

## ALTERNATIVAS DE MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE PARA UN CAMPUS UNIVERSITARIO: MATRIZ DE IMPACTOS Y VALORACIÓN ECO-SOCIO-AMBIENTAL

Gabriela Pesce<sup>1</sup>; Héctor Chiacchiarini<sup>2</sup> y Florencia Pedroni<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup> Instituto de Investigación en Ciencias de la Administración. Departamento de Ciencias de la Administración. Universidad Nacional del Sur (IICA, DCA, UNS). Calle San Andrés 800 – Campus Altos del Palihue -(8000) Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires. Argentina

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Computadoras, Universidad Nacional del Sur (DIEC, UNS); Instituto de Investigaciones en Ingeniería Eléctrica “Alfredo C. Desages” (UNS-CONICET); Centro de Competencias en Movilidad Sustentable, Universidad Nacional del Sur (CCMS, UNS)

[gabriela.pesce@uns.edu.ar](mailto:gabriela.pesce@uns.edu.ar); [hgcb@uns.edu.ar](mailto:hgcb@uns.edu.ar); [florencia.pedroni@uns.edu.ar](mailto:florencia.pedroni@uns.edu.ar)

### Resumen

<p>Recibido: 12/2023</p> <p>Aceptado: 5/2024</p>	<p>El trabajo propone analizar multidimensionalmente decisiones de movilidad urbana para mejorar su impacto desde una perspectiva de desarrollo sostenible. Con el campus universitario de Palihue de la Universidad Nacional del Sur como caso de estudio, se plantea un método de investigación-acción, con alcance descriptivo y enfoque mixto. Mediante un diagnóstico con fuentes de información trianguladas, se consigue describir la situación actual en las decisiones de movilidad urbana de la comunidad universitaria, identificando factores influyentes y dificultades, lo que permite analizar mejoras proponiendo cambios tendientes a reducir contaminación sonora, contaminación ambiental, impacto económico y social del transporte, y otros aspectos relacionados con la calidad de vida.</p> <p>A partir del análisis de las alternativas de movilidad, se elabora una matriz que evalúa cualitativamente los impactos de cada medio de transporte y luego se realiza una valoración monetaria de los impactos económicos, ambientales y sociales de una de las propuestas de movilidad sostenible, que consiste en el empleo de bicicletas a pedal para trasladarse desde hacia el campus universitario objeto del estudio, en comparación con el uso de automóviles a combustión con un solo ocupante.</p> <p>Del análisis se concluye que el valor del tiempo adicional por realizar una movilidad activa supera el ahorro en costos de combustible bajo los supuestos del caso base, la dimensión ambiental no resulta relevante en términos relativos valorando solo emisiones de dióxido de carbono y finalmente la dimensión social es la que genera mayor impacto en términos relativos, por los beneficios en la salud producto de la movilidad activa.</p>
<p><b>Palabras clave</b></p> <p>Movilidad urbana</p> <p>Desarrollo sostenible</p> <p>Valoración eco-socio-ambiental</p>	

Copyright: Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de Buenos Aires.

ISSN: 2250-687X - ISSN (En línea): 2250-6861

# SUSTAINABLE URBAN MOBILITY ALTERNATIVES FOR A UNIVERSITY CAMPUS: IMPACT MATRIX AND ECO-SOCIAL-ENVIRONMENTAL ASSESSMENT

Gabriela Pesce<sup>1</sup>; Héctor Chiacchiarini<sup>2</sup> y Florencia Pedroni<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup> Instituto de Investigación en Ciencias de la Administración. Departamento de Ciencias de la Administración. Universidad Nacional del Sur (IICA, DCA, UNS). Calle San Andrés 800 – Campus Altos del Palihue -(8000) Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires. Argentina

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Computadoras, Universidad Nacional del Sur (DIEC, UNS); Instituto de Investigaciones en Ingeniería Eléctrica “Alfredo C. Desages” (UNS-CONICET); Centro de Competencias en Movilidad Sustentable, Universidad Nacional del Sur (CCMS, UNS)

[gabriela.pesce@uns.edu.ar](mailto:gabriela.pesce@uns.edu.ar); [hoch@uns.edu.ar](mailto:hoch@uns.edu.ar); [florencia.pedroni@uns.edu.ar](mailto:florencia.pedroni@uns.edu.ar)

## Abstract

### KEYWORDS

Urban mobility  
Sustainable development  
Eco-socio-environmental  
assessment

The project proposes a multidimensional analysis of urban mobility decisions to enhance their impact from a sustainable development perspective. Using the Palihue campus of the national university Universidad Nacional del Sur as a case study, a research-action method is proposed, with a descriptive scope and a mixed approach. Through a diagnosis with triangulated information sources, the current situation in the urban mobility decisions of the university community is described, identifying influential factors and challenges. This allows for the analysis of improvements by proposing changes aimed at reducing noise pollution, environmental pollution, economic and social impact of transportation, and other aspects related to the quality of life.

Based on the analysis of mobility alternatives, a matrix is developed that qualitatively assesses the impacts of each mode of transportation. Subsequently, a monetary evaluation of the economic, environmental, and social impacts of one sustainable mobility proposal is conducted. This proposal involves using pedal bicycles for commuting to and from the university campus under study, in comparison to using combustion engine cars with a single occupant.

The analysis concluded that the additional time value of engaging in active mobility exceeds the savings in fuel costs under the base case assumptions. The environmental dimension is not significant in relative terms when assessing only carbon dioxide emissions. Finally, the social dimension has the greatest relative impact due to the health benefits of active mobility.

Copyright: Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de Buenos Aires.

ISSN: 2250-687X - ISSN (En línea): 2250-6861

## 1. INTRODUCCIÓN

La Universidad Nacional del Sur (UNS) cuenta con un campus sito en la zona de Altos de Palihue en Bahía Blanca (Argentina). Su crecimiento se ha generado siguiendo lineamientos clásicos relativos a accesos, circulación de vehículos y peatones, estacionamientos y disposición de infraestructura. Este trabajo se desarrolla en el marco de un proyecto que propone analizar multidimensionalmente hábitos, infraestructura y medios de transporte actualmente utilizados en dicho campus, en relación a otras alternativas de movilidad urbana para mejorar su impacto desde una perspectiva de desarrollo sostenible. La propuesta se desarrolla en la órbita del Centro de Competencias en Movilidad Sustentable de la UNS, en el marco de un proyecto interinstitucional de investigación aplicada que fue aprobado por la Organización Universitaria Iberoamericana, en una convocatoria específica de investigación colaborativa sobre la aplicación de los objetivos de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas.

Se plantea un método de investigación-acción centrada en dicho campus universitario como caso de estudio, con alcance descriptivo y enfoque mixto. Mediante un diagnóstico con fuentes de información trianguladas, se consigue describir la situación actual en las decisiones de movilidad urbana de la comunidad universitaria, identificando factores influyentes y dificultades, lo que permite analizar mejoras proponiendo cambios tendientes a reducir contaminación sonora, contaminación ambiental, impacto económico y social del transporte, y otros aspectos relacionados con la calidad de vida de las personas que allí trabajan y estudian.

Por ello, a partir de un análisis con un panel de expertos en diferentes disciplinas y en función de las dificultades relevadas, se analizan propuestas para cada medio de transporte desde la perspectiva del desarrollo sostenible, tales como: desarrollo de senderos alternativos, ciclistas ecológicos provistos con energía renovable, bicicletas compartidas, aumento en frecuencia de líneas de colectivos, software para incentivar el *carpooling*, mejoras en infraestructura para peatones y microvehículos, actividades de sensibilización de la comunidad, entre otras. En la evaluación de tales propuestas es clave la consideración de los impactos ambientales, sociales y económicos de cada modalidad de traslado, en pos de incentivar en mayor medida aquellos medios con más externalidades positivas y/o menores impactos negativos. En este sentido, la movilidad activa (a pie o en bicicleta) es la que presenta menores costos económicos para distancias reducidas, menor impacto ambiental tanto en su uso como en su fabricación, y mayores beneficios sociales en términos de salud de los usuarios. Las ideas más factibles y con mayor consenso serán propuestas a la UNS para su eventual implementación.

## 2. EL ANÁLISIS DE PROPUESTAS

A partir del análisis de las alternativas de movilidad, surge la propuesta de una matriz que evalúa cualitativamente los impactos de los medios de transporte (sección 2.1), para luego proceder a una valoración cuantitativa de los impactos de una de las propuestas, no solo económicos, sino también ambientales y sociales (sección 2.2). Esta valoración es parcial (dado que no todas las

externalidades se internalizan financieramente en este avance) y bajo el precepto del análisis marginal, considerando sólo flujos incrementales respecto a la situación actual de la moda de población que asiste al campus, que lo hace en vehículo a combustión privado con un solo ocupante.

## 2.1. Análisis cualitativo: matriz de impactos

En la tabla 1 se presenta una matriz que analiza cualitativamente para cada medio de transporte, los atributos ambientales, económicos y socio-culturales. Cada columna representa un medio de movilidad, ordenada por tamaño de vehículo y sombreada con un color que identifica el tipo de movilidad: activa (a pie y en bicicleta a pedal) en color verde, eléctrica (bicicleta, monopatín, motocicleta, automóvil y colectivo) en tono amarillo, y a combustión (motocicleta, automóvil y colectivo) en celeste. Se describen a continuación los impactos de los medios de transporte analizados por dimensión: ambiental, económica y socio-cultural.

### Dimensión ambiental

En la dimensión ambiental se observa mayor impacto en emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y contaminación auditiva dado por los vehículos a combustión, y mayor dificultad de reciclado de baterías en los vehículos eléctricos (en proporción a la capacidad de almacenamiento de sus baterías). En cuanto al efecto sobre el ambiente por contaminación y desechos de fabricación, así como por la incapacidad de reciclado de materiales, el mayor impacto lo producen los vehículos más grandes y complejos.

Con referencia a la fuente de energía, el impacto más relevante proviene de los vehículos que usan fuentes energéticas no renovables. Ello puede incluir los vehículos a combustión que no usan 100% de biocombustibles y también los vehículos eléctricos que toman energía eléctrica generada con fuentes fósiles.

Cuando se analizan los aspectos climáticos, corren con desventaja los medios de transporte que mantienen al pasajero expuesto a la acción del clima (ej. movilidad a pie, o bicicleta). Y con respecto de la extracción de energía a partir de fenómenos climáticos, los vehículos que más pueden aprovechar eso son los que usan energía eléctrica y/o biocombustibles.

### Dimensión económica

En referencia a la dimensión económica, los costos de funcionamiento explícitos se incrementan en términos absolutos con el tamaño del vehículo, aunque si se lo considera por pasajero, el transporte en colectivo ofrece una reducción importante de costos. En términos de inversión, los costos son mayores para los vehículos más grandes y sofisticados. El costo del tiempo de traslado (aspecto complejo que requeriría un análisis muy detallado considerando las características y actividad de la persona transportada) puede cuantificarse en forma simple asignando un costo representativo por minuto de duración de traslado, que contemple características y actividad más representativa del grupo mayoritario de pasajeros.

Con respecto de la infraestructura de apoyo y servicios necesaria para mantener en operación al vehículo, los menores costos se encuentran con las alternativas de movilidad activa. Siguen los vehículos eléctricos pequeños que pueden recargarse de la red eléctrica domiciliaria (ya

existente), luego los vehículos a combustión interna en proporción a su potencia y por último los vehículos eléctricos que requieren infraestructura de recarga especial, que aún no se ha desplegado en esta ciudad.

### **Dimensión sociocultural**

En la dimensión sociocultural, el riesgo físico generado por el medio de transporte y su interacción con los demás es mayor cuando el vehículo transita por las calles. El transporte a pie es de menor riesgo porque solo involucra la interacción con otros vehículos durante el cruce de calles y en otras pocas ocasiones. Siguen en nivel de riesgo los vehículos con estructura de seguridad incorporada (en general vehículos de cuatro ruedas) y presentan mayor riesgo los vehículos pequeños (dos ruedas) que circulan por las calles. El transporte público ofrece mayor seguridad al pasajero dado su tamaño, su recorrido preestablecido, y la cantidad de pasajeros transportados que hace que el riesgo de accidente individual se distribuya entre los pasajeros.

Con referencia a la contribución del medio de transporte a la salud del pasajero y en general a la salud de la población, los mayores contribuyentes son los medios de movilidad activa, siempre que se tomen medidas precautorias por riesgos de accidentes durante el traslado. En casos particulares de pasajeros con dificultades motrices, la movilidad activa afecta su salud mucho más que los vehículos donde el pasajero viaja dentro de un habitáculo. Respecto a la salud general de la población, se producirá un mayor deterioro cuantas más emisiones contaminantes, más ruido, y más riesgos de accidente generen los vehículos en uso.

En relación a la accesibilidad, se tiene en cuenta la posibilidad de la persona de hacerse de un vehículo particular de determinadas condiciones, o si tiene capacidad para subirse y utilizar los distintos tipos de medios de transporte. Si se analiza en términos de capacidad económica, naturalmente los vehículos más caros ofrecen mayor barrera de acceso. Si se considera la posibilidad de subirse y utilizar medios de transporte público se abren al menos dos dimensiones: la barrera física de acceso para personas con dificultades, y el costo del pasaje. En los vehículos privados, además de la barrera de costos, la habilidad física/psíquica de la persona condiciona la posibilidad de uso.

Dentro del factor referido a la comodidad del pasajero durante el transporte, cabe analizar la condición ambiental dentro del medio de movilidad, el nivel de ruidos y vibraciones, la calidad del aire en el interior, y otros aspectos relacionados. En transporte público se agrega la congestión dentro del vehículo, y el posible temor al contagio de enfermedades. En los casos de movilidad activa, naturalmente son opciones más incómodas, pero debe complementarse ello con el nivel de deseo de la persona por practicar dicha forma de movilidad.

Con referencia al riesgo de robo o hurto, el mismo es dependiente del recorrido a realizar y las condiciones del contexto donde se transita. Vehículos grandes y pequeños están expuestos a ser afectados por delitos, pero el pasajero está más expuesto cuando utiliza vehículos de dimensión y potencia pequeña, o transita a pie. En cuanto al transporte público, el riesgo de robo se ve aumentado por las características propias del vehículo, que al estar en movimiento impide que los pasajeros puedan implementar estrategias de defensa frente al ataque de delincuentes.

Los vehículos eléctricos y aquellos impulsados a gas natural comprimido (GNC) requieren ser recargados en puntos específicos. Ello lleva al pasajero y conductor a preocuparse por conseguir un punto de recarga cercano ni bien empieza a notar que la reserva de energía se está agotando. Esto se conoce como ansiedad de rango, que lleva al conductor a no hacer uso completo de la energía almacenada en su vehículo, sino reservar cierta cantidad para asegurarse encontrar un punto de recarga lo que torna más problemático el uso de estos medios de transporte. En

contraste, los vehículos impulsados por combustibles líquidos tienen la opción de ser recargados usando recipientes portátiles con combustible, y por ello el conductor no tiene en mente permanentemente la inquietud de recargar antes que la energía se agote.

Con referencia a las dificultades por congestión de tránsito, naturalmente los vehículos de mayor porte son los más afectados. Salvo el caso del transporte público, si es que existen carriles exclusivos para ellos. La movilidad activa permite soslayar mucho más fácilmente los problemas de congestión de tránsito, a la vez de aliviar el problema de embotellamiento.

Por último, al considerar el empleo de los distintos tipos de vehículos para uso en el sector productivo, las opciones menos viables son aquellas en las que el vehículo no brinda capacidad de transporte de mercadería, o no ofrece suficiente velocidad y potencia para cubrir los trayectos en tiempos razonables. Se suma a ello el nivel de comodidad que ofrece el vehículo para conductores y pasajeros que deben estar muchas horas por día sobre el vehículo.

Tabla 1: Atributos ambientales, económicos y socio-culturales por medio de movilidad

Dimensión	Puntos clave / criterios	A pie	Bicicleta a pedal	Bicicleta eléctrica	Mono-patin eléctrico	Moto eléctrica	Moto a combustión	Auto-móvil a combustión	Auto-móvil eléctrico	Autobús a combustión	Autobús eléctrico
Ambiental	Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el uso y ciclo de vida	Bajo, no incremental, se asume que la persona emite GEI en forma uniforme	Bajo, 16 g. de CO2 en uso + 5 g. en fabricación=21 g. /km.	Bajo en su uso, mayor en su fabricación	Bajo en su uso, mayor en su fabricación	Bajo en su uso, mayor en su fabricación	Alto	Alto, 271 g. de CO2 /km. per cápita	Bajo en su uso, mayor en su fabricación	Alto	Bajo en su uso, mayor en su fabricación
	Contaminación auditiva	Nula	Casi nula	Casi nula	Casi nula	Casi nula	Muy alta	Alta	Casi nula	Muy alta	Moderada
	Desecho de baterías	No es necesario	No es necesario	Materiales serían 80% reutilizables pero aún difícil	Materiales serían 80% reutilizables pero aún difícil	Materiales serían 80% reutilizables pero aún difícil	Alta-mente reciclable	Alta-mente reciclable	Materiales serían 80% reutilizables pero aún difícil	Alta-mente reciclable	Materiales serían 80% reutilizables pero aún difícil
	Materiales y contaminación en proceso de fabricación	Solo calzado con un desgaste mayor que en el resto de medio de movilidad	Baja contaminación: Hierro, pintura, plástico	Media-baja contaminación: Metales, pintura, plástico, elementos eléctricos y electrónicos	Media-baja contaminación: Metales, pintura, plástico, elementos eléctricos y electrónicos	Media-baja contaminación: Metales, pintura, plástico, elementos eléctricos y electrónicos	Media: Metales, pintura, plástico y electrónica (30% reciclable)	Medio-alto: Metales, pintura, plástico y electrónica (30% reciclable)	Alto: Más peso, uso de metales, pintura, plástico, batería y electrónica 30% reciclable	Alto: Metales, pintura, plástico y electrónica 30% reciclable	Alto: Más peso, uso de metales, pintura, plástico, batería y electrónica (30% reciclable)
	Posibilidad de reutilización o reciclaje al finalizar su vida útil (economía circular)	No aplicable	Alta probabilidad	Alta probabilidad	Alta probabilidad	Probabilidad media	Probabilidad media	Probabilidad media	Probabilidad media	Probabilidad media	Probabilidad media
	Energía utilizable	Humana	Humana	Puede ser de fuentes renovables	Puede ser de fuentes renovables	Puede ser de fuentes renovables	Petróleo -no renovable	Petróleo -no renovable	Puede ser de fuentes renovables	Petróleo -no renovable	Puede ser de fuentes renovables

Dimensión	Puntos clave / criterios	A pie	Bicicleta a pedal	Bicicleta eléctrica	Mono-patín eléctrico	Moto eléctrica	Moto a combustión	Auto-móvil a combustión	Auto-móvil eléctrico	Autobús a combustión	Autobús eléctrico
Ambiental (cont.)	Dependencia climática para su uso	Alta. No es práctico ante lluvias o vientos fuertes	Alta. No es práctico ante lluvias o vientos fuertes	Alta. No es práctico ante lluvias o vientos fuertes	Alta. No es práctico ante lluvias o vientos fuertes	Alta. No es práctico ante lluvias o vientos fuertes	Alta. No es práctico ante lluvias o vientos fuertes	Utilizable Puede cambiar el consumo de combustible	Utilizable Puede cambiar el consumo energético	Utilizable Puede cambiar el consumo de combustible	Utilizable. Puede cambiar el consumo energético.
	Aprovechamiento del clima p/energía	Innecesario	Innecesario	Posible	Posible	Posible	No viable	No viable	Posible	No viable	Posible
Económico	Costos de funcionamiento explícitos	Nulo	Muy bajos	Bajos	Bajos	Bajos	Medios	Altos, mayoritariamente costos fijos	Altos, mayoritariamente costos fijos	Altos, mayoritariamente costos fijos	Altos, mayoritariamente costos fijos
	Inversión	Baja	Media-baja	Media	Media	Media	Media	Alta	Alta	Inversión alta pero compartida	Inversión alta pero compartida
	Tiempo de traslado (costo de oportunidad)	Alto	Medio	Medio	Medio	Medio	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo en traslado, medio en espera	Bajo en traslado, medio en espera
	Infraestructura necesaria	La existencia de veredas o superficies con pocos desniveles	Se requieren biciesendas en buen estado	Se requieren biciesendas en buen estado	Se requieren biciesendas en buen estado	Se ensambla con tránsito vehicular	Se ensambla con tránsito vehicular	Estado de las calles toma relevancia	Estado de las calles toma relevancia	Estado de las calles toma relevancia	Estado de las calles toma relevancia
Social-cultural	Riesgo físico / seguridad vial	Probabilidad de accidente: muy baja	Probabilidad de accidente: media-baja	Probabilidad de accidente: media-baja	Probabilidad de accidente: media-alta	Probabilidad de accidente: media-alta	Probabilidad de accidente: media-alta	Probabilidad de accidente: media-baja	Probabilidad de accidente: media-baja	Probabilidad de accidente: baja	Probabilidad de accidente: baja
	Contribución a la salud del usuario y de la comunidad	Mejora, actividad física	Mejora, actividad física	Actividad física baja, equilibrio	Actividad física baja, equilibrio	Actividad física baja, equilibrio	Nada	Nada	Nada	Nada	Nada
	Accesibilidad	Puede ser limitante para alternativas con discapacidad física	Con barreras para personas con discapacidad física	Con barreras para personas con discapacidad física	Con barreras para personas con discapacidad física	Con barreras para personas con discapacidad física	Con barreras para personas con discapacidad física	Adaptable	Adaptable	Adaptable	Adaptable
	Comodidad	Baja	Baja	Baja	Muy baja	Media-baja	Media-baja	Alta	Alta	Media	Media
	Exposición al hurto/robo (seguridad)	Alta	Alta	Alta	Alta	Media-baja	Media-baja	Baja	Baja	Media-baja	Media-baja

Dimensión	Puntos clave / criterios	A pie	Bicicleta a pedal	Bicicleta eléctrica	Mono-patín eléctrico	Moto eléctrica	Moto a combustión	Auto-móvil a combustión	Auto-móvil eléctrico	Autobús a combustión	Autobús eléctrico	
Social-cultural (cont.)	Ansiedad de rango	No genera	No genera	Ansiedad de rango media en tanto se pueda pedalear al agotar batería	Alta ansiedad de rango	Alta ansiedad de rango	Ansiedad de rango baja por contar con numerosas estaciones de servicio	Ansiedad de rango baja por contar con numerosas estaciones de servicio	Alta ansiedad de rango	Ansiedad de rango baja por contar con numerosas estaciones de servicio		
	Congestión tránsito	Fluidez para caminar	Aligera el tránsito	Aligera el tránsito	Aligera el tránsito	Aligera el tránsito	Aligera el tránsito	Aligera el tránsito	Aligera el tránsito	Aligera el tránsito	Aligera el tránsito	Aligera el tránsito
	Empleo para sector productivo	No influye en generación de empleo	Genera empleo en menor cuantía	Genera empleo en menor cuantía	Genera empleo en menor cuantía	Genera empleo en menor cuantía	Genera empleo en menor cuantía	Industria automotriz es mano de obra intensiva	Industria automotriz es mano de obra intensiva	Industria automotriz es mano de obra intensiva	Industria automotriz es mano de obra intensiva	Industria automotriz es mano de obra intensiva
	Sensibilización cultural a favor de ODS	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Baja	Baja	Alta	Baja	Alta

Fuente: elaboración propia.

## 2.2. Análisis cuantitativo de internalización de impactos para una propuesta de movilidad sostenible

De las múltiples variables descritas cualitativamente, se han rescatado aquellas que se consideran más relevantes para el análisis cuantitativo a realizar. Las distintas opciones para movilidad pueden ser comparadas en relación a los distintos impactos ambientales, económicos y sociales. El análisis de múltiples impactos en simultáneo requiere de una ponderación criteriosa sobre la relevancia relativa de cada uno de ellos, lo que puede llevar a distintos escenarios posibles según los criterios que se apliquen para dicha ponderación. Así, podrán desarrollarse, por ejemplo, análisis específicos de impacto para la movilidad en entornos densamente poblados o entornos abiertos, para escenarios donde la economía circular es prioritaria, para casos donde se busque cuantificar costos por encima de beneficios sociales o sanitarios, y otros que puedan ser de interés.

En esta sección se realiza una valoración monetaria de los impactos económicos, ambientales y sociales de una de las propuestas de movilidad sostenible que consiste en el empleo de bicicletas a pedal para trasladarse desde-hacia el campus universitario objeto del estudio, en comparación con el uso de automóviles a combustión con un solo ocupante. Esta valoración es **parcial** dado que no todas las externalidades identificadas en la sección 2.1 se internalizan monetariamente en este avance. Se trabaja bajo el precepto del **análisis marginal**, considerando sólo flujos incrementales respecto a la situación actual de la moda de población que asiste al campus, que lo hace en vehículo a combustión privado con un solo ocupante.

### 2.2.1. Supuestos para la cuantificación monetaria de efectos ambientales, sociales y económicos

La propuesta de movilidad sostenible elegida (movilidad activa en bicicleta a pedal versus movilidad en vehículo a combustión con un solo ocupante) se proyecta para dos escenarios, a saber: (A) sin sistema de bicicletas a pedal públicas y (B) con la existencia de un sistema de bicicletas a pedal públicas que conectan el campus de Palihue con el complejo de Alem (ambos de la UNS) y con otros puntos de la ciudad de Bahía Blanca.

Los datos y supuestos usados para el análisis se exhiben en la tabla 2 organizados en tres paneles (A, B, C). Las celdas coloreadas en celeste corresponden a parámetros críticos del análisis y son sensibilizados en la sección 2.2.3.

Tabla 2: Supuestos y datos de entrada para el caso base

PANEL A: Descripción de la población objeto de estudio	%	Dato	Unidad medida	Fuente, observaciones
Población campus Palihue UNS		18.507	Personas	Estimación según anuario UNS, incluye docentes, no docentes, alumnos y otros
Movilidad en vehículo a combustión privado (VCP)	50,20%	9.290	Personas	Promedio ponderado según observación directa en ambas entradas al campus
Población menor a 45 años	86,26%	15.964	Personas	Proporción obtenida del cuestionario a comunidad universitaria UNS, se aplica para alinear con estimación HEAT <sup>7</sup>
Población con bicicleta propia	35,80%	6.625	Personas	Proporción obtenida del cuestionario a comunidad universitaria UNS
Población que probablemente usaría bicicletas compartidas	47,24%	8.743	Personas	Proporción obtenida del cuestionario a comunidad universitaria UNS (considerando respuestas medianamente probable o muy probablemente)
Distancia diaria promedio		6	Km/año	Según distancia más probable del cuestionario a comunidad UNS (3 km), considerando ida y vuelta 6 km.
Días en el año con movilidad al campus		200	Días	Estimación con 5 visitas semanales durante 10 meses (de marzo a diciembre)
Distancia recorrida anualmente		1.200	Km/año	Distancia diaria promedio * días en el año con movilidad al campus
Máximo de personas que podrían cambiar su hábito de movilidad:				
• Escenario A: sin sistema de bicicletas a pedal públicas		2.869	Personas	Población que va en VCP, que tiene bicicleta propia y es menor de 45 años, según cuestionario comunidad UNS
• Escenario B: con sistema de bicicletas a pedal públicas		6.655	Personas	Población que va en VCP, que tiene bicicleta propia o usaría bicicleta pública (mediana o muy probablemente) y es menor de 45 años, según cuestionario comunidad UNS
Proporción de personas que se supone cambian su movilidad [X%]		20	%	Supuesto conservador sensibilizable
Cantidad de personas que efectivamente cambian su movilidad:				
• Escenario A: sin sistema de bicicletas a pedal públicas		574	Personas	[X%] * Máximo de personas que podrían cambiar su hábito de movilidad en escenario A
• Escenario B: con sistema de bicicletas a pedal públicas		1.331	Personas	[X%] * Máximo de personas que podrían cambiar su hábito de movilidad en escenario B

(continúa en página siguiente)

Tabla 2: Supuestos y datos de entrada para el caso base (cont.)

<b>PANEL B: Datos para calcular impactos por dimensión</b>	<b>%</b>	<b>Dato</b>	<b>Unidad medida</b>	<b>Fuente, observaciones</b>
<b><i>Dimensión económica</i></b>				
Tiempo de traslado en bicicleta a pedal		0,0833	H/km	Estimación en base a observación participante
Tiempo de traslado en auto		0,033	H/km	Estimación en base a observación participante
Valor hora persona		3,827	US\$/h	Estimación considerando un sueldo mensual de 612 US\$
Velocidad promedio bicicleta a pedal		14	Km/h	Estimación usada por HEAT de OMS
Litros nafta por km para VCP		0,0833	Lt/km	Calculado con un consumo promedio en ciudad de 12 km/litro, para un VCP naftero tipo.
Precio nafta		0,6122	US\$/lt	Calculado considerando un valor de 300 \$/litro de nafta Premium (valor a junio 2023).
<b><i>Dimensión ambiental</i></b>				
Emisiones de dióxido de carbono		0,0002	Tn/km	Los motores nafteros emiten aproximadamente 2,3 kg de dióxido de carbono por litro de nafta consumido.
Valor carbono mercado libre (emisiones voluntarias)		17,50	US\$/tn	Según noticias diarios argentinos, entre 10 y 30 US\$
<b><i>Dimensión social</i></b>				
Muertes prematuras que se previenen por movilidad activa		3,5	Muertes	Estimación con HEAT de la OMS
Valor de Vida Estadístico (VSL) por muerte prematura		1.791.000,00	US\$	Estimación con HEAT de la OMS
Probabilidad de robo bicicleta		0,014	%	Según estadística tomada de noticia de robo en campus universitario (8 en 57.000 en un mes en Buenos Aires)
Valor bicicleta a pedal		350,00	US\$	Valor estimado de bicicleta a pedal de calidad intermedia
<b>PANEL C: Datos y supuestos generales</b>				
		<b>Dato</b>	<b>Unidad medida</b>	<b>Fuente, observaciones</b>
Horizonte temporal de análisis		10	años	En línea con estimación HEAT de la OMS
Tipo de cambio de referencia		490,00	ARS/US\$	Dólar de mercado paralelo a fines de junio 2023
Tasa de costo de oportunidad social		4,88%	anual	Se considera como proxy el retorno de los US T-bonds de las últimas 3 décadas (1993-2022)
Se considera un vehículo mediano, naftero (77,63%), con entre 7 y 27 años de antigüedad (61,54%)				
Los costos fijos del VCP y de la bicicleta no son incrementales (ej. seguro)				
Nota: VCP es Vehículo a combustión privado, HEAT nombre de herramienta de la Organización Mundial de la Salud (OMS)				

Fuente: elaboración propia.

El panel A de la tabla 2 exhibe los datos de la población objeto de estudio que provienen del diagnóstico de la situación de movilidad en el campus de Palihue UNS realizado durante el segundo semestre de 2022 (Pesce et al., 2023; Grassi et al., 2023). Los datos primarios se

obtuvieron con diferentes instrumentos de recolección: (i) observaciones directas y conteo protocolizado del ingreso y egreso de pasajeros segregado por medio de transporte en ambas entradas al campus universitario de Palihue (por calle San Andrés y por Av. Cabrera) mediante filmaciones en cinco franjas horarias diurnas que totalizaron más de 30 horas de grabación y una franja nocturna a partir del procesamiento de videos de una cámara municipal; (ii) cuestionario en línea a la comunidad universitaria del campus de Palihue para conocer el tipo de movilidad empleado, los factores que influyen en las decisiones de movilidad, su propensión a otras alternativas de movilidad y propuestas de mejora; (iii) relevamiento por observación directa del parque automotor en los diferentes estacionamientos del campus universitario de Palihue.

El panel B de la tabla 2 contiene datos recuperados de diversas fuentes para calcular los impactos que son cuantificados en este avance de la propuesta, agrupados por dimensión. Dentro de los **efectos económicos**, se contemplan los minutos incrementales por el traslado en bicicleta respecto a la movilidad en vehículo, aunque no se incluye el tiempo de atado de la bicicleta ni el tiempo de conseguir estacionamiento para el vehículo a combustión ya que se consideran similares (no incremental por cambio de medio).

La cuantificación económica del tiempo de traslado, estacionamiento, higiene o cambio de ropa, y demás asuntos que cada medio de transporte incluye, resulta de extrema complejidad porque cada persona en su contexto considera a su tiempo de distinta manera (de Rus Mendoza et al., 2006, pág. 111). Habrá gente que relaciona el tiempo de viaje con pérdida de ingresos, o de clientes, o retrasos en la entrega de producto, otros que consideran su tiempo de transporte como un momento de relax, distracción o descanso, otros que podrían considerar el tiempo como una inversión para su salud, etc. Por ello, asignar un valor monetario a ese tiempo de traslado podría eventualmente servir para cuantificar dicho aspecto para determinado tipo de población en movimiento, pero si se quisiera hacer análisis particulares para distintos grupos de personas haría falta recabar estadísticas sobre el peso relativo de cada grupo dentro del contexto de personas en movimiento. Por lo expuesto, en la dimensión económica, se ha decidido incluir el costo de oportunidad del tiempo incremental por cambio de movilidad cuantificado con un salario promedio, aunque bien podrían utilizarse otros criterios.

Dentro de la **dimensión ambiental**, se valoriza el ahorro en emisiones de dióxido de carbono por ser de los gases de efecto invernadero (GEI) el que representa mayor volumen de emisión y cuenta con un mercado que permite monetizarlo de manera relativamente sencilla, incluso con reducciones voluntarias. Con referencia a otros gases de efecto invernadero como metano u óxidos nitrosos, el mercado de carbono los asimila a cantidades equivalentes de CO<sub>2</sub> para poder englobarlos dentro del propio mercado. Los vehículos de transporte emiten dichos gases, que en términos generales impactan mucho más por unidad de masa que el CO<sub>2</sub>, pero lo hacen en cantidades mínimas que en principio no justifican un análisis más detallado ya que la contribución de los vehículos al efecto invernadero respecto de dichos gases es solo un porcentaje pequeño comparado con las fuentes naturales, como volcanes.

En la **dimensión social**, la cuantificación del impacto por los beneficios de la movilidad activa representa un desafío. Para ello, se emplea la herramienta de evaluación económica de la salud para los desplazamientos a pie y en bicicleta HEAT (por sus siglas en inglés *Health economic assessment tools*) de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2014). Se trata de un instrumento

que permite estimar el beneficio máximo y el beneficio medio anual que el uso de la bicicleta o la actividad de caminar pueden reportar en términos de reducción de la mortalidad. En otras palabras, ayuda a contestar la siguiente pregunta: “Si  $x$  personas montan en bicicleta o caminan durante  $y$  minutos la mayoría de los días, ¿cuál es el valor económico de los beneficios para la salud obtenidos gracias a la reducción de la mortalidad asociada a su nivel de actividad física?” (OMS, 2014, pág. 21). La herramienta HEAT está disponible en [www.heatwalkingcycling.org](http://www.heatwalkingcycling.org). Para este estudio se ejecutó con la opción básica e ingresando parámetros de la población según panel A de la tabla 2: 18.507 personas, de las cuales el 86,26 % es menor a 45 años (ya que en HEAT se puede considerar el rango etario, habiéndose elegido “adultos jóvenes” de 20 a 44 años), con una distancia diaria promedio recorrida en bicicleta a pedal de 6 km.

Dentro del impacto social también se considera el riesgo de robo de la bicicleta, monetizado con el valor de reposición de una bicicleta de calidad intermedia por una probabilidad de ocurrencia estimada. Como alternativa, la cuantificación de este efecto podría sustituirse por el costo de un seguro que cubra dicho siniestro.

Finalmente, el panel C de la tabla 2 contiene datos y supuestos generales considerados en el análisis, como el horizonte temporal y el vehículo a combustión tipo considerado. En relación al valor del dinero en el tiempo, para no castigar la evaluación de proyectos con impactos sociales y ambientales positivos, se suele recomendar el uso de una tasa de rendimiento libre de riesgo (Sapag Chain et al., 2014). En este caso, se toma como proxy el rendimiento promedio histórico de títulos soberanos norteamericanos de largo plazo, considerando el retorno de los US T-bonds de las últimas 3 décadas (1993-2022), de 4,88% anual (Damodaran, 2023).

### 2.2.2. Proyección de flujos incrementales y criterios de evaluación

Considerando los supuestos y condiciones de borde enunciados en el apartado anterior, se procede a la estimación de flujos de fondos anuales para cada impacto, segregando por perspectiva en ambos escenarios proyectados (tabla 3). La estimación de flujos de  $t = 1$  en adelante en términos per cápita es igual para ambos escenarios, siendo diferencial la inversión inicial y la cantidad de personas que realizan el cambio de hábito en su movilidad.

Respecto a la inversión inicial (FF  $t = 0$ ), el escenario B contempla la compra de 100 bicicletas (US\$ 35.000), bicicleteros y kits de reparación para ambos campus universitarios (US\$ 6.334) y actividades de sensibilización (US\$ 10.000), totalizando US\$ 51.334. Por otro lado, en el escenario A se contemplan los dos últimos conceptos de inversiones, arribando a un valor de US\$ 16.334.

Tabla 3: Valoración de impactos mediante flujos de fondos en el escenario A y B

Estimación de flujos (US\$)	Escenario A		Escenario B		Estimación per cápita	
	FF $t = 0$	FF $t = 1 a 10$ anual total	FF $t = 0$	FF $t = 1 a 10$ anual total	FF $t = 1 a 10$ anual per cápita	% importancia relativa
Inversión inicial	-16.334		-51334			
<b>Dimensión económica</b>						
Ahorro de combustible		35.131,00		81.487,00	61,22	
Costo adicional por tiempo de traslado		-132.530,00		-307.411,00	-230,97	<b>-74,81%</b>
<b>Dimensión ambiental</b>						
Ahorro por reducción CO2		2.310,00		5.357,00	4,03	<b>1,77%</b>
<b>Dimensión social</b>						
Ahorro por mejoras en salud		225.310,00		52.2618,00	392,66	
pérdida esperada por exposición a robo/hurto		-28,00		-65,00	-0,05	<b>173,04%</b>
Flujo de fondos (FF) total	-16.334,00	13.0192,00	-51.334,00	301.986,00	226,89	
<b>TIR: Tasa Interna de Retorno</b>		<b>797%</b>		<b>588%</b>		
<b>VAN: Valor Actual Neto</b>		<b>\$994.855</b>		<b>\$2.294.174</b>		

Fuente: elaboración propia.

Del análisis individual puede derivarse que si solo se consideran los impactos económicos para una persona que ya cuenta con automóvil y bicicleta (cuyos costos fijos no son incrementales), el valor del tiempo adicional por realizar una movilidad activa supera el ahorro en costos de combustible bajo los supuestos en el caso base. Es decir, en estas condiciones en términos

personales, no hay incentivos económicos para dejar de usar el auto, aunque debe reconocerse que el combustible es un costo erogable y el costo de oportunidad es implícito y dependiente de lo mencionado anteriormente sobre la valoración del tiempo.

Llamativamente, la valoración del impacto ambiental positivo es baja en términos relativos. Esto puede deberse a que solo se consideraron las emisiones de GEI por el uso del motor, dejándose de lado los efectos de fabricación y desecho de los vehículos por no ser incrementales, y tampoco se incluyeron las emisiones asociadas a actividades de mantenimiento que requieren insumos que podrían considerarse incrementales, como el cambio de cubiertas, lubricantes, etc.

En el análisis de la dimensión social puede observarse que los beneficios en la salud son los que generan el mayor impacto positivo por la movilidad activa, representando la exposición al robo un impacto muy bajo.

Al calcular el flujo de fondos anual internalizando los efectos ambientales y sociales, puede observarse que la decisión de realizar una movilidad activa en lugar de en vehículo a combustión privado es positiva. Los criterios de evaluación económico-financiera tradicionales, como TIR y VAN acompañan esta conclusión, arrojando valores muy superiores a los niveles de inflexión de sus reglas de decisión.

### 2.2.3. Análisis de riesgo para cada escenario

A continuación, se ejecuta un análisis de sensibilidad con parámetros que se consideran “críticos” en la estimación realizada para cada escenario. En cada sensibilización univariada directa, se modifica algún supuesto según la información presentada en la tabla 4.

Tabla 4: Sensibilización de parámetros críticos

Análisis de riesgo (AR)	Parámetro modificado	Parámetro en caso base
AR1	Costo de oportunidad del tiempo de traslado nulo	3,827 US\$/h
AR2	Costo de la nafta = 1 US\$/lt	0,6122 US\$/lt
AR3	Distancia promedio diaria recorrida = 10 km/día	6 km/día
AR4	Proporción de personas que cambian hábito de movilidad = 10%	20%
AR5	Proporción de personas que cambian hábito de movilidad = 40%	20%
AR6	Valor del carbono = 30 US\$/tn	17,50 US\$/tn
AR7	Litros nafta por km = 0,125 lt/km	0,0833 lt/km
AR8	Valor de vida estadístico (VSL) por muerte prematura = US\$ 895.500 (50%)	US\$ 1.791.000

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 5 se presentan los resultados del análisis de sensibilidad para ambos escenarios. En todos los casos el proyecto de movilidad activa es conveniente desde el punto de vista del desarrollo sostenible.

Tabla 5: Análisis de sensibilidad

AR	FF per cápita	% DE	% DA	% DS	TIR esc. A	VAN esc. A	TIR esc. B	VAN esc. B
ESC. B	226,89	-74,81%	1,77%	173,04%	797%	0,995M	588%	2,294M
AR1	457,86	<b>13,37%</b>	0,88%	85,75%	1608%	2,024M	1187%	4,682M
AR2	265,67	<b>-49,30%</b>	1,52%	147,78%	933%	1,168M	689%	2,695M
AR3	385,67	<b>-73,36%</b>	<b>1,74%</b>	<b>171,62%</b>	1355%	1,702M	1000%	3,936M
AR4	226,89	-74,81%	1,77%	173,04%	<b>399%</b>	<b>0,489M</b>	<b>294%</b>	<b>1,121M</b>
AR5	226,89	-74,81%	1,77%	173,04%	<b>1594%</b>	<b>2,006M</b>	<b>1177%</b>	<b>4,640M</b>
AR6	229,77	-73,88%	<b>3,00%</b>	170,87%	807%	1,008M	596%	2,324M
AR7	259,52	<b>-53,61%</b>	<b>2,33%</b>	151,29%	912%	1,140M	673%	2,631M
AR8	30,56	-555,41%	13,17%	<b>642,24%</b>	107%	0,120M	79%	0,265M

Referencias: AR= análisis de riesgo, ESC.B= escenario base; DE=dimensión económica; DA=dimensión ambiental; DS=dimensión social, FF= flujo de fondos, TIR= tasa interna de retorno, VAN= valor actual neto.

Fuente: elaboración propia.

### 3. CONSIDERACIONES FINALES Y FUTURAS LÍNEAS

Este artículo busca visibilizar la situación actual en materia de movilidad urbana y hacer un análisis prospectivo de posibles escenarios donde se adopten otros medios para la movilidad de personas y bienes. Si bien a lo largo del texto se detallan limitaciones inherentes a la complejidad del análisis global, se puede confirmar mediante el análisis cuantitativo del caso bajo estudio que la movilidad activa presenta beneficios sociales y ambientales netos, de manera coincidente con la hipótesis cualitativa presentada en la matriz de impactos.

Como futuras líneas de investigación, cabe la posibilidad de desarrollar estudios específicos sobre cada uno de los impactos desarrollados para completar el análisis precedente, e incluso adaptarlo para otros escenarios factibles y replicarlo en otros contextos.

Los resultados del estudio serán de utilidad para elaborar políticas tanto dentro del campus universitario como políticas públicas a incentivar en la ciudad. Además, la socialización de los resultados y la convocatoria a debate público sobre ellos permitirá acercar a los ciudadanos, información que les permita tomar las mejores decisiones desde su perspectiva.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Damodaran, A. (2023). *Historical Returns on Stocks, Bonds and Bills: 1928-2022*. Recuperado de [https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New\\_Home\\_Page/datafile/histretSP.html](https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/histretSP.html)
- de Rus Mendoza, G.; Betancor Cruz, O.; & Campos Méndez, J. (2006). *Manual de evaluación económica de proyectos de transporte*. Banco Interamericano de Desarrollo (IDB). Recuperado de <https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/Manual-de-evaluaci%C3%B3n-econ%C3%B3mica-de-proyectos-de-transporte.pdf>
- Grassi, Y.; Díaz, M.; Pesce, G.; Pedroni, F.; Rivero, A.; & Chiacchiarini, H. (2023, junio). *Motorized mobility on a Latin American university campus: a preliminary study focused on sustainability*. Documento presentado en Sustainable Smart Cities and Territories International Conference, evento híbrido: virtual y presencial en Manizales, Colombia.
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (2014). *Herramientas de evaluación económica de la salud (HEAT) para los desplazamientos a pie y en bicicleta: metodología y guía del usuario: evaluación económica de la infraestructura y las políticas de transporte*. Organización Mundial de la Salud. Recuperado de <https://apps.who.int/iris/handle/10665/105983>
- Pesce, G. (2012). *Metodología integral para la internalización de efectos ambientales en las decisiones empresariales* [Tesis de Doctorado en Economía]. Universidad Nacional del Sur. Recuperado de <http://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/2496>
- Pesce, G.; Pedroni, F.; Rivero, A.; Chiacchiarini, H; Grassi, Y.; & Díaz, M. (2023, junio). *Understanding urban mobility habits and their influencing factors on a university campus in Argentina*. Documento presentado en Sustainable Smart Cities and Territories International Conference, evento híbrido: virtual y presencial en Manizales, Colombia.
- Sapag Chain, N.; Sapag Chain, R.; & Sapag, J. M. (2014). *Preparación y evaluación de proyectos*. México DF: Mc Graw Hill educación.