



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

15 al 18  
DE SEPTIEMBRE

20  
20

[www.acofi.edu.co/eiei2020](http://www.acofi.edu.co/eiei2020)

# **EL APRENDIZAJE BASADO EN PROBLEMAS COMO MÉTODO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE PARA DETERMINAR LA IMPORTANCIA DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA MOVILIDAD. ESTUDIO DE CASO ZONA UNIVERSITARIA CHAPINERO BOGOTÁ COLOMBIA**

**Camilo Alberto Torres Parra, Yelinca Nalena Saldeño Madero**

**Universidad Católica de Colombia  
Bogotá, Colombia**

## **Resumen**

El Foro Económico Mundial señaló en el año 2018, que Bogotá fue la ciudad con peor tráfico en América Latina. La congestión representó para la población, una pérdida de aproximadamente 272 horas anualmente dentro del tráfico de la ciudad, así como altos niveles de contaminación ambiental. Según estudios de contaminación atmosférica en diversos lugares de la ciudad, las estaciones de monitoreo de calidad del aire de localidades como Kennedy, Bosa, Puente Aranda y Chapinero, arrojan valores altos debido a la alta presencia del parque automotor a base de combustibles fósiles, e industrias.

Por lo anterior, se decide plantear un proceso académico teórico experimental, en donde, desde asignatura de Ingeniería de Tránsito del programa de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Colombia, y teniendo en cuenta la importancia de implementar nuevos modelos de enseñanza-aprendizaje, se motive a los estudiantes desde la generación de competencias para su vida personal y diaria, además de fomentar bases que le permitan una óptima proyección a su futuro profesional. Es por esta razón que se trabaja desde el aula la metodología del Aprendizaje Basado en Problemas (ABP), teniendo en cuenta que es una estrategia participativa e innovadora que genera en el alumno la indagación, el pensamiento crítico y la construcción de conocimiento.

En esta dinámica se logró que los estudiantes aprendieran a partir del conocimiento del mundo real y de la acumulación de experiencia desde la realización de ejercicios prácticos en donde se

asociaron conceptos de la contaminación atmosférica y la movilidad en un laboratorio vivo como es la ciudad de Bogotá. Asimismo, de manera participativa se comprendió la importancia de vincular la teoría a la práctica en el aula para generar iniciativas encaminadas a articular las áreas de la ingeniería civil, el ámbito medioambiental y el sector de la salud pública, ampliando así, la capacidad de dimensionar y analizar con más facilidad y de forma integral, los contextos relacionados a la movilidad y sus impactos en el ámbito urbano y en la calidad de vida de los ciudadanos.

**Palabras clave:** aprendizaje basado en problemas; tránsito y transporte; contaminación atmosférica

### **Abstract**

*The World Economic Forum pointed out in 2018 that Bogotá was the city with the worst traffic in Latin America. Congestion represented for the population a loss of approximately 272 hours annually within city traffic, as well as high levels of environmental pollution. According to air pollution studies in various parts of the city, the air quality monitoring stations in towns such as Kennedy, Bosa, Puente Aranda and Chapinero, show high values due to the high presence of the fossil fuel-based vehicle fleet, and industries.*

*Therefore, it was decided to propose an experimental theoretical academic process, where, from the Traffic Engineering subject of the Civil Engineering program of the Universidad Católica de Colombia, and taking into account the importance of implementing new teaching-learning models, motivate students from the generation of competences for their personal and daily life, in addition to promoting bases that allow them an optimal projection to their professional future. It is for this reason that the Problem Based Learning (PBL) methodology is worked from the classroom, considering that it is a participatory and innovative strategy that generates inquiry, critical thinking and the construction of knowledge in the student.*

*In this dynamic, students were able to learn from real-world knowledge and the accumulation of experience from carrying out practical exercises where concepts of air pollution and mobility were associated in a living laboratory such as the city of Bogotá. Likewise, in a participatory way, the importance of linking theory to practice in the classroom was understood in order to generate initiatives aimed at articulating the areas of civil engineering, the environment and the public health sector, thus expanding the ability to measure and more easily and comprehensively analyze the contexts related to mobility and its impacts on the urban environment and on the quality of life of citizens.*

**Keywords:** *problem-based learning; transit and transportation; air pollution*

## Introducción

Según la Organización Panamericana de la Salud, la ciudad de Bogotá – Colombia es el tercer centro urbano con elevados niveles de contaminación atmosférica en América Latina, siendo de mayor interés los niveles de material particulado (MP) que con frecuencia exceden los estándares establecidos, debido principalmente al uso de diésel de mala calidad en los vehículos de servicio público (García, García, Vaca, 2013). Por otra parte, en el 2017, el 51% de los colombianos percibió que la contaminación del aire fue el principal problema ambiental en las principales ciudades, esto logró focalizar las mediciones en MP en el país (DNP, 2018).

De acuerdo con los inventarios de emisiones para Bogotá, las fuentes móviles emiten cerca del 60 % del MP10, con un aporte significativo de los vehículos que utilizan combustible diésel (buses y camiones), reconocidos científicamente como importantes generadores de partículas. Dada esta condición, son de especial preocupación las concentraciones de MP encontradas en inmediaciones de vías con alto flujo vehicular. En especial cuando es allí por donde circulan los peatones y ciclistas, y cuando se estima que cerca del 40 % de los viajes totales diarios en la ciudad se realizan mediante el transporte activo (transporte que no genera consumo de combustibles fósiles) (Segura, Franco, 2016).

Por lo tanto, a partir de la problemática de contaminación ambiental ligada al ámbito de la movilidad en Bogotá, desde asignatura de Ingeniería de Tránsito del programa de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Colombia, y teniendo en cuenta la importancia de implementar nuevos modelos de enseñanza aprendizaje, se propuso un proceso teórico-práctico para facilitar la generación de competencias en el estudiante que le permitan proponer soluciones a problemáticas específicas. Es por esta razón que se trabajó la metodología del Aprendizaje Basado en Problemas (ABP), teniendo en cuenta que es una estrategia de enseñanza aprendizaje que genera en el alumno la indagación y el pensamiento crítico en el aula.

Para desarrollar este ejercicio teórico práctico de vincular los aforos de tránsito, y el análisis de los diversos sistemas de transporte con la contaminación atmosférica, se decidió trabajar en la localidad de Chapinero de la ciudad de Bogotá, debido a su proximidad con la Universidad Católica de Colombia. Para ello se seleccionaron las intersecciones de la carrera 7ma con calle 45 y la carrera 7ma con calle 53, las cuales representan un punto de alto tráfico generado por actores de movilidad, entre los que se encuentran, vehículos privados, transporte público, transporte de servicios, transporte de carga, motos, bicicletas y peatones, éstos últimos en importantes cantidades, debido a la ubicación de relevantes centros de atracción de personas en el sector como instituciones de educación superior, empresas y zonas residenciales, entre otros.

Así mismo, fue necesario trabajar también en la calle 47, entre la carrera 7ma y la avenida Caracas del mismo sector de Chapinero, esto debido a que, al no ser esta vía, una importante arteria vial como la carrera 7ma en los dos puntos de la calle 45 y calle 53 anteriormente señalados, permitiría realizar una comparación con la carrera 7ma en cuanto a niveles de tráfico y a niveles de calidad del aire respectivamente. En tal sentido, las condiciones de movilidad expuestas y la dinámica de trabajo en el lugar señalado, hacen que Bogotá, y en este caso el sector de Chapinero, sea un laboratorio vivo donde estudiar la problemática del tráfico y las implicaciones que se tienen a nivel

ambiental, al mismo tiempo que la repercusión que se podría tener en materia de calidad de vida en los ciudadanos.

## **Materiales y métodos**

El Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) es un enfoque pedagógico multi-metodológico y multididáctico, encaminado a facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje y de formación del estudiante. En este enfoque se enfatizan el auto-aprendizaje y la autoformación, procesos que se facilitan por la dinámica del enfoque y su concepción constructivista ecléctica. En el enfoque de ABP se propicia la autonomía cognoscitiva, se enseña y se aprende a partir de problemas que tienen significado para la sociedad, se utiliza el error como una oportunidad más para aprender y no para castigar, y se le otorga un valor importante a la autoevaluación y a la evaluación formativa, cualitativa e individualizada (Dueñas, 2001).

Para este caso, se les proporcionó a los estudiantes un problema real como la contaminación atmosférica en Bogotá a causa de material particulado proveniente de fuentes móviles como el parque automotor a base de combustibles fósiles. Se conformaron grupos entre 4 y 5 alumnos de la asignatura Ingeniería de Tránsito, del programa de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Colombia, para a través de procesos de asociación, relacionaran por medio de la práctica y los conocimientos teóricos, la situación de contaminación atmosférica por material particulado con el tránsito del parque automotor que circula en la zona universitaria ubicada en Chapinero.

Seguido del trabajo en equipo, se les indicó a los alumnos cómo consultar bibliografía especializada para que, de manera individual, analizaran el problema y casos aplicados en contextos urbanos similares frente a los monitoreos de calidad del aire y de tránsito, para posteriormente, compartir dicha información con todo el grupo de clase.

Teniendo una problemática bien documentada y definidos los formatos para establecer los monitoreos propuestos, se fomentó la participación dentro de los grupos de trabajo para que los alumnos desarrollaran habilidades de comunicación y de aprendizaje auto-dirigido. Esto se evidenció en que cada grupo tuvo líderes que guiaron a sus compañeros durante el proceso en el aula y en la toma de información en campo (monitoreo de material particulado y aforo de tránsito).

Por último, los estudiantes en grupos de trabajo realizaron el monitoreo de material particulado apoyados por equipos de muestreo in situ, al tiempo que se elaboraban los aforos de tránsito, asociando la problemática de salud pública por contaminación atmosférica que se presenta en Bogotá, a la circulación del parque automotor que transita en el sector. Con esta estrategia pedagógica, se comprendió que la movilidad a nivel urbano genera externalidades económicas, sociales y ambientales, y una forma de evaluarlas es a través del concepto de salud pública.

Respecto al monitoreo de la calidad de aire en un territorio, este se debe realizar de manera continua en un periodo de tiempo para observar el cambio en las concentraciones de contaminantes presentes en el aire y así, analizar dichas fluctuaciones a través del tiempo y determinar los efectos en la salud, en la economía y en la calidad ambiental de los asentamientos

humanos, ya que no se pueden sobrepasar valores límites de contaminación que por su alta concentración, enfermen a los ciudadanos. Por lo tanto, dichos valores límites permisibles de calidad de aire se regulan en Colombia por la resolución 2254 de noviembre de 2017 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Para efectos de este ejercicio académico, se tuvieron en cuenta los materiales particulados que se presentan a continuación:

**Tabla 1**

*Niveles máximos permisibles de material particulado*

<b>Contaminante Material Particulado</b>	<b>Nivel Máximo Permisible (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>Tiempo de exposición</b>
PM10	50	Anual
	100	24 horas
PM2,5	25	Anual
	50	24 horas

Resolución 2254. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Bogotá, Colombia, 01 de noviembre de 2017.

Finalmente para realizar el aforo de tránsito y transporte, fue importante definir el área a trabajar, estudiar cada intersección y elemento tal como semáforos, tiempos semafóricos, señalización horizontal y vertical; cruces peatonales; carriles de bicicletas; andenes y vías; establecer el tipo de vehículos a aforar, ya sean vehículos particulares, transporte público convencional o buses, SITP, Transmilenio, vehículos de carga pesada, vehículos de servicio especial, taxi, moto, bicicletas y peatones; diseñar una minuta o planilla de aforo de acuerdo al medio o tipo de muestra que se desea aforar, así como el tipo de movimiento y el tipo de desplazamiento y ubicar estratégicamente a los aforadores para al final presentar datos confiables que se puedan categorizar, graficar y analizar en los contextos del tránsito y la contaminación ambiental.

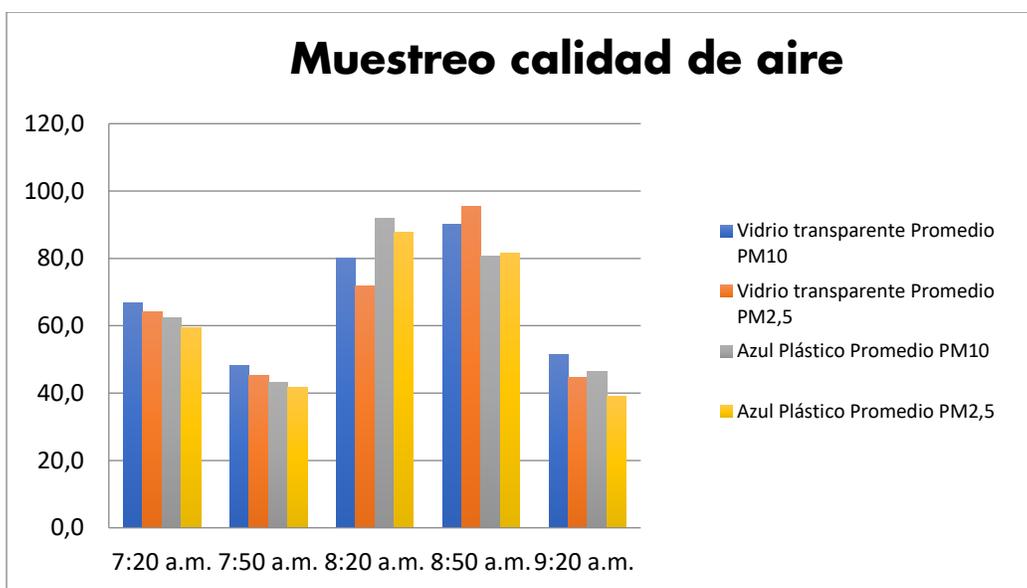
Seguidamente y validando el método del ABP, se seleccionaron los corredores viales a evaluar comprendidos entre la carrera 7ma con calle 45 y calle 53, con alto flujo vehicular y la calle 47 entre carrera 7ma y avenida Caracas, con bajo flujo vehicular, en el sector de Chapinero en la ciudad de Bogotá. El recorrido se realizó el día jueves 27 de septiembre de 2019 entre las 7 y las 9 de la mañana (hora pico), y se utilizaron los equipos de muestreo BR-8A air quality tester PM2.5 y household air quality detector PMS5003, estableciendo una medición en tiempo real en 5 recorridos.

Según las escalas para monitoreos ambientales, este monitoreo se ubicó en escala local, ya que define concentraciones de contaminantes en un área con uso del suelo relativamente uniforme y cuyas dimensiones abarcan de 0,5 a 4 kilómetros (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2008)

## Resultados y discusión

Durante el ejercicio datos promedio se pueden considerar medio altos y peligrosos en PM<sub>2,5</sub>, contaminante que sobrepasó el límite diario de 50 (µg/m<sup>3</sup>) en 3 de los 5 recorridos realizados (Gráfica 1). Así los estudiantes comprendieron por el mecanismo de asociación que este tipo de exposición constante se considera tóxica para los seres humanos desde el aspecto de la salud pública en los contextos urbanos, y es reconocida por la Organización Mundial de la Salud, como la causante de diversas patologías relacionadas al sistema respiratorio.

Se puede evidenciar que el PM<sub>10</sub> no sobrepasó el valor límite permisible diario establecido en 100 (µg/m<sup>3</sup>), pero debe tenerse en cuenta que los valores entre el PM<sub>10</sub> y el PM<sub>2,5</sub> son cercanos (Gráfica 1), situación de alta peligrosidad para los habitantes del sector de Chapinero en donde la mayoría del material particulado presente está en capacidad de sobrepasar el tracto superior respiratorio de los seres humanos y aumentar el riesgo de padecer enfermedades respiratorias, ya que alcanza fácilmente los bronquiólos terminales y los alvéolos, desde donde puede ser fagocitado por los macrófagos alveolares y atravesar la barrera alvéolo-capilar para ser transportadas hacia otros órganos por la circulación sanguínea.



Gráfica 1. Muestreo de calidad de aire en materiales particulados 10 y 2,5 micras

En conjunto con los estudiantes se analizó la relación establecida entre el flujo vehicular y el material particulado, estableciendo que este tipo de contaminación induce la muerte de las células en las vías respiratorias por medio de un proceso llamado apoptosis o muerte programada de las células; este proceso se presenta normalmente para la eliminación de células deterioradas, pero es estimulada y alterada por sustancias tóxicas. Además, se evidenció que los automotores que funcionan a base de biodiesel también producen material particulado, pero con efectos mucho menos nocivos para el ser humano.

En relación a los valores de material particulado monitoreado en el ejercicio, se estableció una correlación directa con el número de vehículos alimentados con combustibles fósiles que fueron

aforados en la zona previamente seleccionada, tal y como se muestra en las tablas 1, 2 y 3. De esta manera, los estudiantes, además de familiarizarse con los diferentes modos de transporte, pudieron analizar cuantitativamente que las condiciones atmosféricas presentadas en el sector, a causa del alto tráfico vehicular en horas pico (7 a 9 am.), La anterior hipótesis se pudo validar de manera participativa con el trabajo en campo y con bibliografía específica que describe esta relación entre el parque automotor, la contaminación atmosférica y los problemas de salud pública.

Tabla 1. Aforo de la intersección Carrera 7ma con Calle 53. Chapinero. Bogotá – Colombia.

AFORO (CARRERA 7ma con Calle 53) BOGOTÁ - COLOMBIA																							
HORA	-	↑	-	-	↑	-	-	↑	-	-	↑	-	-	↑	-	-	↑	-	-	↑	-	PASO DE CEBRA DEL SEMÁFORO	
	VEHÍCULO PRIVADO	CAMIONES/ CARGA PESADA		TAXI	SITP	BUSETA	TRANSMILENIO	MOTO	VEH DE SERVICIO (AMBULANCIA, POLICIA, BOMBEROS, ETC)	BICICLETAS	PEATONES	BICICLETAS											
TOTAL DE LA INTERSECCIÓN	2577	97		1168	113	126	188	420	23	231	1644	70											

Tabla 2. Aforo de la intersección Carrera 7ma con Calle 45. Chapinero. Bogotá – Colombia.

AFORO (CARRERA 7ma con Calle 45) BOGOTÁ - COLOMBIA																							
HORA	-	↑	-	-	↑	-	-	↑	-	-	↑	-	-	↑	-	-	↑	-	-	↑	-	PASO DE CEBRA DEL SEMÁFORO	
	VEHÍCULO PRIVADO	CAMIONES/ CARGA PESADA		TAXI	SITP	BUSETA	TRANSMILENIO	MOTO	VEH DE SERVICIO (AMBULANCIA, POLICIA, BOMBEROS, ETC)	BICICLETAS	PEATONES	BICICLETAS											
TOTAL DE LA INTERSECCIÓN	2188	66		626	125	80	156	760	38	157	545	49											

Tabla 3. Aforo de la intersección Calle 47 con Carrera 13. Chapinero. Bogotá – Colombia.

AFORO (Calle 47 con Carrera 13) BOGOTÁ - COLOMBIA																							
HORA	-	↑	-	-	↑	-	-	↑	-	-	↑	-	-	↑	-	-	↑	-	-	↑	-	PASO DE CEBRA DEL SEMÁFORO	
	VEHÍCULO PRIVADO	CAMIONES/ CARGA PESADA		TAXI	SITP	BUSETA	TRANSMILENIO	MOTO	VEH DE SERVICIO (AMBULANCIA, POLICIA, BOMBEROS, ETC)	BICICLETAS	PEATONES	BICICLETAS											
TOTAL DE LA INTERSECCIÓN	1055	29		562	61	58	0	173	12	144	1003	53											

Tal como se evidencia en los valores tanto del muestreo de calidad de material particulado, como del aforo de tránsito, el alto porcentaje de vehículos que circulan por el sector y que se muestra como resultado total en cada una de las intersecciones, es un importante generador de partículas finas, las cuales se incrementan en vías principales y disminuyen en vías secundarias, pero que de igual manera, afectan a los peatones y ciclistas que incentivan el transporte activo (uso de bicicleta y caminar), ya que son estos usuarios los que están en contacto directo y constante con la contaminación atmosférica presente en el sector de Chapinero, y los cuáles representan también un número elevado, de acuerdo al conteo suministrado.



## Conclusiones

Por medio del enfoque del Aprendizaje Basado en Problemas se logró que los estudiantes de ingeniería civil por mecanismos de asociación y no de memorización, comprendieran la relación que existe entre el transporte, la movilidad, la contaminación atmosférica, la calidad de vida y la salud pública, al evidenciar en campo que la calidad del aire por el alto tráfico vehicular, es causante de materializar procesos de salud-enfermedad que desencadenan infecciones respiratorias agudas, lo que se traduce en una percepción negativa del bienestar y satisfacción del individuo que habita en zonas urbanas con un flujo vehicular masivo y una flota de transporte en mal estado.

Se concluyó de manera constructiva que la mala calidad del aire, generada a partir de la emisión de contaminantes atmosféricos, sigue siendo uno de los principales elementos que producen enfermedades y muertes de personas en el mundo, y que los aforos de transporte deben contemplar mediciones de contaminación atmosférica, ya que los dos problemas están intrínsecamente relacionados.

Se determinó la importancia de la movilidad y de su relación con las condiciones ambientales a partir de su forma, de su uso y de su clasificación; generando un espacio de discusión donde se recalcó la importancia de la capacidad de análisis por parte de los estudiantes, a partir del entendimiento del contexto trabajado, evaluando el sector de acuerdo a los lugares o infraestructuras generadoras de viajes, independientemente de la forma en las que se realizan.

## Referencias

- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2018). Política para el mejoramiento de la calidad del aire. Recuperado de: [http://www.foronacionalambiental.org.co/wp-content/uploads/2011/09/Luis-F-Mejia-PPT-ForosCalidadAire\\_25-Jul-2018.pdf](http://www.foronacionalambiental.org.co/wp-content/uploads/2011/09/Luis-F-Mejia-PPT-ForosCalidadAire_25-Jul-2018.pdf)
- Dueñas, V. (2001). El aprendizaje basado en problemas como enfoque pedagógico en la educación en salud. Colombia Médica. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/283/28332407.pdf>
- García, J. García, C. Vaca, M. (2013). Consulta médica en población en edad productiva y contaminación atmosférica en Bogotá: 2008 y 2010. Revista de Salud Pública. 15(4). 495-502. Recuperado de: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/revsaludpublica/article/view/38575/62107>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2008). Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527391/Protocolo+para+el+Monitoreo+y+seguimiento+de+la+calidad+del+aire.pdf/6b2f53c8-6a8d-4f3d-b210-011a45f3ee88>
- Resolución 2254. (2017). Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 01 de noviembre de 2017. Recuperado de: <http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/96-res%202254%20de%202017.pdf>

- Segura, J. Franco, J. (2016). Exposición de peatones a la contaminación del aire en vías con alto tráfico vehicular. Revista de Salud Pública. Recuperado de: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/revsaludpublica/article/view/49237/56179>

## Sobre los autores

- **Camilo Alberto Torres Parra:** Ingeniero Ambiental y Sanitario de la Salle, especialista en Gerencia de Proyectos de Ingeniería de la Universidad EAN, Maestro de la Educación del Tecnológico de Monterrey. Docente investigador del programa de ingeniería civil de la Universidad Católica de Colombia. Email: catorres@ucatolica.edu.co
- **Yelinca Nalena Saldeño Madero:** Ingeniera Civil de la Universidad Central de Venezuela en Caracas – Venezuela. Doctora en Gestión del Territorio e Infraestructura del Transporte de la Universidad Politécnica de Cataluña en Barcelona – España. Docente investigadora del programa de ingeniería civil de la Universidad Católica de Colombia. Email: ynsaldeno@ucatolica.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)