



LA FORMACIÓN DE INGENIEROS:
UN COMPROMISO PARA EL
DESARROLLO Y LA SOSTENIBILIDAD

15 al 18
DE SEPTIEMBRE

20
20

www.acofi.edu.co/eiei2020

MODELAMIENTO DE SOLUCIONES SOSTENIBLES EN LA MOVILIDAD, MEDIANTE LA HERRAMIENTA FLEXSIM. CASO DE ESTUDIO TRAMO VIAL CIUDAD DE PUEBLA – MÉXICO

**Martha Lucia Belmonte Rodríguez, Rodrigo Eduardo Pardo Calderón, José
Alexander Quiroz Rangel, Alexander Reyes Moreno**

**Corporación Universitaria UNITEC
Bogotá D.C., Colombia**

Resumen

La presente investigación corresponde al desarrollo de un proyecto del Semillero GICOST del programa Ingeniería Industrial, donde se aplicaron los conocimientos adquiridos en áreas de ingeniería, transporte y logística, por medio del Software de Simulación FlexSim; para diseñar la construcción de posibles escenarios futuros, que puedan dar soluciones viables a la problemática de movilidad que aqueja a la ciudad de Puebla.

El objeto de estudio fue un tramo sobre la Avenida la Reforma partiendo desde el Bulevar Esteban de Antuñano hasta Defensores de la República. Uno de los tramos con mayores índices de congestión vehicular, siniestros viales y emisiones contaminantes. Para su estudio, se analizaron sus dimensiones, afluencia de transporte público, emisiones contaminantes PM10 y PM2.5 e índices de accidentalidad; con base a información obtenida de fuentes como la Organización de las Naciones Unidas (ONU), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), artículos emitidos por periódicos locales, estudios previos de movilidad en la ciudad emitidos por la Universidad Iberoamericana Puebla, Asociación Mexicana de Transporte y Movilidad (AMTM), Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA) y plataformas virtuales como Moovit y Google Maps.

Con los resultados obtenidos, se realizó el modelamiento en el software FlexSim, lo cual contribuyó al establecimiento de posibles soluciones como la prolongación de la línea 1 de la Red Urbana de Transporte Articulado RUTA, desde la estación Defensores de la República hasta el Bulevar Esteban de Antuñano y la construcción de un bici carril con pacificadores viales, desde la Avenida la

Reforma con la diagonal Defensores de la República hacia el centro histórico teniendo como referente la pirámide de movilidad y que la bicicleta debe posicionarse en las ciudades como uno de los principales medios de transporte y más ahora que la situación actual demanda el distanciamiento social y la movilidad sostenible.

Con estas soluciones en el sector, se disminuye el transporte público, la incidencia de siniestros viales y de emisiones contaminantes, además de promover el uso de otros medios de transporte como la bicicleta, de tanta importancia en estos tiempos de pandemia.

Palabras clave: modelamiento; movilidad; desarrollo sostenible

Abstract

This research corresponds to the development of a project of GICOST Seedbed from the Industrial Engineering program, where the knowledge acquired in engineering, transport and logistics areas was applied, through the FlexSim Simulation Software; to design the construction of possible future scenarios that can provide viable solutions to the mobility problem that afflicts the city of Puebla.

The object of study was a section on Avenida la Reforma, starting from Esteban de Antuñano Boulevard to Defensores de la República, one of the sections with the highest rates of vehicular congestion, road accidents and polluting emissions. For its study, its dimensions, influx of public transport, PM10 and PM2.5 pollutant emissions and accident rates were analyzed; based on information obtained from sources such as the United Nations (UN), National Autonomous University of Mexico (UNAM), articles issued by local newspapers, previous studies of mobility in the city issued by the Universidad Iberoamericana Puebla, Asociación Mexicana de Transport and Mobility (AMTM), National Air Quality Information System (SINAICA) and virtual platforms such as Moovit and Google Maps.

Based on the information collected, PM10 and PM2.5 emissions from vehicles, were evaluated according to traffic routes and frequencies, transport capacity and travel times in peak and valley hours. With the results obtained, the modeling was performed in the FlexSim software, which contributed to the establishment of possible solutions such as; the extension of the first line of the Urban Network of Articulated Transport RUTA from the Defensores de la República station to the Esteban de Antuñano Boulevard and the construction of a bike way with road pacifiers from Avenida la Reforma with the diagonal Defensores de la República towards the historic center, having as a reference the pyramid mobility and that the bicycle must be positioned in the cities as one of the main means of transport and more now that the current situation demand social distancing and sustainable mobility.

With these solutions in the sector, the public transport, the incidence of road accidents and polluting emissions are modified, in addition to promoting the use of other means of transport such as the bicycle, of such importance in these times of pandemic.

Keywords: modeling; mobility; sustainable development

1. Introducción

Debido al alto tráfico, número de vehículos, siniestros viales y aumento en los índices de contaminación que presenta Ciudad de Puebla – México, metrópoli más grande y una de las provincias más industrializadas de México, se tomó la decisión de hacer un modelamiento por medio del software FlexSim, para mitigar las situaciones adversas que en todos los escenarios se presentan.

Ciudad de Puebla se ubica en el centro este de México, limita con los Estados de Hidalgo, Tlaxcala, México, Veracruz, Morelos, Oaxaca y Guerrero. (Explorando México, 2020). “De acuerdo al (Consejo Nacional de población mexicana, 2018) cuenta con una superficie de 34.290 km² en su mayoría montañosa, una población promedio de 6’371.381; 5.11% de la población total y una tasa de crecimiento de 0.89 habitantes por cada mil” de la cual “según (Torres Pérez, 2018), la mayoría se ubica en la periferia con un limitado acceso a los servicios públicos, al comercio, educación y salud lo que la obliga a desplazarse largas distancias a través de vehículos particulares”.

2. Planteamiento del problema

La zona metropolitana de ciudad de Puebla, con 2.6 millones de habitantes en 36 municipios, ha evidenciado un problema de movilidad y contaminación ocasionado por el incremento vehicular; de “1.5 millones de unidades vehiculares que circulan en el estado de Puebla, cerca de la mitad se encuentran en la Zona Metropolitana y del total, una tercera parte se acumuló en la última década.” (Cancino, 2019)

Respecto a lo reportado en enero de 2020 por la estación Las Ninfas (Castillo J. , 2020), el material particulado PM10 y PM2.5 ha sobrepasado hasta 90 y 56 puntos respectivamente con relación al máximo permitido 75 y 45”, impactando gran parte de la Avenida la Reforma, vía principal que conecta el centro histórico con la periferia la cual no cuenta con el servicio del sistema RUTA ni con opciones de movilidad cero emisiones como bici carriles.

3. Justificación

Según Guillermo Aréchiga Santamarina, Secretario de Movilidad y Transporte de Puebla, “la movilidad es un derecho humano y todos deben de tener acceso a ésta en condiciones de seguridad, sostenibilidad, calidad e inclusión” ya que afecta la calidad de vida de la ciudadanía. Además, que sobre la avenida Esteban de Antuñano, se encuentran todos los cruceos peligrosos, al registrarse un alto número de accidentes automovilísticos. (Santamarina, 2019)

Con base a esta premisa y al estado actual del tramo en mención, se hace necesario plantear propuestas que permitan mejorar las condiciones de seguridad, movilidad y de medio ambiente para la ciudadanía en contraste a una transformación post-covid.

4. Objetivo general

Modelar a través del software de simulación FlexSim, una alternativa de solución a la movilidad sobre la Avenida de la Reforma.

4.1. Objetivos específicos

- Investigar las condiciones viales del área metropolitana de Puebla con base a la problemática de movilidad presentada e identificar un tramo que presente altos índices de siniestros viales, contaminación y congestión vehicular dentro de la zona de estudio.
- Analizar el tramo en términos de longitud, entorno, tiempos de recorrido y emisiones contaminantes.
- Modelar las soluciones planteadas en el tramo seleccionado y recomendar acciones de mejora.

5. Marco teórico

Con base a la (Red urbana de transporte articulado, 2020), el Sistema de Movilidad en Puebla está constituido a nivel público por autobuses de compañías privadas y una Red Urbana de Transporte Articulado (RUTA), compuesto por 104 estaciones con Buses de Tránsito Rápido y Servicio Tronco Alimentador desde Zaragoza hasta San Andrés Cholula y un sistema no motorizado llamado BiciPuebla, basado en el uso individual y compartido de la bicicleta; el cual puede utilizarse en trayectos en un radio de cobertura de 17.5 km² de la ciudad de Puebla. (Urbanbici, 2020).

A manera privada, de acuerdo a la Encuesta Intercensal 2019, el nivel de ocupación se encuentra distribuido de la siguiente manera: 21.41% carros particulares, motos y camiones, 54.06%, taxis, combis, colectivos y autos de plataformas digitales como Didi, Uber y Cabify y bicicletas un 2.08%. En los últimos tres años el parque automotor ha subido un 39.9%, pasando de 928.909 automóviles en marzo de 2017 a 1'300.000 en diciembre de 2019 de acuerdo a la Secretaría de Planeación y Finanzas (SPF).

Cabe resaltar (Torres Pérez, 2018), que si se evalúa la capacidad de transporte y ocupación de un vehículo particular respecto a un bus de servicio público; mientras que un vehículo de transporte masivo promedio ocupa un ancho de vía de 3.5m y un largo de 26m al trasladar cerca de 200 personas, en un transporte particular, el mismo traslado, equivale a 133 vehículos.

Respecto a lo reportado (Instituto mexicano de transporte, 2017), durante el 2017 se presentaron en Puebla 367 colisiones, 190 con víctimas y 121 muertos a lo cual, la (OMS, Organización Mundial de la Salud, 2020) estableció para este tipo de siniestralidades un plan mundial de acción de seguridad vial 2011-2020, para reducir víctimas fatales ocasionadas por el sector transporte a través de cinco pilares como la Gestión de la seguridad vial y las Vías de tránsito y movilidad más seguras, donde se incluye vehículos más seguros y semáforos inteligentes para reducir la congestión vial en las ciudades, la contaminación auditiva entre otros. (Fernandez, 2020).

Adicional a esto y teniendo en cuenta la situación por COVID-19 (OMS, Portafolio, 2020) se recomienda el uso de bicicletas o caminar puesto que permite el distanciamiento y ayuda a cumplir con el requisito mínimo para la actividad física diaria que se afecta por el homeoffice y el aislamiento.

6. Metodología

Para la proposición de las alternativas de solución se realizó lo siguiente:

- Identificación del tramo: delimitación, longitud, número de carriles y su zona de influencia.
- Comparativo de diferentes vehículos y los tiempos de desplazamiento en horas pico y hora valle, con base a datos tomados de Google Maps en una jornada de domingo a domingo en los siguientes horarios:
 Hora pico: 7:00 am a 9:00 am, 12:00 pm a 2:00 pm y 5:00 pm a 7:00 pm
 Hora valle: 10:00 am a 11:00am, de 3:00pm a 4:00 pm y de 8:00 pm a 11:00 pm.
- Selección de 5 de las rutas de buses de transporte público y su frecuencia de recorrido en el tramo y cálculo de emisiones PM10 y PM2.5 con base a la afluencia de buses.
- Análisis de los índices de siniestros viales reportados en diarios locales en el tramo
- Modelamiento en el software FlexSim de las soluciones propuestas.
- Análisis de resultados, conclusiones y recomendaciones.

7. Situación actual

La Avenida la Reforma desde el Bulevar Esteban de Antuñano hasta la Diagonal Defensores de la República posee una longitud de 2.7 kilómetros y 3 carriles para tránsito vehicular en ambos sentidos norte-sur, divididos por un separador vial. Algunos de los barrios cercanos son Valle del Rey, amor, Plaza Reforma, parte de San Matías y Reforma Sur.

En la Tabla 1, se muestra un comparativo entre los diferentes vehículos, tiempos de desplazamiento promedio y en la tabla 2, cinco rutas que recorren actualmente el tramo.

Tabla 1. Tiempos de desplazamiento en el tramo Av. Reforma

Tipo de transporte	Tiempo en hora pico (min)	Tiempo en hora valle (min)
Automóvil particular	22	16
Autobús tradicional	100	61
Plataformas virtuales	30	25
Taxis	32	27
Caminando	40	40
Bicicleta	18	12

Fuente: (Google maps, 2020)

Tabla 2. Rutas que pasan por el tramo

Ruta	Frecuencia (min)
R-S16 centro histórico	10
R-S14 Museo del ferrocarril	9
R-M22 centro	9
R-S25 Barrio Santa Ana	10
R-M28 Centro	10

Fuente: (Moovit, 2020)

De acuerdo con la OMS el material particulado debe ser: PM_{2,5}: 10 µg/m³, media anual y 25 µg/m³, media de 24 horas y PM₁₀: 20 µg/m³, media anual y 50 µg/m³, media de 24 horas. Las emisiones contaminantes PM_{2.5} toneladas/ año de un bus son de aproximadamente 15.8 (Bolivariana, 2018).

A continuación, en la Tabla 3, se estima la afluencia de buses públicos y las emisiones PM_{2.5} al día en el escenario actual y propuesto respecto a la reducción de partículas contaminantes tonelada/ año en autobuses que recorren el tramo.

Tabla 3. Cálculo emisiones PM_{2.5} en buses sobre el tramo en aproximadamente 10 horas

Tipo de Vehículo	PM _{2,5} Ton/Año	Escenario actual y propuesto en el tramo				PM _{2,5} Ton/Año Total	Reduccion
		Frecuencia actual de 10 Minutos	1 Hora	1 Dia	1 año		
Buses	15.8	Buses por Hora con Sistema Actual	30	300	109,500.0	1,730,100.0	-80.0%
	15.8	Buses Por Hora Con sistema Ruta	6	60	21,900.0	346,020.0	

Fuente: Los Autores

“Como lo indica (Castillo F. , 2019), el índice de accidentes viales del tramo Esteban de Antuñano–Prolongación de la Reforma al 18 de septiembre de 2019 ha reportado 8 accidentes de los cuales 7 son de autos particulares y una colisión con peatón; todos sin ninguna muerte registrada”. Dicha intersección no cuenta con pacificadores viales, reductores de velocidad ni semáforos inteligentes convirtiéndolo en uno de los cruces más peligrosos de la ciudad y “de acuerdo a (Carrizales, 2020), se está en búsqueda de obtener recursos extraordinarios para llevar a cabo la primera etapa de semaforización, por lo que requieren como mínimo 40 millones de pesos”.

Respecto al uso de otros sistemas públicos, BiciPuebla; sistema de bicicletas compartidas de la ciudad de Puebla, con 72 ciclo estaciones y 1.100 bicicletas disponibles, 850 usuarios activos y un potencial para 25.000 (Urbanbici, 2020), no resulta ser tan eficiente cuando la ciudad presenta un déficit en la Red de Ciclovías que hace que los ciclistas vean más seguro el carril de Red de Transporte Articulado que el resto de estructuras de este tipo. Entre enero y mayo de 2019 se presentaron 26 muertes de ciclistas urbanos. (Navarro, 2019).

Desde la diagonal Defensores, la avenida la Reforma continúa hasta el centro histórico zona mayormente concurrida de la ciudad, en un tramo de 2.2 kilómetros compuesto por 3 carriles en

un solo sentido abarcando barrios como la Esmeralda, San Pablo de los Frailes y Puebla de Zaragoza. “De acuerdo a (Sánchez, 2019) el desplazamiento se realiza, 44% en transporte público, 24% caminando, 14% auto particular, 11% ruta y solo el 6% bicicleta”, teniendo en cuenta la inexistencia de cicloruta en esta parte del tramo.

8. Avances de resultados y proposiciones

De acuerdo al análisis y cálculos propuestos se identifica que el tramo sobre la avenida la Reforma presenta una demora promedio para buses tradicionales de 1:40 minutos en hora pico y 1 hora en hora valle, que el tránsito de buses tradicionales tiene una frecuencia promedio de 10 minutos cada ruta y que las emisiones contaminantes PM2.5 toneladas/ año de las cinco rutas que transitan por el tramo es de aproximadamente 1'730.100 comparado con 346.020 que emitirían los buses del sistema RUTA con una frecuencia de 1 cada 10 minutos.

Con base en los resultados, se propuso dicha simulación en la Figura 1. Haciendo un paralelo con el estado actual:

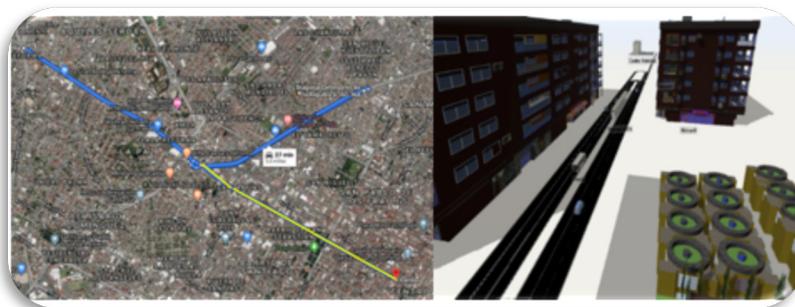


Figura 1. Simulación Av. de la Reforma con diagonal Defensores de la República: (Autores, 2020)

Se complementa con los siguientes avances:

- Carril exclusivo para el sistema RUTA dando continuidad a la línea 1 del sistema que ubica su primera estación sobre la avenida Defensores de la República con Av. 10 Pte. Puesto que se cuenta con 3 carriles en ambos sentidos y un separador vial donde pueden ubicarse las estaciones y una obra de ingeniería civil que permita crear la intercesión vial del Bulevar Esteba de Antuñano con la avenida de la reforma.
- Bici carril con pacificadores viales (línea amarilla) sobre la avenida la Reforma partiendo desde la diagonal Defensores de la República hacia al centro histórico con sus respectivas ciclo estaciones del sistema BiciPuebla”.
- SemafORIZACIÓN inteligente en la intersección vial Avenida la Reforma con Bulevar Esteban de Antuñano ubica dos de la siguiente manera: Un (1) semáforo sentido Sur-Norte que da vía al bus RUTA para giro a la izquierda hacia Bulevar Esteban de Antuñano para luego retornar a la avenida de la Reforma, un (1) semáforo, sentido Norte - Sur, dando vía a los buses que ingresan a la Avenida de la Reforma iniciando recorrido y tres (3) en la

intersección vial para dar vía al bus del sistema que retorna e ingresa a la avenida de la Reforma precedente del Bulevar Esteban de Antuñano. Se relacionan en la Figura 2.:



Figura 2. Bicicarril propuesto sobre la Av. de la Reforma desde la Av. Defensores de la Republica: (Autores, 2020)

9. Conclusiones y Recomendaciones

- La implementación de la ciclorruta con una extensión de 2.2 km, ancho de carril, delimitación y marcación según Ministerio de Transporte desde la diagonal Defensores de la República hacia al centro histórico resulta ser una excelente opción para fomentar el transporte sostenible facilitando la movilidad hacia zonas de gran concurrencia local y turística.
- Con la prolongación de la línea 1 del sistema RUTA sobre la Avenida la Reforma, saldrían de circulación las 5 rutas de servicio público actuales, lo que permitiría una reducción de PM2.5 hasta del 80% al año.
- Los semáforos inteligentes dan prioridad al peatón permitiendo la optimización del tráfico y la reducción de siniestros viales; Su implementación en la intersección Esteban de Antuñano con avenida de la Reforma sería una buena opción.
- Ante los desafíos generados por el COVID-19, el uso de la bicicleta y otros medios alternativos resulta ser la mejor opción de movilidad ya que disminuye las probabilidades de contagio además de contribuir en la mejora de la calidad del aire.
- Ampliar la cobertura de las bicicletas públicas y ciclo de manera en un sistema intermodal que permitan conectar al usuario con autobuses o líneas de RUTA, sin incurrir en costos adicionales y facilitando su desplazamiento ante la pandemia actual y pos-covid.
- Mejorar de la infraestructura de bici carriles existentes para promover la movilidad sostenible y fortalecer los controles viales para sacar de circulación los vehículos más contaminantes.

10. Referencias

Fuentes electrónicas

- Bolivariana, U. P. (2018). ACTUALIZACIÓN INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFERICAS VALLE DE ABURRÁ-AÑO 2016. Universidad Pontificia Bolivariana. Cali: Universidad Pontificia Bolivariana.
- Cancino, B. (19 de 05 de 2019). Diario el sol de Puebla. Recuperado el 15 de 03 de 2020, de <https://www.elsoldepuebla.com.mx/local/emiten-autos-el-64-de-la-contaminacion-de-puebla-3682830.html>
- Carrizales, E. C. (25 de 02 de 2020). Diario Municipios. Recuperado el 23 de 04 de 2020, de <https://municipiospuebla.mx/nota/2020-02-25/puebla/buscan-180-mdp-para-1a-etapa-del-proyecto-de-semaforizaci%C3%B3n>
- Castillo, F. (19 de 09 de 2019). Diario Municipios. Recuperado el 15 de 4 de 2020, de <https://municipiospuebla.mx/nota/2019-09-18/puebla/transporte-p%C3%BAblico-lleva-303-accidentes-viales-y-7-muertes-este-2019>
- Castillo, J. (01 de 01 de 2020). Diario la intolerancia Puebla. Recuperado el 25 de 03 de 2020, de <https://intoleranciadiario.com/articulos/2020/01/01/956990-puebla-recibe2020-con-smog.html>
- Explorando México. (2020). Explorando México. Recuperado el 10 de 03 de 2020, de <https://www.explorandomexico.com.mx/state/20/Puebla/geography>
- Fernandez, J. (2020). Tecnología del futuro. Recuperado el 09 de 04 de 2020, de <https://tecnologiadel futuro.es/smart-city/semaforos-inteligentes-los-semaforos-del-futuro/>
- Instituto Mexicano de Transporte. (2017). Anuario estadístico de accidentes en carreteras. Mexico. Obtenido de <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/DocumentoTecnico/dt74.pdf>
- La Union de puebla. (2018). La Union de puebla. Recuperado el 15 de 03 de 2020, de <https://www.unionpuebla.mx/articulo/2018/07/11/gobierno/cuantos-poblanos-suman-en-2018>
- Navarro, A. (2 de 05 de 2019). Newsweekes México. Recuperado el 23 de 4 de 2020, de <https://newsweekespanol.com/2019/05/ciclovi-as-de-puebla-no-son-funcionales/>
- OMS. (2020). Organización Mundial de la Salud. Recuperado el 9 de 4 de 2020, de https://www.who.int/roadsafety/decade_of_action/plan/plan_spanish.pdf
- OMS. (13 de 04 de 2020). Portafolio. Recuperado el 10 de 05 de 2020, de <https://www.portafolio.co/mis-finanzas/claves-para-usar-de-modo-seguro-la-bicicleta-en-tiempos-de-pandemia-540772>
- Red urbana de transporte articulado. (11 de 4 de 2020). Ruta. Recuperado el 15 de 03 de 2020, de <http://www.rutapuebla.mx/nosotros>
- Sánchez, K. (23 de 09 de 2019). Contraparte. Recuperado el 04 de 04 de 2020, de <https://contraparte.mx/index.php/ciudad/30572-presenta-secretar%C3%ADa-de-movilidad-plataforma-de-transparencia-ciudadana.html>
- Santamarina, G. A. (23 de 07 de 2019). Diario el Cambio. Recuperado el 01 de 04 de 2020, de <https://www.diariocambio.com.mx/2019/secciones/metropolis/item/25534-cruceros-de-esteban-de-antunano-los-mas-peligrosos-para-automovilistas>
- Torres Pérez, A. P. (2018). Servicio del transporte público de la Ciudad de Puebla: propuesta de mejora de la calidad de vida de los usuarios en relación con su experiencia

- de viaje. Recuperado el 15 de 03 de 2020, de [https://repositorio.iberopuebla.mx/bitstream/handle/20.500.11777/3559/Torres%20P%
c3%a9rez%20Ana%20Patricia.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.iberopuebla.mx/bitstream/handle/20.500.11777/3559/Torres%20P%c3%a9rez%20Ana%20Patricia.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Urbanbici. (2020). Urbanbici. Recuperado el 03 de 05 de 2020, de <https://www.urbanbici.mx/>

Sobre los autores

- **Martha Lucia Belmonte Rodríguez:** Estudiante de Ingeniería Industrial. Corporación Universitaria Unitec. 72181524@unitec.edu.co
- **Rodrigo Eduardo Pardo Calderón:** Estudiante de Ingeniería Industrial. Corporación Universitaria Unitec. 72171501@unitec.edu.co
- **José Alexander Quiroz Rangel:** Estudiante de Ingeniería Industrial. Corporación Universitaria Unitec. 72181502@unitec.edu.co
- **Alexander Reyes Moreno:** Ingeniero Industrial, Master en Administración de Empresas con Especialidad en Gestión de la Calidad, Seguridad y Medio Ambiente, Master en Administración Ambiental, Doctor en Ciencias Económicas y Administrativas. Profesor. alexanderreyes@unitec.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la
Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2020 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)