y de mercancías será de 14,4 km/h.

- Variables de tráfico de la situación ideal:

Flujo de vehículos: Se establecen los mismos volúmenes vehiculares totales y composiciones de la situación real.

Velocidades de vehículos: Para la situación ideal se utilizarán las velocidades meta a 2025 establecidas por la Alcaldía Metropolitana de Quito (2015) en el Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, estas son: 15,1 km/h para transporte público y 17,2 km/h para transporte privado y de mercancías.

- Período de simulación: 3.600 segundos de simulación.

Cálculo de los costos de congestión vehicular y tiempo extra de pérdida por viaje, diario y anual

Modelos matemáticos para el cálculo de los costos de congestión vehicular:

Acorde a Muñoz (2014) el cálculo de los costos de congestión vehicular se realiza a partir de la Ecuación 1.

$$\text{Costos de congestión vehicular} = \text{costos de congestión vehicular de la situación real} - \text{costos de congestión vehicular de la situación ideal} \quad (1)$$

Los costos de congestión vehicular de la situación real e ideal se determinan mediante la Ecuación 2:

$$\text{Costos de congestión vehicular}_i = \sum_{k=1}^2 d_{ik} * v_{ik} * OC_k * VST_k + d_{i3} * v_{i3} * VST_3 \quad (2)$$

Donde:

i = Situación modelada. 1: situación real; 2: situación ideal.

k = Tipo de vehículo. 1: transporte privado; 2: transporte público; 3: transporte de mercancía.

d_{ik} = Demora promedio para el tipo de vehículo k , en la situación modelada i [min].

v_{ik} = Cantidad de vehículos del tipo k , en la situación modelada i .

OC_k = Tasa de ocupación promedio para el tipo de vehículo k [pasajeros/vehículo].

VST_k = Valor subjetivo del tiempo para el tipo de vehículo k [USD/min].

Modelos matemáticos para el cálculo del tiempo extra de pérdida por viaje, diario y anual

- Tiempo extra de pérdida por viaje:

Para el cálculo del tiempo extra de pérdida por viaje se utiliza la Ecuación 3:

$$\text{Tiempo extra de pérdida por viaje} = \text{tiempo de viaje en la situación real} - \text{tiempo de viaje en la situación ideal} \quad (3)$$

- Tiempo extra de pérdida diario:

Para el cálculo del tiempo extra de pérdida diario se asume que, por lo general, en un día se realizan dos viajes (uno de ida y otro de vuelta). Este cálculo lo podemos observar en la Ecuación 4.

$$\text{Tiempo extra de pérdida diario} = \left(\sum_{k=1}^2 v_k * OC_k \right) * \text{TEPP} * 2 \quad (4)$$

Donde:

Estimación de los Costos Económicos de la Congestión Vehicular en Quito en el Año 2016

k = Tipo de vehículo. 1: transporte privado; 2: transporte público.

v_{ik} = Cantidad de vehículos del tipo k .

OC_k = Tasa de ocupación promedio para el tipo de vehículo k [pasajeros/vehículo].

$TEEP$ = Tiempo extra de pérdida por viaje.

· Tiempo extra de pérdida anual:

Para el cálculo del tiempo extra de pérdida anual se consideran 305 días del año 2016 (sin feriados y días domingos). El cálculo se observa en la Ecuación 5.

$$\text{Tiempo extra de pérdida anual} = \text{Tiempo extra de pérdida diario} * 305 \quad (5)$$

Parámetros del modelo matemático para el cálculo de los costos de congestión vehicular en

Quito:

- *Demora promedio y cantidad de vehículos (d_{ik} y v_{ik}):* Los parámetros demora promedio y cantidad de vehículos se obtienen de los resultados de rendimiento de la red obtenidos de la simulación de la red de tráfico en el software PTV Vissim.
- *Tasa de ocupación promedio (OC_k):* El parámetro tasa de ocupación promedio para transporte privado se obtiene del Plan Maestro de Movilidad para el Distrito Metropolitano de Quito 2009 – 2025, y la tasa de ocupación promedio para transporte público se obtiene de Fernández (2014).
 - *Tasa de ocupación promedio para transporte privado:* La tasa de ocupación promedio para transporte privado en el DMQ, según el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (2009) es de 1,7 personas por vehículo.
 - *Tasa de ocupación promedio para transporte público:* Debido a la dificultad del conteo total de pasajeros que transporta un bus, minibús o bus articulado y acorde a Fernández (2014) se establece una tasa de ocupación para transporte público de 70,9 personas por vehículo.
 - *Tasa de ocupación promedio para transporte de mercancías:* Según la metodología de Muñoz (2014) el cálculo de la tasa de ocupación de transporte de mercancías no es necesario, puesto que este valor está implícito cuando se estima el valor subjetivo del tiempo, el cual se toma como un costo de oportunidad de la mercancía transportada.
- *Valor subjetivo del tiempo (vST_k):* Para el parámetro valor subjetivo del tiempo se consideran dos casos:

Caso 1 - Valoración subjetiva del tiempo a partir del Salario Básico Unificado (SBU) de 2016: En 2016, el Salario Básico Unificado se fijó en USD 366.

Caso 2 - Valoración subjetiva del tiempo a partir del ingreso medio de Quito del año 2016: De acuerdo con la Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo (diciembre 2016), el ingreso medio de la población de Quito con ocupación principal (patronos y cuenta propia o asalariados y empleados domésticos) o secundaria (asalariados e independientes) es de USD 810,8.

Resultados y Discusión

Resultados

En esta sección se presentan los resultados del cálculo de los costos económicos de la congestión vehicular en Quito y del tiempo extra de pérdida por viaje, diario y anual. Para el primer resultado, primero se presentan las estimaciones correspondientes a una hora, y finalmente, las estimaciones para el año 2016.

La Tabla 7 muestra la estimación de los costos económicos por hora de la congestión vehicular en Quito, considerando los dos casos de valoración subjetiva del tiempo.

Tabla 7: Costos económicos por hora de la congestión vehicular en Quito en el año 2016

Caso	Costo económico por hora [miles USD]
Caso 1	43,0
Caso 2	95,3

Puesto que este estudio tiene como objetivo estimar los costos económicos de la congestión vehicular en el año 2016, se consideran 305 días del año (sin feriados y días domingos) y 16 horas por día (desde las 06:00 a.m. hasta las 10:00 p.m.).

Finalmente, del resultado, se considera únicamente el 63,7%, que corresponde a movilidad obligada (motivos de trabajo o estudios) en el DMQ.

La Tabla 8 presenta la estimación de los costos económicos de la congestión vehicular en Quito en el año 2016 en los dos casos de valoración subjetiva del tiempo.

Estimación de los Costos Económicos de la Congestión Vehicular en Quito en el Año 2016

Tabla 8: Costos económicos de la congestión vehicular en Quito en el año 2016

Caso	Costo económico anual [millones USD]
Caso 1	133,8
Caso 2	296,3

La Tabla 9 presenta el tiempo extra de pérdida por viaje en Quito en el año 2016, el mismo que resulta del promedio del tiempo extra de pérdida por tipo de transporte. Es así como se determina que el tiempo extra de pérdida por viaje generado por la congestión vehicular en Quito en el año 2016 es de 13 minutos.

Tabla 9: Tiempos extras de pérdida en Quito en el año 2016

Tipo de transporte	Tiempos extra de pérdida [min]
Transporte privado	11,5
Transporte de mercancías	12,3
Transporte público	15,3
Promedio	13,0

De acuerdo con la Ecuación 4, el tiempo extra de pérdida diario en Quito en el año 2016 es de 330,4 mil horas.

Finalmente, por la Ecuación 5 se tiene que el tiempo extra de pérdida anual en Quito es de 100,9 millones de horas.

Discusión

De acuerdo con el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (2015), la proforma presupuestaria del DMQ para el ejercicio 2016 asciende a USD 1 512,5 millones, de los cuales USD 277,1 millones corresponden a ingresos corrientes (conformados por impuestos; tasas y contribuciones; venta de bienes y servicios; renta de inversiones y multas; y otros ingresos), que representan el 18,32% del presupuesto. En este sentido, de acuerdo con los resultados obtenidos de esta investigación tenemos que:

Caso 1: La estimación de USD 133,8 millones es inferior a los USD 277,1 millones de los ingresos corrientes de la proforma presupuestaria 2016 del DMQ.

Estimación de los Costos Económicos de la Congestión Vehicular en Quito en el Año 2016

Caso 2: La estimación de USD 296,3 millones es superior a los USD 277,1 millones de los ingresos corrientes de la proforma presupuestaria 2016 del DMQ.

En consecuencia, podemos decir que, con una valoración subjetiva del tiempo basada en el ingreso medio de Quito en 2016, la ciudad pierde por concepto de congestión vehicular un valor mayor a sus ingresos corrientes.

Considerando que los gobiernos en general necesitan ingresos para proveer de bienes y servicios para la sociedad, como infraestructura, educación, salud, etc., es paradójico que los costos económicos por congestión vehicular en Quito sobrepasen sus ingresos corrientes, mucho más aún cuando este monto podría ser la fuente de financiamiento para una amplia gama de programas de movilidad en la ciudad.

Respecto al tiempo extra de pérdida por viaje, diario y anual, se evidencia que el sistema de movilidad en el DMQ presenta serias deficiencias y con tendencia a agravarse si las autoridades no toman las medidas necesarias. En general, la fluidez del tráfico en la ciudad es preocupante; la capacidad vial disponible continúa en proceso de saturación y hoy por hoy, es incapaz de atender la creciente demanda de circulación del parque automotor.

Conclusiones

Con una valoración subjetiva del tiempo basada en el Salario Básico Unificado (SBU) de 2016, la congestión vehicular le costó a Quito USD 133,8 millones, cifra que representa aproximadamente el 48,3% de los ingresos corrientes de la proforma presupuestaria del DMQ para el ejercicio 2016.

Con una valoración subjetiva del tiempo basada en el ingreso medio de Quito, en 2016, la congestión vehicular le costó a Quito USD 296,3 millones; una cifra superior a los USD 277,1 millones de los ingresos corrientes de la proforma presupuestaria del DMQ para el ejercicio 2016.

En promedio, el tiempo extra de pérdida por viaje generado por la congestión vehicular en Quito en el año 2016 es de 13 minutos, siendo en el transporte público donde el tiempo extra de pérdida es mayor (15,3 minutos).

En 2016, la población quiteña pasó alrededor de 100,9 millones horas inmersas en la congestión vehicular.

La ubicación espacial de los equipamientos urbanos, de servicios públicos, comerciales, financieros y educativos en el hipercentro de Quito provoca una enorme demanda de viajes que incrementan los

conflictos de congestión vehicular, de mal uso del espacio público, de la alta demanda de estacionamientos, de contaminación ambiental, etc.

Agradecimiento

Los autores desean agradecer a PTV Group, a la Secretaría de Movilidad del Distrito Metropolitano de Quito, a la Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas (EPMMOP), y a la Empresa Pública Metropolitana Metro de Quito.

Referencias

1. Aftabuzzaman, M. (2007). Measuring Traffic Congestion - A Critical Review. Obtenido de http://atrf.info/papers/2007/2007_Aftabuzzaman.pdf
2. Alcaldía de Quito. (2015). *Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Quito, Ecuador.
3. Alcántara, E. (2010). Análisis de la movilidad urbana. Espacio, medio ambiente y equidad. Obtenido de https://www.caf.com/media/3155/An%C3%A1lisis_movilidad_urbana.pdf
4. Bureau of Transport and Regional Services. (2015). Traffic and congestion cost trends for Australian capital cities. Obtenido de https://bitre.gov.au/publications/2015/files/is_074.pdf
5. Centre for Economics and Business Research (Cebr). (2014). *The future economic and environmental costs of gridlock in 2030*. Obtenido de [http://ibttta.org/sites/default/files/documents/MAF/Costs-of-Congestion-INRIX-Cebr-Report%20\(3\).pdf](http://ibttta.org/sites/default/files/documents/MAF/Costs-of-Congestion-INRIX-Cebr-Report%20(3).pdf)
6. De Rus, G., Campos, J., y Nombela, G. (Ed.). (2003). *Economía del transporte*. Barcelona, España: Antoni Bosch.
7. Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas y Metro de Madrid, S.A. (2010). *Informe de resultados de la encuesta de movilidad*.
8. European Commission. (2015). *Measuring road congestion*. doi: 10.2791/15282. Obtenido de <ftp://ftp.jrc.es/users/transtools/public/congestion.pdf>
9. Falocchio, J.C., y Levinson, H.S. (Ed.). (2015). *Road Traffic Congestion: A Concise Guide*. Switzerland: Springer International.
10. Fernández, F. (2014). *Temas de ingeniería y gestión de tránsito*. Santiago de Chile, Chile: RIL editores. Obtenido de <http://www.ebrary.com>

11. Greater Toronto Transportation Authority. (2008). *Costs of Road Congestion in the Greater Toronto and Hamilton Area: Impact and Cost Benefit Analysis of the Metroplex Draft Regional Transportation Plan*. Obtenido de http://www.metrolinx.com/en/regionalplanning/costsofcongestion/ISP_08-015_Cost_of_Congestion_report_1128081.pdf
12. Matas, A. (2004). Políticas de transporte y congestión en áreas urbanas: un panorama. *Revista de Economía Pública y Urbana*, 63-91. Obtenido de <http://www.redalyc.org/html/504/50400103/>
13. Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, Empresa Municipal de Movilidad y Obras Públicas y Gerencia de Planificación de la Movilidad. (2009). *Plan Maestro de Movilidad para el Distrito Metropolitano de Quito 2009 – 2025*. Quito, Ecuador.
14. Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2015). *Proforma presupuestaria 2016*. Quito, Ecuador.
15. Muñoz, P. (2014). *Metodología para evaluar los sobrecostos por congestión vehicular en la malla vial arterial principal de la ciudad de Bogotá D.C.* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C, Colombia.
16. Secretaría de Movilidad. (2014). *Diagnóstico de la movilidad en el Distrito Metropolitano de Quito para el Plan Metropolitano de Desarrollo Territorial*. Quito, Ecuador
17. Thomson, I., y Bull, A. (2002, abril). La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales. *Revista de la CEPAL*, 109-121. Obtenido de http://www.cepal.org/publicaciones/xml/6/19336/lcg2175e_bull.pdf.
18. United States Department of Transportation. (2009). *Assessing the Full Costs of Congestion on Surface Transportation Systems and Reducing Them through Pricing*. Obtenido de <https://www.transportation.gov/sites/dot.dev/files/docs/Costs%20of%20Surface%20Transportation%20Congestion.pdf>

Estimación de los Costos Económicos de la Congestión Vehicular en Quito en el Año 2016

©2021 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).