

□ **Zonificación de amenaza por avenida torrencial para la quebrada Colorada, producto de la rotura de una presa natural formada, y sus efectos en el casco urbano del municipio de Paz de Río (Boyacá).**

□ **Delimitación del área de protección e integración espacial de humedales urbanos. Caso de estudio: Bogotá.**

□ **¿Quiénes son los estudiantes de Economía en la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería?: una caracterización socioeconómica para el periodo 2015-2020.**

□ **Ciclo de vida de las cuchillas de afeitar.**

□ **Programación concurrente como herramienta para lograr computaciones de alto rendimiento.**

□ **Impacto de la utilización de las nemotécnicas en el aprendizaje significativo de las razones trigonométricas.**





## CONSEJO DIRECTIVO DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

**PRESIDENTE** RICARDO RINCÓN HERNÁNDEZ

**VOCALES** GERMÁN EDUARDO ACERO RIVEROS  
SANDRA XIMENA CAMPAGNOLI MARTÍNEZ  
GONZALO JIMÉNEZ ESCOBAR  
MARÍA DEL ROSARIO MONTEJO PERRY  
ARMANDO PALOMINO INFANTE  
JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS  
GERMÁN RICARDO SANTOS GRANADOS  
MARIANA SANDINO ULLOA  
JOSÉ CAMILO VÁSQUEZ CARO  
(representante de los profesores)  
JAVIER STEVEN AROCA TOVAR  
(representante de los estudiantes)

**RECTOR** HÉCTOR ALFONSO RODRÍGUEZ DÍAZ

**SECRETARIA GENERAL** CLAUDIA JEANNETH RÍOS REYES

## REVISTA DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

**DIRECTOR** JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS

**COMITÉ EDITORIAL** GERMÁN ACERO RIVEROS  
CLAUDIA JEANNETH RÍOS REYES  
PAULA XIMENA RÍOS REYES  
GERMÁN RICARDO SANTOS GRANADOS  
EDUARDO SARMIENTO PALACIO

**DIRECCIÓN EDITORIAL** CRISTINA SALAZAR PERDOMO

**EDICIÓN** **DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN**  
JORGE CAÑAS SEPÚLVEDA  
**CORRECCIÓN DE ESTILO**  
ELKIN RIVERA GÓMEZ  
**TRADUCCIÓN Y CORRECCIÓN DE ESTILO EN INGLÉS**  
DAVID PEÑA CITA

**DIRECCIÓN COMERCIAL** EDITORIAL ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

Versión digital disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

AUTOPISTA NORTE AK 45 # 205-59  
TEL.: (57-1) 668 3600, EXT. 533  
[revista@escuelaing.edu.co](mailto:revista@escuelaing.edu.co)  
BOGOTÁ, D.C., COLOMBIA

LA ESCUELA Y LA REVISTA NO SON RESPONSABLES DE LAS IDEAS Y CONCEPTOS EMITIDOS POR LOS AUTORES DE LOS TRABAJOS PUBLICADOS. SE AUTORIZA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE LOS ARTÍCULOS DE LA REVISTA SI SE CITAN LA FUENTE Y EL AUTOR.

## 5 / EDITORIAL

### Cómo entender el comportamiento del dólar y de la tasa de cambio en Colombia

*Héctor Jaime Martínez Covalada*

## 7-20

### Zonificación de amenaza por avenida torrencial para la quebrada Colorada, producto de la rotura de una presa natural formada, y sus efectos en el casco urbano del municipio de Paz de Río (Boyacá)

*Braulio Cano Burgos - Germán Ricardo Santos*

Para el desarrollo de esta investigación, se requirió de la integración de diferentes ramas de la ingeniería, como la geología, geomorfología, geotecnia e hidroclimáticas, razón por la cual el trabajo se centró en dos análisis: el primero, enfocado en la cuantificación del volumen del material del deslizamiento de Paz Vieja y la incidencia con la falla del Soapaga y el represamiento de la quebrada Colorada, mientras que el segundo correspondió al análisis del volumen de agua represada y la posible rotura de la presa natural y su propagación hacia el río Soapaga.

## 21-29

### Delimitación del área de protección e integración espacial de humedales urbanos.

#### Caso de estudio: Bogotá

*Ariadna Yolanda Caro García - Luz Mery Valencia Carvajal*

En este estudio se analizó la viabilidad del uso de imágenes satelitales, fotografías aéreas e imágenes tomadas con dron para la delimitación de humedales urbanos, en especial para el humedal Tibanica, en la localidad de Bosa; se analizaron, además, la variación multitemporal desde el 2009 hasta el 2022 del uso del suelo mediante la metodología Corine Land Cover (CLC), adaptada para Colombia, y la información oficial de la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA).

## 31-45

### ¿Quiénes son los estudiantes de Economía en la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería?: una caracterización socioeconómica para el periodo 2015-2020

*María Constanza Torres Tamayo - Álvaro Chaves Castro - Sebastián Arévalo Avellaneda*

El trabajo parte de reconocer que las dotaciones iniciales relacionadas con factores heredados sobre los cuales los individuos no tienen control y que pueden tener una gran influencia a lo largo de la vida, la cultura, el nivel de ingresos y los años de escolaridad de los padres, el género, la etnia, entre otros, son elementos que definen el desempeño de los estudiantes a lo largo de su proceso de formación.

## 47-51

### Ciclo de vida de las cuchillas de afeitar

*Diego Alberto Bello Villamil - Yuly Andrea Sánchez Londoño*

El objetivo de este artículo es estudiar el ciclo de vida de las cuchillas de afeitar. La idea inicial de su inventor, King Camp Gillette, fue crear una cuchilla de afeitar que fuera fácil de portar y que se pudiera utilizar desde la comodidad de la casa. Con las adecuaciones hechas a lo largo de los años se fue dejando a un lado el acero de las cuchillas, para así generar unos cuerpos más armónicos y de fácil agarre utilizando plásticos y teflones.

**53-65**

**Programación concurrente como herramienta para lograr computaciones de alto rendimiento**

*Jhordy Esteban Salinas Santiago - Gerardo Ospina Hernández - Claudia Patricia Santiago Cely*

En este artículo se presentará la programación concurrente como un estilo de programación que aporta sustancialmente a la creación de computaciones de alto rendimiento (high performance computing, HPC), permitiendo aclarar de qué manera lo hace y por qué es tan importante usarla.

**67-78**

**Impacto de la utilización de las nemotécnicas en el aprendizaje significativo de las razones trigonométricas**

*Jennifer Nayibe Morera Fernández - Nora Yamile Rojas Cataño*

En este artículo se presenta una investigación que tiene como objetivo evidenciar si el uso de las nemotécnicas en las razones trigonométricas impacta en el aprendizaje significativo de estas. En este estudio participaron 33 estudiantes en la prueba diagnóstica y 34 estudiantes en la secuencia didáctica de la Institución Educativa Municipal San Juan Bautista de La Salle de Zipaquirá.

**79 / ALCANCE Y POLÍTICAS**



# Editorial

## Cómo entender el comportamiento del dólar y de la tasa de cambio en Colombia

**HÉCTOR JAIME MARTÍNEZ COVALEDA**

Decano del Programa de Economía de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

hector.martinez@escuelaing.edu.co

El tema de la devaluación o revaluación que vive el peso colombiano frente al dólar estadounidense genera controversias de todo orden, así como expectativas e incertidumbre entre los ciudadanos, el Estado y las empresas. Recientemente, se llegaron a pagar hasta 5000 pesos por un dólar; a su vez, desde finales del mes de mayo y comienzos del mes de junio, el peso colombiano empezó un fenómeno de revaluación que hizo que se pagaran hasta 4150 pesos por un dólar. Por esto, pretendemos dar una explicación alternativa, breve y sencilla para entender el comportamiento errático del peso colombiano.

En su versión tradicional, el debate público sugiere que los inversionistas, dada su aversión al riesgo, suelen absorber instantáneamente la información política y económica del país, lo que influye en el flujo de dólares hacia la economía local. Así pues, en los debates se acepta la idea de que las políticas o anuncios del gobierno actual pueden “espantar” la llegada de los dólares, mientras que las “sanas” políticas de libre mercado son las que resultan atractivas para que los inversionistas lleven sus dólares a la economía local.

Esta discusión se enmarca en lo que se conoce como tasa de cambio. En economía, la tasa de cambio se refiere a la cantidad de una moneda (moneda local) que se debe dar por cierta cantidad de otra moneda (moneda extranjera). Para el caso particular de Colombia, la tasa representativa del mercado (TRM) indica cuántos pesos se deben dar por un dólar estadounidense, cantidad

que no es más que el resultado de las operaciones que se efectúan en un mercado en el que los agentes están dispuestos a comprar y vender estas monedas. Lo anterior implica que la TRM es un precio relativo y que, al igual que todos los precios, su comportamiento *debería* regirse por las leyes de la oferta y la demanda.

Sin embargo, los movimientos de la oferta y la demanda de las monedas no se pueden explicar con los modelos tradicionales de comportamiento de los mercados de las mercancías producidas por una economía. Esto por cuanto el dinero, dada su naturaleza misma, no es una mercancía, y su oferta y su demanda están sujetas, entre otras cosas, a otro precio: la tasa de interés.

En términos generales, los bancos centrales establecen un costo de oportunidad de *tener el dinero en el bolsillo*. La tasa de interés de estos bancos puede funcionar como una promesa de rendimiento que se ofrece en operaciones de mercado, a cambio de bonos respaldados por los bancos centrales, es decir, por el Estado.

En razón de las características de la economía colombiana, que hace sus transacciones comerciales en dólares y cuyo principal socio comercial es Estados Unidos, las políticas y los flujos monetarios de la moneda extranjera (dólar) en su país de origen influyen fuertemente sobre su cotización en pesos colombianos.

Por las condiciones de la economía estadounidense, junto con el largo periodo de tiempo en que la Reserva Federal tuvo sus tasas de intervención a niveles de cero puntos, el dólar se convirtió en la moneda común para

efectuar transacciones de comercio internacional. Estos factores permitieron que los inversionistas encontraran en el dólar, y en los bonos del Estado de ese país norteamericano, una fuente de aseguramiento contra los movimientos del mercado. Dicha razón no solo explica por qué los estados suelen optar por el dólar como común denominador para sus tasas de cambio, sino también que la tasa de cambio debe sus variaciones principalmente a la escasez inducida por decisiones externas al mercado local, en particular, a las variaciones de la tasa de interés de la Reserva Federal.

Esto funciona de la siguiente manera: si la Reserva Federal aumenta su tasa de interés, los inversionistas tienen un incentivo para llevar sus dólares a cambio de bonos con promesas de mejores rendimientos. Este proceso hace que los dólares de otras economías emigren hacia la Reserva Federal, creando una escasez que *va a alterar la tendencia de las tasas de cambio*. En síntesis, es esta escasez la que va a marcar, a largo plazo, el rumbo que va a seguir el dólar en las economías.

Cuando se examina la serie de tiempo de la TRM, se evidencia que los cambios bruscos de la tendencia, esto es, los quiebres estructurales, parecen no corresponder a decisiones o acontecimientos de la vida política, económica y social colombiana, por dos factores importantes: en primer lugar, estos no han sido lo suficientemente perturbadores hasta ahora para la percepción del riesgo soberano que se tiene en el exterior<sup>1</sup>, y en segundo término, los movimientos de la TRM están esencialmente sujetos a su mercado y no a particularidades de la nación<sup>2</sup>. Así pues, la economía colombiana en su conjunto es tomadora de precio.

Por tales motivos, el primer sector afectado por los movimientos de la TRM es el de los bienes transables; es decir, aquellos bienes cuya producción tiene como fin fundamental el comercio exterior. No obstante, sería erróneo concluir que los bienes no transables son ajenos a las fluctuaciones que el dólar experimente en su mercado, ya que es notorio que, en economías que han liberado sus mercados, estos se produzcan en magnitudes importantes con productos importados en los eslabones que componen la cadena de producción de los bienes no transables.

Se puede afirmar que todos los productos y sectores de la economía están sujetos a las fluctuaciones del dólar, debido a su importante componente importado. Así, por ejemplo, el mercado del cemento tiene una participación en las importaciones de 22 millones de dólares, de acuerdo con el Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2004). Las tasas de penetración de importaciones son particularmente altas en los eslabones del yeso y las fibras (69,8 % y 82,2 %, en ese orden), que interceden en la producción del cemento; esto implica que cuatro quintos del consumo de estos eslabones, aproximadamente, son de materias importadas. Por tal razón, un movimiento en la TRM que implique dar más pesos por dólar va a encarecer el cemento, que puede ser un bien final y un bien intermedio, afectando, en un efecto dominó, el precio de la construcción.

Igualmente, sería erróneo concluir que en condiciones en las que el dólar disminuyera el precio de mercado de los bienes, tanto transables como no transables, debería bajar la TRM, pues el empresario ya incurrió en el gasto de importación. Es por esto por lo que no se puede esperar que, una vez que la TRM disminuya, los precios de los bienes afectados por ella bajen inmediatamente; esto permite entender por qué podría disminuir la TRM, pero que la inflación no ceda a la baja.

En conclusión, se repasó que la tasa de cambio repercute en todos los niveles de la economía, por lo que no sería correcto suponer que las interacciones entre los oferentes y los demandantes no afectarían la tasa de cambio; sin embargo, los cambios en la tendencia de la TRM obedecen principalmente a las decisiones de política macroeconómica en el exterior, sobre todo a las decisiones de la Reserva Federal de Estados Unidos. Estas decisiones, a su vez, se encuentran determinadas por cuestiones geopolíticas, como la campaña militar rusa en Ucrania o la escasez de contenedores, que afectan los costos del comercio exterior o el precio del petróleo, al igual que por cuestiones internas de la Reserva Federal, como los niveles de inflación, producto y desempleo en Estados Unidos.

1. Es por ello por lo que la calificación de riesgo soberano de Colombia no ha sufrido fuertes variaciones.
2. En este caso, a particularidades políticas y económicas de Colombia.

# Zonificación de amenaza por avenida torrencial para la quebrada Colorada, producto de la rotura de una presa natural formada, y sus efectos en el casco urbano del municipio de Paz de Río (Boyacá)

Torrential flood hazard zoning for the Colorada stream, because of the rupture of a natural dam and its effects on the urban area of the municipality of Paz de Río (Boyacá)

BRAULIO CANO BURGOS<sup>1</sup> - GERMÁN RICARDO SANTOS<sup>2</sup>

1. Magíster en Ingeniería Civil de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

2. Director de posgrados de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

braulio.cano@mail.escuelaing.edu.co - german.santos@escuelaing.edu.co

Recibido: 20/06/2022 Aceptado: 20/07/2022

Disponible en [http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones\\_revista](http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista)

<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

## Resumen

En el municipio de Paz de Río (Boyacá), se tienen antecedentes de remoción en masa; uno de ellos fue el fenómeno natural ocurrido en 1933, que llevó a la reubicación del asentamiento poblacional Paz Vieja. Casi 89 años después, este fenómeno sigue activo; ha generado desplazamiento de material de gran magnitud y formado un represamiento natural sobre la quebrada Colorada desde el 2016, aproximadamente. En las actas realizadas en los comités de gestión de riesgo municipal se ha categorizado que las zonas Paz Vieja, El Salitre y La Chapa presentan afectaciones debido a eventos de avenidas torrenciales. De acuerdo con lo anterior, se establece que la zona de estudio se categoriza de alto riesgo, que se presenta por las condiciones geológicas que predominan en las zonas de alta montaña, las cuales se componen de laderas empinadas e inestables. Durante eventos de alta pluviosidad, dichas zonas pueden generar fenómenos de remoción en masa y avenida torrencial, debido a la alta concentración de sedimentos en los volúmenes de escorrentía, siendo este el principal detonante para el colapso de la presa natural y, como consecuencia, la generación de flujos de avalancha o flujo hiperconcentrado, que causan afectación directa a la población urbana de este municipio.

Para el desarrollo de la investigación, se requirió de la integración de diferentes ramas de la ingeniería, como la geología, geomorfología,

geotecnia e hidroclimáticas, razón por la cual el trabajo se centró en dos análisis: el primero, enfocado en la cuantificación del volumen del material del deslizamiento de Paz Vieja y la incidencia con la falla del Soapaga y el represamiento de la quebrada Colorada, mientras que el segundo correspondió al análisis del volumen de agua represada y la posible rotura de la presa natural y su propagación hacia el río Soapaga. Producto de estos análisis se realizó la estimación cualitativa de la amenaza por este fenómeno sobre el casco urbano del municipio de Paz de Río.

**Palabras claves:** hiperconcentrados, formación, concentración, topobatómicos, esquemas bidimensionales, reología, concentración volumétrica, evaporíticos, morfodinámicos y mineralógica.

## Abstract

In the municipality of Paz de Río, Boyacá, there is a history of landslides; one of them was the natural phenomenon that occurred in 1933, which led to the relocation of La Paz Vieja settlement. Almost 89 years later, this phenomenon is still active, generating large-scale material displacement and forming a natural dam on the Colorada Creek since approximately 2016. In the minutes of the municipal risk management committees, the areas of La Paz Vieja, El Salitre, and La Chapa have been categorized as affected by torrential flood events.



According to the above, the study area is categorized as high risk due to the geological conditions that predominate in the high mountain areas, which are composed of steep and unstable slopes. These areas, during high rainfall events, can generate phenomena of mass removal and torrential floods, due to the high concentration of sediments in the runoff volumes, being the main trigger for the collapse of the natural dam and as a consequence, the generation of avalanche flows or hyper concentrated flow causing direct affectation to the urban population of this municipality. For the development of the research, the integration of different branches of engineering such as geology, geomorphology, geotechnical, and hydroclimatic engineering was required. For this reason, the work focused on two analyses, the first focused on the quantification of the volume of material from the Paz Vieja landslide and the incidence with the Soapaga fault, and the damming of the Colorado stream. The second corresponded to the analysis of the volume of dammed water and the possible rupture of the natural dam and its propagation towards the Soapaga river. As a result of these analyses, a qualitative estimate of the threat of this phenomenon was made for the urban area of the municipality of Paz de Río.

**Keywords:** Hyper concentrates, formation Concentration, topo-bathymetric, two-dimensional diagrams, rheology, volumetric concentration, evaporite, morpho dynamics and mineralogics.

## INTRODUCCIÓN

La zona andina colombiana es altamente vulnerable a los deslizamientos de tierra y, en algunos casos, a la formación de presas naturales en cauces por la conjunción de factores geológicos, geomorfológicos, climáticos y antrópicos (construcción de carreteras, centros poblados, etc.). A lo largo de los años, este fenómeno ha traído consigo numerosas pérdidas en los ámbitos social y económico (Polanco, 2001).

Por otro lado, los fenómenos de remoción en masa pueden provocar altos volúmenes de deposición por efectos de gravedad en puntos de estabilidad lograda por el equilibrio de esfuerzos. En algunos casos, estos puntos corresponden a zonas topográficamente bajas de la cuenca en las cuales discurren cuerpos hídricos, lo que genera presas naturales. Este tipo de estructuras se caracterizan por tener una alta inestabilidad geológica y vulnerabilidad a la erosión, tubificación, deformación, entre otros, producto de la escorrentía continua del cuerpo hídrico represado. La rotura de este tipo de estructuras es un fenómeno tan común, que en algunos casos ocurre falla total de la estructura (Bin & Huilín, 2000), mientras que en otros casos la falla se produce de manera parcial, siendo una parte del volumen de almacenamiento liberado (Sánchez & Martínez, 2000; Sanz-Ramos, Olivares & Bladé, 2017). En cualquier caso, este tipo de fenómenos puede generar una alta

escorrentía, la cual, al mezclarse con el material inestable erosionado, puede provocar flujos de avalancha o flujos hiperconcentrados.

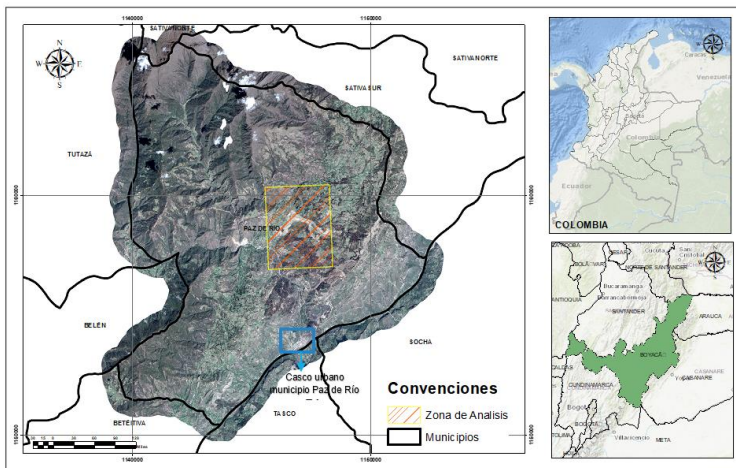
El estudio evidenciado en el presente artículo se centró en el análisis de los efectos de este tipo de fenómenos al formar presas naturales, siendo el caso de estudio el municipio de Paz de Río, en Boyacá. Esta zona ha sido históricamente vulnerable a fenómenos de remoción en masa (iniciación) y avenida torrencial (propagación), producto de las condiciones geológicas, que se suman al detonante de pluviosidad.

En el análisis se estima el volumen del deslizamiento que generó el represamiento de la quebrada Colorado a partir de la adaptación de herramientas matemáticas, para luego hacer un análisis de su rotura mediante el uso de herramientas adaptadas para la cuantificación de los hidrogramas de salida y su concentración de sedimento para el caso de roturas de presas de relaves (O'Brien, 2010; Julien, Fullerton & O'Brien, 1993). La presa natural del caso de estudio está conformada por una cantidad masiva de material producto del deslizamiento de tierras, la cual se podría asociar a una alta concentración de sedimento en el hidrograma liberado.

Para el desarrollo de dicho análisis se emplearon herramientas computacionales FLO-2D y HEC-RAS V6.2, cuya estimación de parámetros hidrodinámicos permitirá calcular la amenaza a la que estará expuesta la población del municipio de Paz de Río, con el fin de que este análisis pueda entregar recomendaciones a la administración municipal que orienten la toma de acciones para prevenir y mitigar una posible avenida torrencial, resultado de la rotura de la presa natural generada sobre la subcuenca de la quebrada Colorado.

## ÁREA DE ESTUDIO

Los análisis de los fenómenos objeto de estudio se centran en el municipio de Paz de Río, ubicado en el nororiente del departamento de Boyacá, a 107 km de la ciudad de Tunja, a una altura sobre el nivel del mar de 2200 metros y temperatura promedio de 16 °C. Paz de Río pertenece a la provincia de Valderrama y limita con los municipios de Betétiva, Belén, Sativanorte, Sativasur, Socha, Tasco y Tutazá. Su principal actividad económica es la minería, seguida de la agricultura de subsistencia. El acceso por carretera al municipio es fácil, gracias a la gran red vial que tiene el departamento.



**Figura 1.** Localización general de la zona de estudio.

Fuente: Elaboración del autor, 2022.

Según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), la zona de estudio está ubicada en la vereda Chitagoto, en los sectores de Arcabuco, Tapias y Paz Vieja, siendo esta última la zona de mayor afectación por los constantes deslizamientos. De igual manera, la zona de análisis se encuentra en la subcuenca de la quebrada Colorada, afluente de la cuenca del río Soapaga.

## DESCRIPCIÓN DE CASO

De acuerdo con los registros bibliográficos, la falla del Soapaga ha tenido un comportamiento activo que ha generado varios cambios en sus procesos morfodinámicos que ocasionaron afectaciones directas al asentamiento poblacional de Paz Vieja. El fenómeno natural registrado en noviembre de 1933 causó la pérdida de infraestructura civil, como el colapso de viviendas, el daño irreparable de vías terciarias y la reubicación de una parte de la población.

En 1983 se produjo la activación del deslizamiento de tierra sobre el sector de Paz Vieja, localizado en la vereda Chitagoto, del municipio de Paz de Río. Este fenómeno se evidenció a unos 6 km del actual casco urbano del municipio en mención. De acuerdo con la secuencia de imágenes de Google Earth Engine, este represamiento de la quebrada ocurrió en 2009; sin embargo, los procesos de remoción en masa sí datan de la década de los ochenta. El presente fenómeno de deslizamiento de tierra generó la obstrucción de la quebrada Colorada en la parte baja de la subcuenca, que representa por cerca de 1 km de largo por 600 m de ancho. En los últimos 50 años, el área de deslizamiento

se ha incrementado y ha formado un aumento en la zona inundada, producto del represamiento. Esto ha generado un sinnúmero de alertas a las poblaciones aledañas, como Socha y Tasco, a la Alcaldía Municipal de Paz de Río, a la Oficina para la Atención y Prevención de Desastres de Boyacá, a la empresa Minas Paz del Río S.A. y Corpoboyacá.

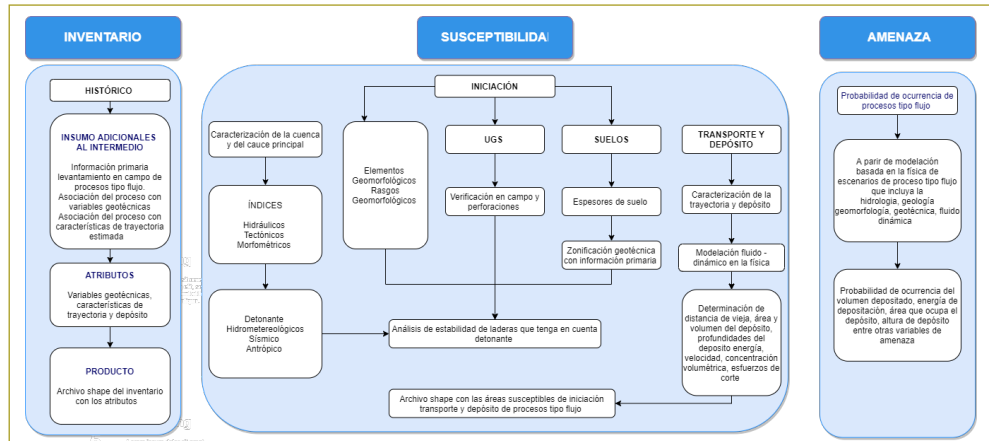
## METODOLOGÍA

El estudio se efectuó tomando en cuenta dos componentes metodológicos: el componente geológico basado en la *Guía metodológica para el conocimiento de amenaza* (Servicio Geológico Colombiano, 2016) y el fenómeno de avenida torrencial. *La guía metodológica para zonificación de amenaza por avenidas torrenciales*, publicada por el Servicio Geológico Colombiano (SGC), la cual se resume posteriormente (figura 2). Para los dos componentes se desarrollaron actividades de inspección de campo, con el fin de identificar y evidenciar los desprendimientos y la presencia de material en el deslizamiento y la quebrada Colorada.

Así mismo, se hicieron la consulta, análisis y procesamiento de información de estudios previos realizados en el área, enfocados en la zonificación de amenaza y el análisis de las condiciones geológicas para la actualidad. Para el componente de hidrología se calcularon la magnitud, el volumen y la duración de las crecientes asociadas a diferentes periodos de retorno y el análisis de ajustes a máximos por criterios Gumbel y Exponencial, así como la construcción de hidrogramas a partir de la metodología del USDA, para las cuencas de la quebrada

**Figura 2.** Metodología del SGC para estudios de avenida torrencial

Fuente: Servicio Geológico Colombiano, 2016.



Colorada y el río Soapaga. Esto permitió efectuar el análisis para los componentes del deslizamiento inicial y rotura de la presa.

Para el componente hidráulico se realizó la estimación de la amenaza, considerando los lineamientos de la *Guía metodológica* del SGC, junto a criterios y recomendaciones internacionales para el análisis del fenómeno a escala detallada; además, se analizó el potencial del flujo de avenidas torrenciales en relación con los procesos físicos que forman parte de este fenómeno, como el volumen de agua y de sedimento, concentración volumétrica de sedimento, condiciones físicas de la superficie y propiedades del flujo. Para el desarrollo de la modelación se hizo necesario estimar el caudal líquido y la concentración de sedimentos.

**RESULTADOS**

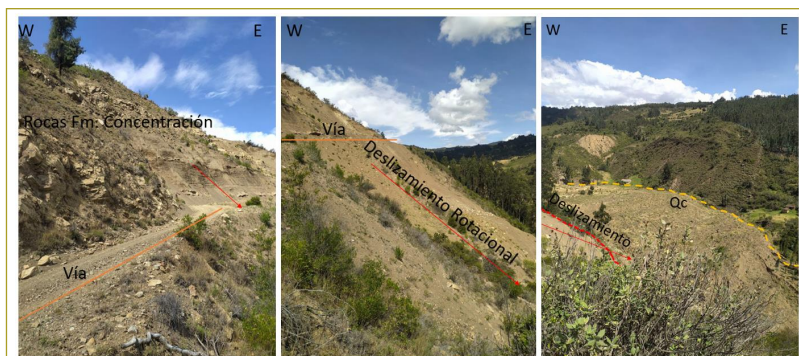
**Diagnóstico del deslizamiento de la Paz Vieja**

Paralelo al curso de la quebrada Colorada se han desarrollado varios deslizamientos de tipo traslacional en roca, cuyos detritos se desplazan hacia la quebrada,

aportando sedimentos y agudizando el proceso de remoción en masa, con el aumento significativo del material transportado.

Uno de ellos, el más crítico, debido a que tiene una longitud aproximada de 550 m, se identificó como un flujo de detritos en el análisis multitemporal correspondiente al año 2018; sin embargo, con la visita de inspección de campo (fotografía 1), se corroboró que obedece a un deslizamiento complejo, ubicado en las coordenadas este (1146073 mE) y Norte (1158329 mN); hacia la parte alta de la ladera (a) se clasifica como deslizamiento planar, (b) la acumulación de estos sedimentos y la pérdida de las propiedades mecánicas generan un flujo de detritos con desarrollo a deslizamiento rotacional. Finalmente, en la base del talud, este ya se encuentra colmatado de sedimentos, los cuales se deslizan sobre la quebrada, representando un riesgo latente.

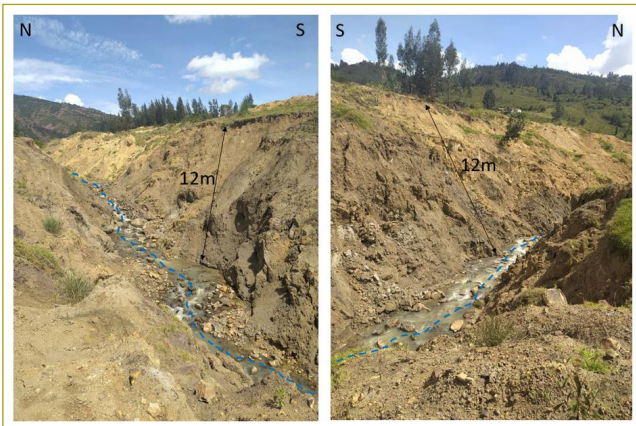
En el curso de la quebrada Colorada, el depósito coluvial Qc, generado por el fenómeno de remoción en masa, alcanza un espesor aproximado de 12 m (fotografía 2), el cual está conformado por una matriz limoarcillosa, con bajos niveles de porosidad (fotografía



**Fotografía 1.** Deslizamiento traslacional en el costado occidental de la quebrada Colorada. Este: 1146073 mE; Norte: 1158329 mN.

Fuente: Elaboración del autor, 2022.



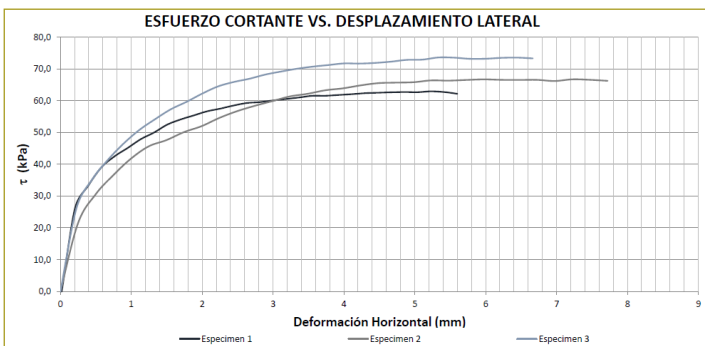


**Fotografía 2.** Espesor del depósito coluvial sobre la quebrada Colorada.  
Fuente: Elaboración del autor, 2022.

3), fragmentos heterométricos de areniscas. Este flujo se activa en temporadas de lluvias y obstruye el paso de la quebrada Colorada, por lo cual en reiteradas ocasiones la Alcaldía del municipio ha dispuesto de maquinaria para remover el material deslizado y estabilizarlo.

### Estimación de parámetros geotécnicos de las muestras

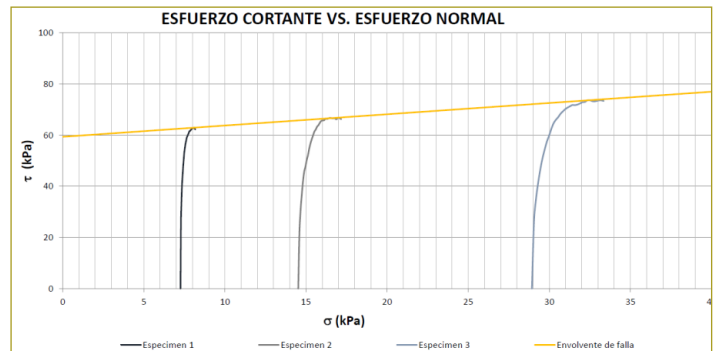
Como resultado de los ensayos de corte directos se hicieron esfuerzos de cortes con presiones de confinamiento bajos del orden de 0,2 y 73,3 kPa, determinan-



**Gráfico 1.** Resultado del esfuerzo cortante vs desplazamiento lateral.  
Fuente: Concrelab.

do con ellos la envolvente de resistencia al corte tipo Coulomb, en condiciones drenadas, expresada como un componente de cohesión ( $c'$ ) y un ángulo de fricción ( $\phi'$ ). Más adelante se muestran las gráficas de esfuerzo cortante vs. desplazamiento lateral y de esfuerzo cortante vs. esfuerzo normal (gráficos 1 y 2).

Una vez realizada la caracterización de los materiales de las muestras sustraídas sobre el deslizamiento se generó una sola muestra, con el fin de obtener el resultado final de la cohesión y el ángulo de fricción; esto permitió conocer la resistencia de los suelos en una condición drenada. Como resultado del ensayo, se obtuvo:



**Gráfico 2.** Resultado del esfuerzo cortante vs. esfuerzo normal.  
Fuente: Concrelab.

**Fotografía 3.** Comportamiento del flujo del cauce de la quebrada Colorada.

Fuente: Elaboración del autor, 2022.



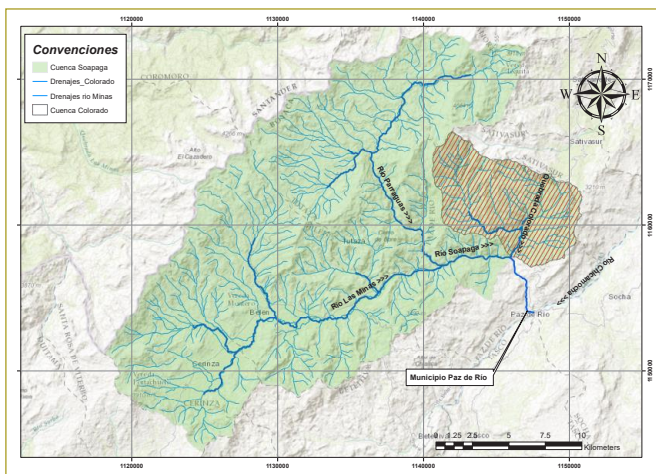
- Cohesión ( $c'$ ) = 59,33 kPa
- Ángulo de fricción ( $\phi'$ ) = 23,8°

### Análisis hidrológico y estimación de caudales máximos en la cuenca del río Soapaga y la quebrada Colorada

Para la zona de estudio se realizó el análisis hidrológico sobre la cuenca Soapaga, con un área de 485 km<sup>2</sup>, que está comprendida por los municipios de Santa Rosa de Viterbo, Cerinza, Belén, Tutazá, Sativanorte y Paz de Río. La quebrada Colorada es una subcuenca, la cual tiene un área de 56 km<sup>2</sup>, que corresponde al 6,6 % del área de la cuenca del río Soapaga.

En la cuenca en mención se analizaron diferentes ramas de la ingeniería, con el fin de describir el comportamiento detallado del deslizamiento en la Paz Vieja. Para el análisis se consideraron las decrecientes máximas y de procesos geomecánicos en las laderas de la zona en un largo lapso. Sin embargo, el hidrograma de crecientes puede provocar la rotura de la presa, lo cual forma parte del análisis que hay que hacer, las cuales generaron el represamiento de la quebrada Colorada y los posibles flujos de lodos hasta el río Soapaga.

A continuación se muestra la localización de la cuenca y subcuenca de estudio (figura 3).



**Figura 3.** Localización de la cuenca Soapaga y la subcuenca Colorada.

Fuente: Elaboración del autor, 2022.

### Estimación de caudales y modelación hidrológica

Para el desarrollo de la caracterización hidroclimatológica se dispuso de información de registros de precipitaciones diarias generados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). De la información disponible se utilizaron 17 estaciones que se encuentran sobre la cuenca en análisis y en cercanías de la zona de estudio.

### Caudales máximos

Se calcularon los caudales máximos instantáneos asociados a diferentes probabilidades de excedencia, usando el análisis de frecuencia realizado en la estación limnimétrica Puente Colorado.

Seguidamente, se muestran los caudales máximos probables para la distribución tipo Pearson III (tabla 1).

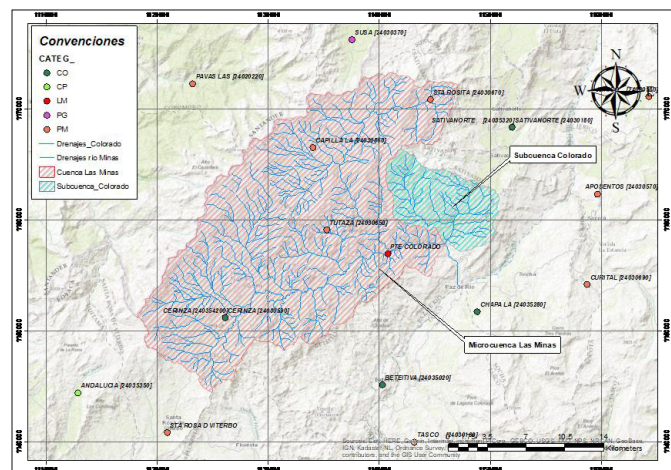
**Tabla 1**  
Caudales máximos probables para la estación Puente Colorado

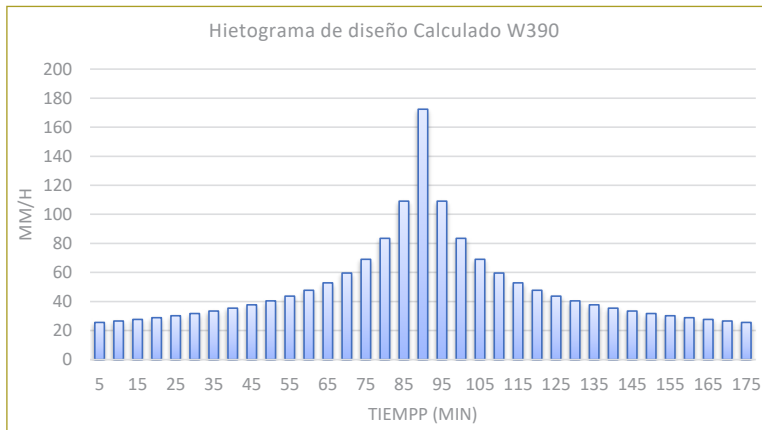
Periodo de retorno (años)	Q estación (m <sup>3</sup> /s)
5	26,86
10	30,33
20	33,21
50	36,44
100	38,60

Fuente: Hydrognomon.

**Figura 4.** Estaciones utilizadas para el desarrollo del modelo hidrológico.

Fuente: Elaboración del autor, 2022.





**Gráfico 3.** Hietograma de diseño calculado.

Fuente: Elaboración del autor, 2022.

### Cálculo de hietogramas resultantes

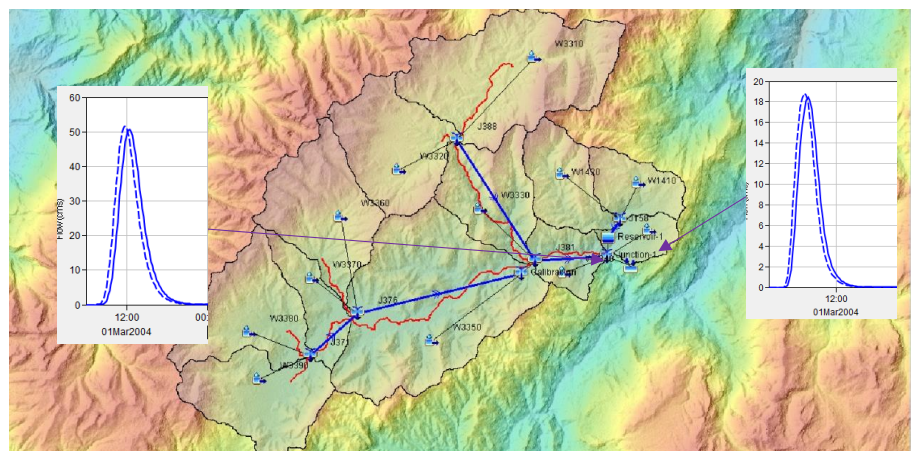
Para este cálculo se realizó la reducción de lluvia en relación con su tamaño en área de drenaje, y después se aplicó este factor a los incrementos, obteniendo los hidrogramas finales que se importan al modelo HEC-HMS. Cabe aclarar que sus incrementos son de intervalos  $\Delta t$  cada diez minutos para duraciones de 0 a 180 minutos (gráfico 3).

### Estimación de caudales y modelación hidrológica

La herramienta de modelación computacional HEC-HMS v4,8, con el área de la cuenca en  $\text{km}^2$ , el tiempo de retardo ( $T_{lag}$ ) en minutos, el valor de CN y los hietogramas de diseño resultantes determina el caudal máximo instantáneo de salida para los periodos de retorno mediante la metodología del SCS. A continuación, se muestra la esquematización del modelo hidrológico generado para las subcuencas en análisis (figura 5).

Para la calibración del modelo hidrológico se usaron métodos numéricos para la variable de entrada de mayor sensibilidad (CN), con el fin de calcular el valor de reducción por aplicar en la cuenca. Este valor ajusta el número de curva, modificando el caudal de respuesta, para el cual se ajusta la mejor prueba de bondad de ajuste con miras a obtener los caudales máximos instantáneos, para el punto de la confluencia del río Soapaga y la quebrada Colorada. En cuanto al modelo implementado, se realiza el ajuste en el número de curva CN y en los tiempos de abstracción.

La estación de mayor importancia para la calibración es Puente Colorado, debido a que se encuentra localizada en la parte media de la cuenca y con un tiempo de concentración mayor. Como resultado de esto, se obtiene una mayor aproximación en la calibración de caudales máximos para esta estación; la calibración se hizo manualmente, al realizar iteraciones con respecto al cambio numérico en el CN y los tiempos de concentración. Esto se ejecutó con base en los registros de caudales sobre la estación Puente Colorado, el cual



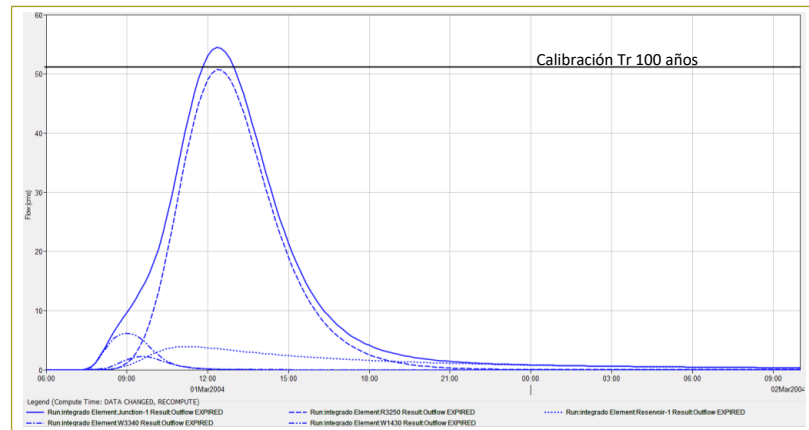
**Figura 5.** Esquematización del modelo hidrológico de la subcuenca del río Soapaga.

Fuente: Elaboración del autor, 2022.



**Figura 6.** Hidrograma calibrado en el punto de la confluencia del río Soapaga y la quebrada Colorada.

Fuente: HEC - HMS 4.4.



permitió calibrar el pico máximo para un periodo de retorno de cien años.

A renglón seguido, se describen los cambios numéricos que se efectuaron para el desarrollo de la calibración, se utilizan los datos de CN I, debido que los valores calculados para la condición de CN II son valores en aumento para estimar los caudales en el modelo computacional, los cuales permiten concluir que se presenta un aumento del 35 %. Además, se aplica un factor de aumento en los tiempos de concentración de 1,2960.

En la figura anterior se puede apreciar el hidrograma de calibración para la cuenca Las Minas, en el punto de la confluencia con la quebrada Colorada, al igual que una diferencia entre picos de 10 %, con 0,8 m<sup>3</sup>/s de discrepancia. A partir del modelo calibrado, el caudal pico total –considerando los volúmenes para el río Soapaga y la quebrada Colorada– es de 50,66 m<sup>3</sup>/s, debido a que los tiempos de llegada de los picos de las crecientes de las dos fuentes hídricas son distintos para todos los cauces, pero tienen una suma desde la confluencia hasta su tránsito con el casco urbano del municipio de Paz de Río.

### Modelación del fenómeno de flujo hiperconcentrado (deslizamiento)

#### Condiciones iniciales y de frontera

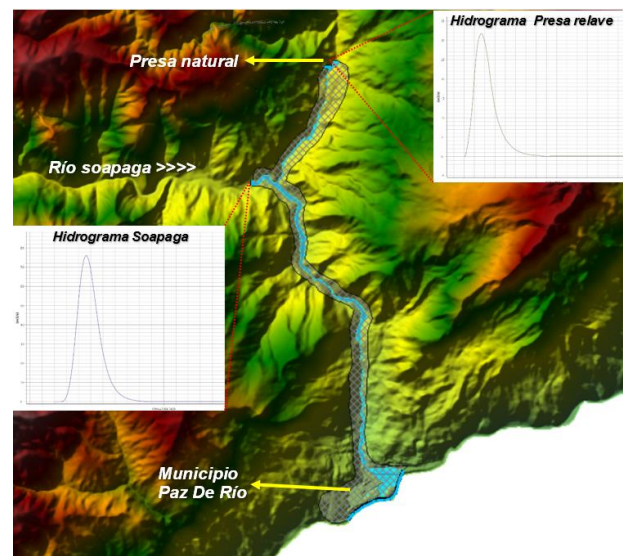
Los caudales de diseño se establecieron conforme a los resultados de la simulación hidrológica para un periodo de retorno de cien años. Así mismo, con el fin de asegurar una lámina constante para el periodo de ocurrencia del pico máximo, se fijaron hidrogramas del tipo meseta, en los cuales el pico máximo tuviera una mayor duración

en el tiempo. Esto permitirá determinar un mapa de máximos relacionado con un flujo permanente.

Los hidrogramas de entrada al modelo se evidencian en la figura siguiente (figura 7).

#### Condiciones de salida del modelo

En los cauces de la quebrada Colorada y el río Soapaga se estableció como condición de frontera a la salida de los modelos la cota de la lámina de agua del río Chichamocha en la confluencia con el río Soapaga, asociada a un periodo de retorno de cien años.

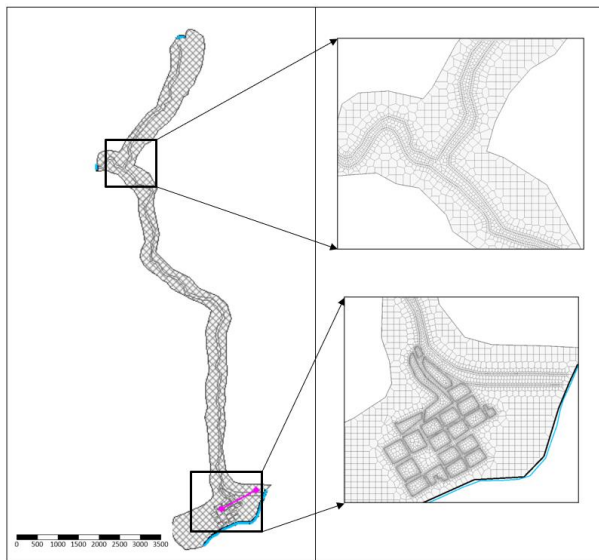


**Figura 7.** Caudales de entrada del modelo

Fuente: Elaboración propia, 2022.

### Discretización y extensión del dominio de cálculo

En las modelaciones numéricas para los dos escenarios de deslizamiento de la Paz Vieja y la rotura de presa se empleó la misma discretización del dominio de cálculo de los cauces de estudio y se construyó una malla híbrida compuesta por elementos estructurados y no estructurados. Para las zonas inundables se consideraron tamaños de celda de 10 m, mientras que para el cauce principal se redujo su tamaño a la mitad para tener un mayor detalle del fenómeno. Este tamaño de 5 m se considera suficiente debido al ancho de la sección hidráulica de los cauces.



**Figura 8.** Mallas de la quebrada Colorada y el río Soapaga.  
Fuente: Elaboración propia, 2022.

### Asignación de rugosidades al modelo

Los valores de rugosidad para los cuerpos hídricos de estudio se clasificaron en dos sectores principales. El primer sector corresponde al cauce permanente, donde se presentan los caudales recurrentes y cuya rugosidad está relacionada sobre todo con los procesos naturales de transporte de sedimentos asociados a la dinámica del cauce. El segundo sector corresponde a la zona inundable fuera de las bancas, donde predomina la vegetación asociada a condiciones de baja humedad del suelo; las zonas por donde discurren los cauces de estudio corresponden principalmente a asentamientos poblacionales. Por otro lado, en algunas zonas predominan pastos y arbustos de baja densidad, propios de zonas de actividades de pastoreo de ganadería.

Para la estimación del coeficiente de rugosidad de Manning ( $n$ ) en el sector del cauce permanente, se usó la metodología de Cowan (Ven Te Chow, 1959). Seguidamente, se muestran los valores finales del coeficiente de rugosidad para los cauces de estudio (tabla 2).

**Tabla 2**  
Coeficiente de rugosidad para los cauces de estudio

Rugosidad	Descripción	Río Soapaga	Q. Colorada
No	Rugosidad material	0,043	0,043
n1	Relieve del lecho	0,003	0,003
n2	Variación entre S.T.	0,003	0,004
n3	Obstrucciones en el cauce	0,002	0,003
n4	Vegetación	0,000	0,000
N	Valor calculado	0,051	0,053

Fuente: Elaboración del autor, 2022.

### Parámetros reológicos

Para el modelado de flujo hiperconcentrado se establecieron los parámetros reológicos descritos a continuación, los cuales se seleccionaron por medio de un análisis de sensibilidad y estudios de campo (tablas 3 y 4).

**Tabla 3**  
Parámetros reológicos del FLO 2D - deslizamiento de la Paz Vieja

$\alpha_1$	$\beta_1 =$	$\alpha_2$	$\beta_2$
(dimas/cm <sup>2</sup> )	[-]	(dimas/cm <sup>2</sup> )	[-]
0,000707	29,8	0,00632	19,9

Fuente: Elaboración del autor, 2022.

**Tabla 4**  
Parámetros reológicos de HEC-RAS

B	$\alpha_2$	$\beta_2$
[-]	[pa]	[-]
29,8	0,000707	29,8

Fuente: Elaboración del autor, 2022.

**Resultados de la modelación del deslizamiento de la Paz Vieja**

**FLO 2D**

El deslizamiento presenta alturas máximas de 14,2 m, mientras que para la zona de represamiento hay alturas de 10,6 m en promedio. A continuación, se muestra la mancha de creciente para avenida torrencial para un periodo de retorno de cien años en el modelo FLO - 2D (figura 9).

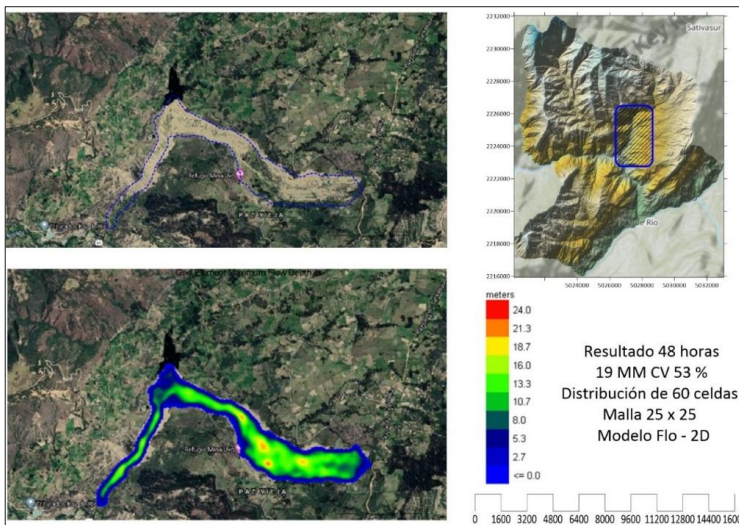
**HEC-RAS**

Seguidamente, se muestran los resultados para avenida torrencial para un periodo de retorno de cien años en el modelo HEC - RAS.

**Comparación de resultados entre FLO-2D y HEC-RAS**

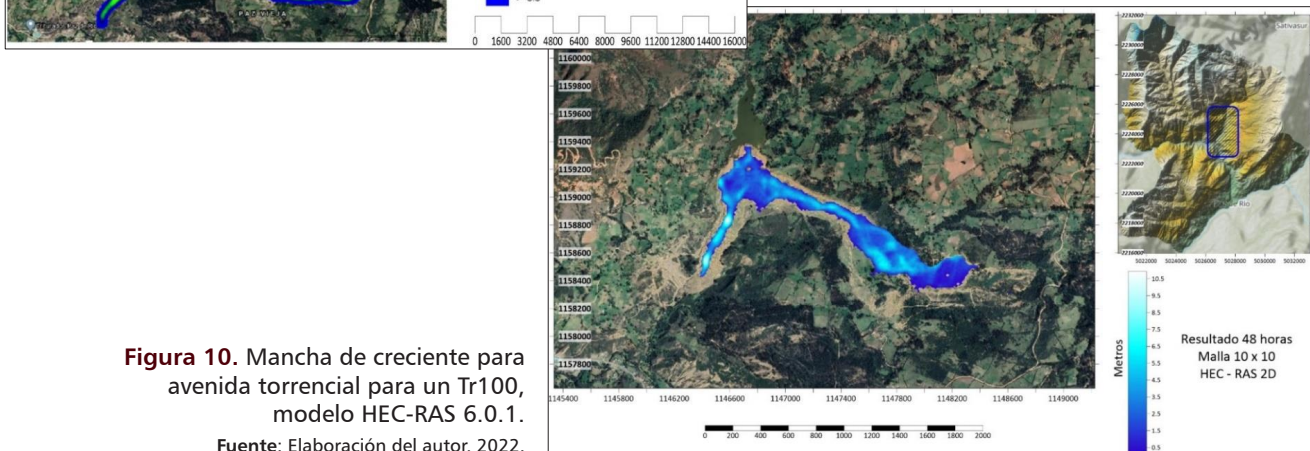
Desde la selección de los parámetros los dos modelos son diferentes, debido que el programa HEC-RAS tiene fijo 1, con el valor de la viscosidad dinámica del agua 10 °C.

- El FLO-2D permite la incluir un hidrograma de solidos en función del hidrograma líquido; en cambio, el HEC-RAS únicamente permite ingresar el hidrograma líquido, mientras que el sólido queda constante sobre el tiempo de tránsito del líquido.
- En ambos modelos se registra una diferencia de alturas en la zona “Paz Vieja”, donde el modelo FLO-2D registra 9,7 m de altura; en cambio, en el modelo HEC-RAS se presenta una altura de 8,6 m, con una diferencia en promedio de 0,9 m. Esto se debe a la entrada y selección de las celdas para la asignación de los hidrogramas.
- Los dos modelos registran variaciones en las velocidades, en la misma medida en que avanzan sobre la propagación del deslizamiento; para la zona de la Paz Vieja, sobre el modelo FLO-2D se registran 3,2 m/s y para el HEC-RAS de 2,6 m/s.
- En el modelo HEC-RAS se registra un área de deslizamiento de 86,5 ha y para el modelo FLO-2D se presentan 98,6 ha. Estas variaciones se producen por la asignación de las entradas y la asignación de los



**Figura 9.** Mancha de creciente para avenida torrencial para un Tr100, modelo FLO-2D.

Fuente: Elaboración del autor, 2022.



**Figura 10.** Mancha de creciente para avenida torrencial para un Tr100, modelo HEC-RAS 6.0.1.

Fuente: Elaboración del autor, 2022.



hidrogramas y los coeficientes 1, como se ha descrito anteriormente. Para la actualidad, el deslizamiento es de más de 100 ha. De lo anterior, se concluye que la extensión más aproximada se registra en el modelo FLO-2D.

**Análisis y modelación de la rotura de la presa natural formada en la quebrada Colorada**

A partir de la simulación en la que se consideran los parámetros asociados a flujos no newtonianos, correspondientes a flujos de avenida torrencial, se generaron los resultados de profundidad, velocidad y esfuerzos cortantes, con los cuales es posible realizar la zonificación de amenaza por avenidas torrenciales.

El actual represamiento presenta una profundidad promedio de 6,12 m en un perímetro inundado de 7,78 ha, con un volumen de almacenamiento de 263,694 m<sup>3</sup>. La presa tiene una salida de rebose al costado suroeste.

**Estimación del volumen de rotura**

Para el cálculo del volumen almacenado producto del represamiento se utilizó la curva de almacenamiento, tomando como cota máxima de rebose 2526,4 msnm y como cota donde se presentaría el rompimiento de la presa 2528,2 msnm.

La actual administración municipal ha hecho intervenciones en la parte del rebose. Para este análisis

se toma como cota 2527,12 msnm y se presenta la salida de rebose para una condición natural con un volumen de 132,553 m<sup>3</sup>. Para la condición de análisis se presenta una creciente para un periodo de retorno de cien años, y un incremento en su volumen total de 304,409.78 m<sup>3</sup>.

A renglón seguido, se presentan la curva y sus cotas para el cálculo del volumen almacenado.

**Modo de falla hidrológica**

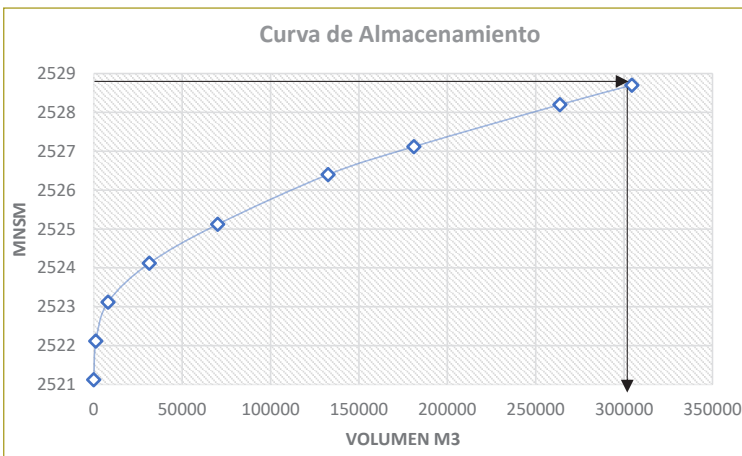
Para este capítulo se desarrolló el análisis de la probabilidad de una falla hidrológica en relación con el volumen de propagación (liberación de la brecha), análisis que se hace en condición de ruptura de presa por erosión con respecto al caudal líquido. A continuación, se presentan tres relaciones consideradas en el modo de falla hidrológica (tabla 5).

- Presa natural y volumen de almacenado.
- Volumen de inundación (probabilidad para un TR cien años de inundación).
- Comportamiento de la brecha con su capacidad de rompimiento de la presa.

**Tabla 5**  
Resultados utilizados para la falla por condición hidrológica

Descripción	Unidades
Espacio libre	131,143 m <sup>3</sup>
Volumen de entrada a la inundación	343,018 m <sup>3</sup>
Altura máxima permitida	2,3 m
PMF	1,5 m

Fuente: QGIS 3.10 del aplicativo de FLO - 2D Tailings Dam Breach.

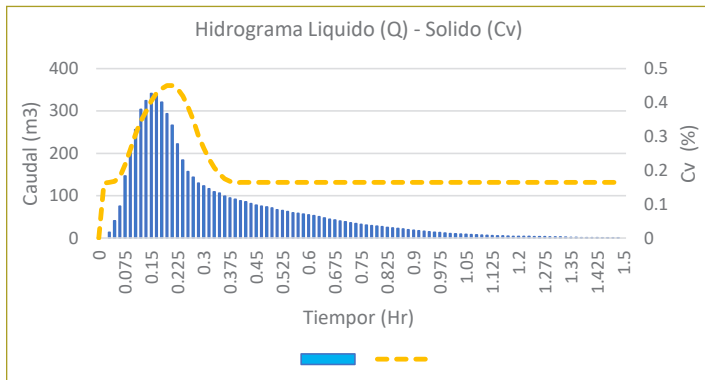


**Gráfico 4.** Cálculo de la curva de almacenamiento.

Fuente: Elaboración del autor, 2022.

**Implementación del hidrograma de rotura calculado**

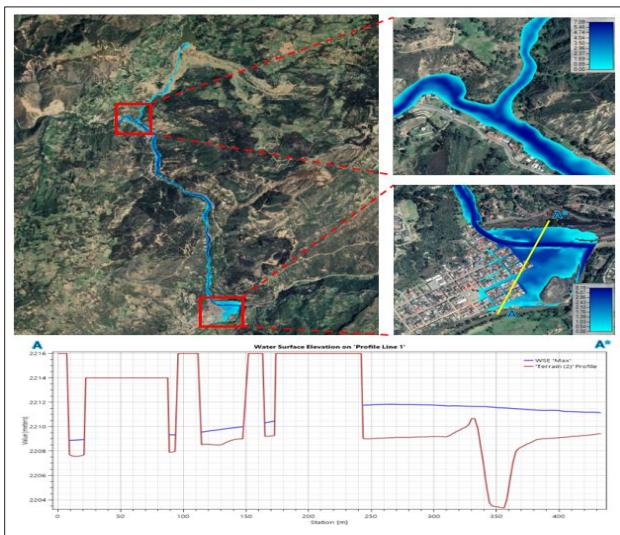
Se estableció la geometría del hidrograma implementado. Una vez que se selecciona, se evalúa con la herramienta para la estimación de los caudales máximos en función de la geometría de la presa y la del volumen represado. Se determinó una geometría desarrollada por el software del QGIS 3.10 del aplicativo de FLO - 2D, que permite obtener una correlación con las curvas a partir de registros históricos para la sección del hidrograma de ruptura que coincida con el volumen de liberación. En



**Gráfico 5.** Hidrogramas de rotura estimados para la presa de relave.  
Fuente: Elaboración del autor, 2022.

el gráfico anterior se pueden apreciar los hidrogramas líquido y sólido implementados (gráfico 5).

**Resultado de la modelación hidráulica para fenómeno de avenida torrencial para la presa natural**

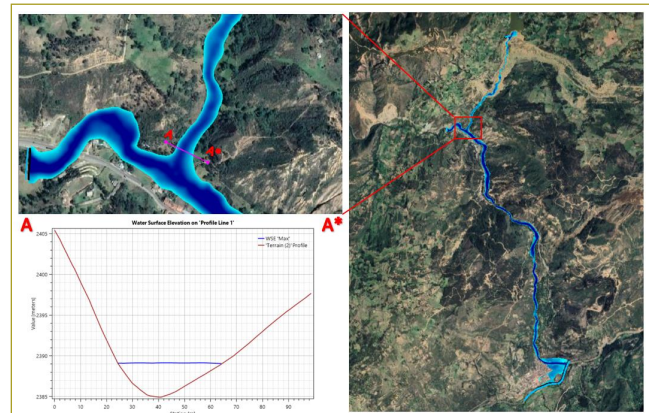


**Figura 11.** Resultados de una inundación en el casco urbano.  
Fuente: Elaboración del autor, 2022.

**Quebrada Colorada**

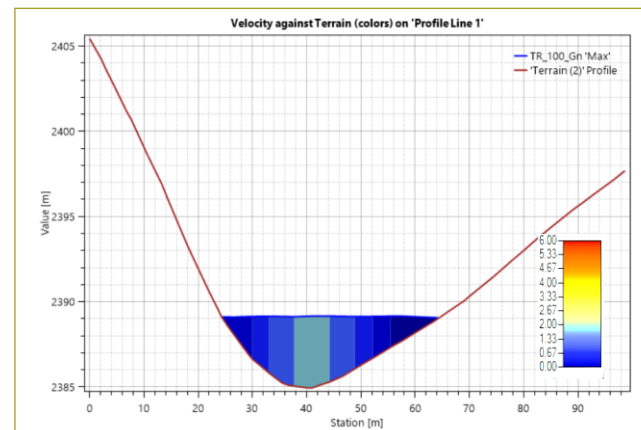
Los efectos del flujo de avenida torrencial se ven representados en el aumento de la extensión de la lámina y la profundidad de flujo, debido a las propiedades del fluido, cuyos esfuerzos cortantes son mayores y su velocidad puede ser menor. Para la quebrada Colorada se presenta un aumento, mientras que el flujo tiende a ser estable, de acuerdo con la capacidad hidráulica en el tramo de la salida del represamiento y la confluencia

con el río Soapaga. Para esta zona, antes de ingresar a la confluencia, se pueden apreciar láminas de agua de 4 m.



**Figura 12.** Análisis de láminas de agua en la quebrada Colorada.  
Fuente: Elaboración del autor, 2022.

Como se mencionó anteriormente, para este punto de análisis las velocidades registran una disminución debido a que los esfuerzos son menores; para la sección analizada se toma la misma localización de la figura siguiente, en la que se pueden apreciar velocidades de 1,8 m/s. A continuación, se muestra la sección transversal con las velocidades antes de la confluencia con el río Soapaga (figura 13).

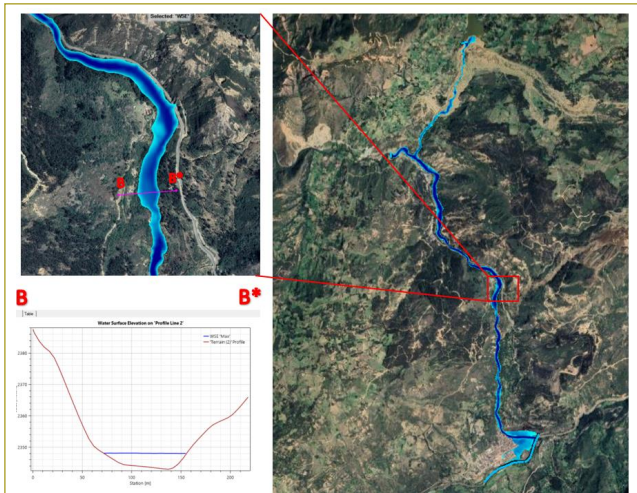


**Figura 13.** Velocidades antes de la confluencia con el río Soapaga.  
Fuente: Elaboración del autor, 2022.

**Río Soapaga**

Este río presentaba condiciones apropiadas para inundación, pero el efecto de los flujos hiperconcentrados de avenida torrencial provoca condiciones de baja

capacidad hidráulica y paso de flujo del tipo anegado, el cual sobrepasa en este sector la vía, con niveles superiores a 0,7 m. Así mismo, en la zona del Salitre se presenta un cambio de pendiente, la cual genera un aumento de la altura de la lámina de agua (para esta zona se registran alturas de 4,88 m). A renglón seguido se muestran las alturas de lámina sobre el sector del Salitre, que producen afectaciones sobre la vía departamental (figura 14).

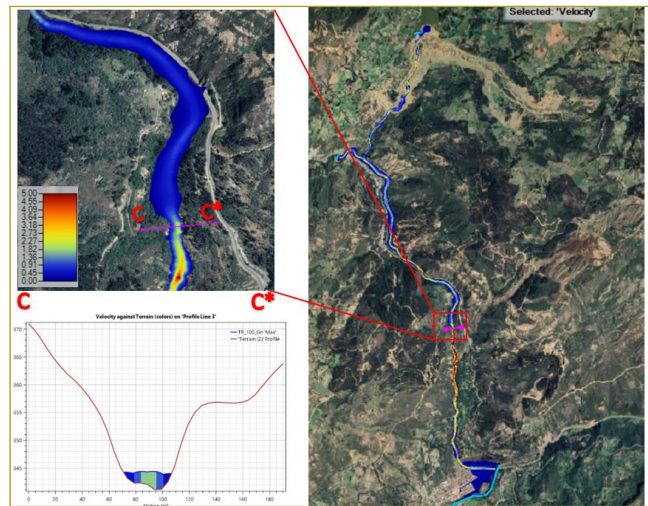


**Figura 14.** Sección transversal del río Soapaga, sector del Salitre.

Fuente: Elaboración del autor, 2022.

Más adelante se pueden observar las velocidades después del cambio topográfico sobre el sector del Salitre, así como también que se genera una amortiguación, la cual permite disminuir sus velocidades a 0,91 m/s. Los cambios del terreno en este sector presentan pendientes drásticamente inclinadas, que han hecho que las velocidades aumenten en promedio 2,5 veces, llegando hasta velocidades máximas en algunos tramos de 4,5 m/s; en la sección transversal se registran velocidades de 2,27 m/s (figura 15).

Una vez realizada la modelación hidráulica para los cauces de estudio, se puede concluir que los principales parámetros hidrodinámicos relacionados con la profundidad de la lámina de agua, velocidad y hora de la llegada del pico de la creciente son adecuados con respecto a la incidencia del fenómeno, y debido a las condiciones más apropiadas de estabilidad, será una información válida para la toma de decisiones por parte de los entes gubernamentales de esta región.



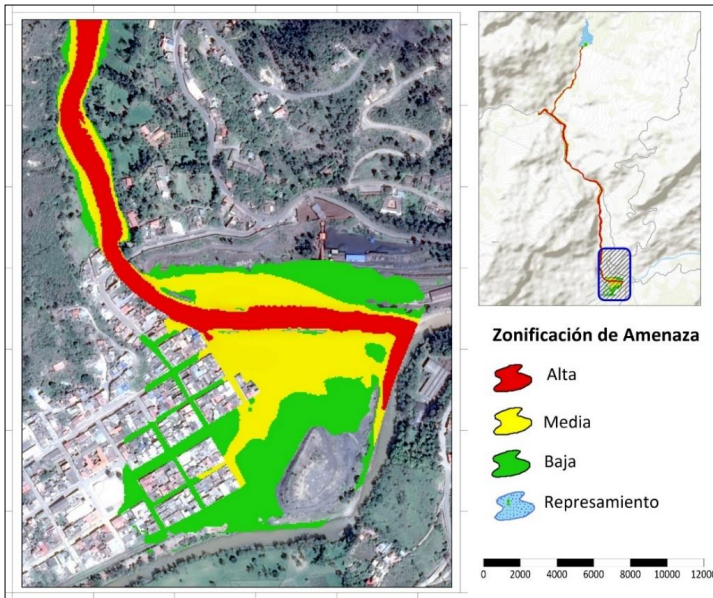
**Figura 15.** Velocidades sobre la zona del Salitre, río Soapaga.  
Fuente: Elaboración del autor, 2022.

### Zonificación de amenaza en el río Soapaga

El paso de flujos no newtonianos en la quebrada Colorada y el río Soapaga, como efecto del incremento en la extensión de la lámina y las profundidades esperadas, por lo que la zonificación presentará, a su vez, una mayor extensión. Ocurre a su turno un aumento en las zonas con amenaza media, las cuales tienden a incrementar la vulnerabilidad de las estructuras localizadas a una mayor cercanía del cauce. Al actuar la zona en general como una planicie de amortiguación, el ingreso del flujo al embalse ocurre en diferentes sectores, conformando un abanico de deposición. En la figura siguiente se puede observar la zonificación de amenaza por avenida torrencial en la quebrada Colorada y el río Soapaga (figura 16).

Para el río Soapaga, se presenta un aumento en la ocupación de las zonas de llanura históricamente inundables; el flujo entra en contacto con más construcciones hasta llegar al parque principal del municipio de Paz de Río, mientras que las estructuras de paso antiguas presentan total rebose sobre la rasante, como sucede sobre la estructura de la calle 10. Así mismo, el presente flujo tiene afectación directa sobre las vías de la calle 11 hasta la calle 8, entre las carreras 5 y los límites con el río Chicamocha. La zona de mayor impacto históricamente resulta ser consistente con los resultados de la modelación, por ello la afectación se registrará hasta la plaza de mercado; ahora bien, por la margen izquierda del río Soapaga se producen inundaciones sobre la zona planta de CI Milpa S.A., empresa exportadora.





**Figura 16.** Zonificación de amenaza en el casco urbano del municipio de Paz de Río (Boyacá).

Fuente: Elaboración del autor, 2022.

## CONCLUSIONES

- Los resultados de las modelaciones están desarrollados en función del rompimiento por brecha, generando una avalancha hasta el río Soapaga; al mismo tiempo, este cuerpo hídrico tiene la capacidad de transitar por él o depositarlo sobre el casco urbano del municipio de Paz de Río.
- A partir de las modelaciones hidrológicas debidamente calibradas con estaciones hidrométricas presentes en la zona de estudio, se lograron estimar los hidrogramas producidos por el aguacero, asociado a un periodo de retorno de cien años en cada una de las cuencas de estudio. Se estimaron caudales pico de estos hidrogramas para la quebrada Colorada y el río Soapaga de  $18,4 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $50,66 \text{ m}^3/\text{s}$ , respectivamente.
- Los análisis multitemporales efectuados para la cuenca de estudio evidencian la presencia de eventos de avenida torrencial en la subcuenca de la quebrada Colorada; sin embargo, debido a la ausencia de registros de eventos históricos y marcas de crecientes asociadas a fenómenos de avenida torrencial, no es posible hacer una calibración adecuada del modelo a través de los parámetros reológicos,

tomando los datos calculados por Concrelab y la reología Glenwood 3, la cual mostró resultados positivos para Rogelis (2009) al ser más crítica y asegurar un factor de seguridad en su estimación.

- De acuerdo con los resultados de las manchas de crecientes para un periodo de retorno de cien años, es posible concluir que el modelo FLO-2D es el apropiado para el deslizamiento por cuanto requiere datos de entrada de información topográfica, hidrológica, geotécnica y reológica, siendo este último dato más difícil de obtener porque requiere información más especializada sobre la reología del flujo; así mismo, permite la integridad de los hidrogramas líquidos como sólidos. Por esto, la conveniencia de utilizar y seleccionar el modelo FLO-2D para este análisis de flujos hiperconcentrados es que simula hidráulicamente el flujo no confinado. Vale la pena anotar que los resultados de coincidencia se dan por el engrosamiento del flujo correspondiente a 1,45, es decir, un aumento del 65 % con respecto al caudal líquido.

## REFERENCIAS

- Bin, Y., & Huilin, Z. (2000). Direct determination of rheological characteristics of debris flow. *Journal of Hydraulic Engineering*, 126(2), 158–170. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2000\)126:2\(158\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2000)126:2(158)).
- Iverson, R. (1997). "The Physics of Debris Flows". *Reviews of Geophysics*, 35.
- Kunz, B., Mitschka, R., & Zickrick, K. (1982). Nutzung mathematischer Methoden für die Nährbodenoptimierung eines industriellen Emersfermentationsprozesses. *Food / Nahrung*. <https://doi.org/10.1002/food.19820260604>.
- Universidad Nacional de Colombia (1998). *El deslizamiento de Coloradales - El Salitre en la zona de Paz de Río, Boyacá*.
- O'Brien, J. S. & Julien, P. Y. (1985). *Physical Properties and Mechanics of Hyperconcentrated Sediment Flows*. Conference.
- O'Brien, J.S., Julien, P. Y. & Fullerton, W. T. (1933). "Two-dimensional water flood and mudflow simulation. *J. of Hyd. Eng., ASCE*, 119(2), 244–259.
- O'Brien, J. (2007). *FLO-2D Software*. Inc. EUA.
- Polanco, C. (2001). *Inventario y sistematización de los desastres naturales ocurridos en los municipios del departamento de Antioquia, exceptuando los municipios del valle del Aburrá, entre 1920-1999*. Universidad Eafit. Medellín.
- Sánchez, R., & Martínez, O. (2000). *Deslizamiento y represamiento del río Lagunilla, municipio de Libano (Tolima)*.
- Sanz-Ramos, M., Olivares, G., & Bladé, E. (2017). Simulación de rotura de presas aterradas con fondo móvil. Caso de estudio. *V Jornadas de Ingeniería del Agua*, 1–11. Recuperado de [http://www.iberaula.es/Temas/DisplayTema?id\\_tema=707](http://www.iberaula.es/Temas/DisplayTema?id_tema=707).

# Delimitación del área de protección e integración espacial de humedales urbanos. Caso de estudio: Bogotá

## Delimitation of urban wetlands protection area and spatial integration. A case study in Bogotá

ARIADNA YOLANDA CARO GARCÍA<sup>1</sup> - LUZ MERY VALENCIA CARVAJAL<sup>2</sup>

1. Magíster en Ingeniería Civil de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.  
2. Profesora de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería.

ariadna.caro@mail.escuelaing.edu.co - luzmery.valencia@escuelaing.edu.co

Recibido: 22/06/2022 Aceptado: 22/07/2022

Disponible en [http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones\\_revista](http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista)  
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

### Resumen

En este estudio se analizó la viabilidad del uso de imágenes satelitales, fotografías aéreas e imágenes tomadas con dron para la delimitación de humedales urbanos, en especial para el humedal Tibanica, en la localidad de Bosa; se analizaron, además, la variación multitemporal desde el 2009 hasta el 2022 del uso del suelo mediante la metodología Corine Land Cover (CLC), adaptada para Colombia, y la información oficial de la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA).

Los resultados presentan la disminución de la vegetación sobre cuerpos de agua (espejos de agua) de 6,63 ha y el aumento del tejido urbano en 26 ha en los últimos 13 años, debido al crecimiento en la demanda de tierras para la construcción de viviendas y ampliación de vías como la avenida Ciudad de Cali; igualmente, se presenta la diferencia entre el uso de fotografías aéreas e imágenes satelitales, siendo factores decisivos la calidad de la imagen y el nivel de detalle.

Finalmente, se presenta la propuesta para la integración del humedal a las dinámicas de la población.

**Palabras claves:** imagen satelital, Corine Land Cover (CLC), humedal urbano, integración espacial.

### Abstract

This study analyzes the feasibility of using satellite images, aerial photographs, and drone images for the delimitation of urban wetlands at the Tibanica Wetland in the locality of Bosa, in Bogota, Colombia. For this study, the multi-temporal variation of land use from 2009 to 2022 was discussed using the CORINE Land Cover (CLC) methodology adapted for Colombia and official information from the Environment District Secretary. The results show the decrease of vegetation on water bodies (water mirror) of 6.63 Ha and the increase of the urban fabric in 26 Ha in the last 13 years, due to the growth in the demand of land for construction of housing and expansion of roads such as Avenida Ciudad de Cali. Also, the difference between the use of aerial photographs and satellite images is presented, which showed the quality of the images and the detail level as decisive factors. Finally, the proposal for the integration of the wetland into the dynamics of the population is presented.

**Keywords:** Satellite images, CORINE Land Cover (CLC), urban wetland, spatial integration.

## INTRODUCCIÓN

Los humedales prestan una gran variedad de servicios ecosistémicos al medio ambiente, pero sobre todo a la sociedad, pues son parte fundamental en la prevención de inundaciones, recarga de acuíferos y reserva de especies endémicas de flora y fauna.

Colombia posee más de 20.252.500 humedales interiores que, a pesar de su oferta de bienes y servicios ambientales, se encuentran afectados en su estructura, composición y funcionamiento, en la mayoría de los casos, por las actividades humanas y el crecimiento poblacional, lo que ha aumentado la demanda de tierras para construcción de viviendas y fines agropecuarios.

De acuerdo con la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA, 2018), en Bogotá se han perdido aproximadamente 49.000 ha de humedales por efectos de la urbanización y, por tanto, se ha perdido también su función en el control de eventos de inundación; esto es especialmente grave para la ciudad, puesto que en los últimos 16 años se han registrado múltiples inundaciones. El Sistema de Información para la Gestión del Riesgo y Cambio Climático de Bogotá reporta 16.035 eventos de inundación, de los cuales el 40,4 % se presentan por inundación y el 50,94 % se manifiestan por efectos del encharcamiento.

De los humedales de planicie de Bogotá, Tibanica es uno de los más deteriorados y reducidos. Está ubicado en una zona estratégica de la ciudad por sus condiciones climáticas, por lo que los servicios ambientales que ofrece en términos de regulación ecológica, climática, hídrica y de humedad relativa son fundamentales (EAAB, s.f.). En razón de lo anterior, se necesita caracterizar su cobertura y delimitar su zona de influencia o de protección, y para esto los sistemas de información geográfica (SIG) se convierten en una herramienta de gran ayuda, debido a que facilitan el procesamiento digital de imágenes de satélite y ortofotogramétricas, el cual facilita la comparación de los resultados.

En el presente artículo de investigación se desarrollan la metodología y los resultados obtenidos para la delimitación del humedal urbano Tibanica, con el fin de ayudar a su protección e integración en el espacio en el que se encuentra, para que así se articule su gestión con el desarrollo urbano. Para esto, se utilizaron imágenes satelitales y ortofotografías obtenidas con el dron de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Los resultados obtenidos mostraron que las imágenes satelitales, gracias a que cubren mayor área

y trabajan con la banda infrarroja del espectro electromagnético, facilitan la interpretación de la cobertura del humedal y la clasificación mediante la metodología Corine Land Cover (CLC).

## METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la investigación se establecieron cuatro fases: selección del humedal, revisión bibliográfica, recolección de la información y procesamiento de imágenes. A continuación, se describe fase por fase:

### Selección del humedal

Se buscó que el humedal seleccionado hubiera perdido al menos el 50 % de su área en los últimos 50 años y que, además, su espejo de agua estuviera degradado o fragmentado debido a la presencia de vegetación acuática.

Para el desarrollo de la presente investigación se seleccionó el humedal Tibanica, el cual está ubicado en las coordenadas 4° 36'08.25" de latitud norte y 74°12'15.71" de longitud oeste. Se encuentra situado en la localidad 7 de Bosa, UPZ 85, en el Distrito Capital, al occidente de la autopista Sur y en el suroccidente de Bogotá, en el límite con el municipio de Soacha; tiene una cobertura de 28,8 ha (Secretaría Distrital de Ambiente [SDA], 2021).

### Revisión bibliográfica

La segunda etapa consistió en la revisión bibliográfica, sobre temas referentes a la delimitación de humedales urbanos, variables implementadas en dicho proceso, resultados y comparación de metodologías, así como estrategias para la protección e integración de dichos ecosistemas y a la dinámica sociocultural de la comunidad aledaña.

### Recolección de la información

#### *Estaciones pluviométricas*

Se utilizó la información de las estaciones meteorológicas del Ideam que cubrían el área de estudio. Las estaciones obtenidas fueron Bosa Barreno, Casa Blanca y Las Huertas; se usó la información de precipitación total diaria y mensual.



### Imágenes de satélite y aerofotográficas

Se utilizaron las imágenes satelitales Landsat 8, descargadas de Google Earth Pro, de alta resolución. Estas imágenes incorporan una banda en el infrarrojo del espectro, con serie histórica para Colombia desde 2009.

Se seleccionaron las que tuvieran menos del 30 % de nubosidad, y se buscaron dos imágenes por año (para los periodos seco y húmedo). Se obtuvieron imágenes para diciembre de 2009, marzo de 2013, enero y noviembre de 2016 y mayo de 2022. La imagen aerofotográfica obtenida con el dron se tomó en noviembre de 2022, en horas de la mañana.

### Procesamiento de imágenes

Las imágenes satelitales se obtuvieron en falso color directamente de la fuente, por lo cual no se necesitó hacer ningún tipo de modificación en las bandas; sin embargo, el sistema de referencia era WGS 84, por lo cual hubo que transformarlo al sistema de coordenadas Magna Sirgas Colombia para la implementación de la metodología Corine Land Cover (CLC) en escala 1:25.000, siguiendo las recomendaciones del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2021). No obstante, la escala usada en el presente trabajo fue 1:5000, para obtener mayor detalle de la zona. Con la imagen de satélite del año más reciente, en el programa ArcGIS, versión 1.2.2, se procedió a realizar la clasificación CLC y la actualización catastral.

### Clasificación Corine Land Cover

Se establecieron siete categorías, de acuerdo con los lineamientos de la metodología del IGAC. La clasificación se hizo con el programa ArcGIS, mediante la clasificación no supervisada (primero se establecieron doce categorías y después se reclasificaron en seis); posteriormente, se elaboraron los polígonos en una sola capa. Es importante aclarar que los tipos de cobertura variaron de 2009 a 2022, por lo que fue necesario utilizar siete categorías (tabla 1).

### Imagen obtenida con el dron

Se usó el dron Mavic Pro Platinum, sensor 1/2,3" (CMOS), pixeles efectivos: 12,35 M (total de pixeles: 12,71M), se diseñó un plan de vuelo que cubriera el humedal, más 50 m a la redonda de este, a una altura de vuelo de 120 m. Se obtuvieron 682 imágenes, las cuales se procesaron en el programa Metashape Agisoft 1.8.

Una vez conseguida la imagen de la zona, con sus respectivas coordenadas, se procedió a hacer la clasificación para la cobertura del suelo, mediante la metodología Corine Land Cover con el programa ArcGIS, como se mencionó anteriormente. Sin embargo, dado el nivel de detalle de la imagen, la clasificación no se observaba adecuadamente debido a la gran cantidad de categorías, por lo que solo se tomó como guía.

**Tabla 1**  
Códigos y colores RGB Corine Land Cover (CLC) para Colombia utilizados para el humedal urbano Tibanica

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	RGB
1. Territorios artificializados	1.1. Zonas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo			204-000-000
	1.2 Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	1.2.1. Zonas industriales o comerciales	1.2.1.1. Zonas industriales		204-077-042
	1.4 Zonas verdes artificializadas no agrícolas	1.4.1. Zonas verdes urbanas	1.4.1.1. Otras zonas verdes urbanas		255-128-128
2. Territorios agrícolas	2.1. Pastos	2.1.1. Pastos limpios			204-255-204
	2.2. Cultivos permanentes	2.2.5 Cultivos confinados			130-074-018
3. Bosques y áreas seminaturales	3.2. Áreas con vegetación herbácea o arbustiva	3.2.1 Herbazal	3.2.1.1. Herbazal denso	3.2.1.1.2. Herbazal denso inundable	207-249-087
4. Áreas húmedas	4.1. Áreas húmedas continentales	4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua			080-080-255

Fuente: Ideam, adaptada por el autor.

## RESULTADOS Y ANÁLISIS

### Caracterización climática

El humedal Tibanica presenta una distribución de lluvias bimodal, con dos temporadas de lluvias muy marcadas entre abril- mayo y octubre-noviembre, y dos periodos relativamente bajos o secos entre julio-agosto y enero-febrero (figura 9). Esto parece estar relacionado con la influencia de los vientos alisios procedentes del noreste (NE) y del sureste (SE), que dan origen a la zona de convergencia intertropical (ZCIT) (Jaramillo & Chaves, 2000).

### Cobertura y uso del suelo (CLC) del humedal Tibanica

Existen pocos estudios sobre el uso de la metodología Corine en humedales urbanos. No obstante, en el estudio de Cabrera-Amaya et al. (2017), la utilizaron para el análisis de la cobertura vegetal (nativa e introducida) del humedal Jaboque y del parque la Florida. Recientemente, en el estudio de Nieto & Velandia (2020), se implementó esta metodología para el análisis de la cobertura en el periodo 1993-2005. Estos estudios representaron un punto de partida para la selección de las categorías utilizadas en el humedal Tibanica.

Las áreas por tipo de cobertura (tabla 2) permiten observar los cambios en el uso del suelo a lo largo del tiempo de estudio del humedal Tibanica. Uno de los resultados más representativos es el crecimiento del

tejido urbano en los últimos trece años: en 2009, presentaba un área de 54,38 ha, en contraposición con las 62,54 ha de mayo de 2022. La disminución del área en esta cobertura, para el 2013, se debe a que en la imagen satelital la vía no estaba definida ni cumplía con los 8 m de ancho (mínimo) para ser incluida en el tejido urbano; por lo tanto, se incluyó en la categoría de pastos limpios, posiblemente por el crecimiento del pasto, debido a que marzo es un periodo de transición entre el periodo seco y el húmedo. La información de noviembre de 2022 corresponde a la información obtenida con el dron. La variación en las áreas se debió a que solo se tomaron 0,64 ha a la redonda del humedal, correspondientes al tejido urbano; sin embargo, el área de estudio del ecosistema en las seis imágenes fue de 28,8 ha.

Las imágenes satelitales, actualmente, se pueden descargar en forma gratuita de diferentes servidores en línea, en contraste con las aerofotografías, que se deben obtener en el IGAC, en la mayoría de los casos, y revisar las líneas de vuelo disponibles para la zona de estudio; no obstante, en ciertos eventos, según el estado de la imagen, hay que pagar por su digitalización. Si bien ambos métodos requieren una comprobación detallada en campo, el uso de imágenes satelitales es más fácil por el manejo de bandas, en especial la banda del infrarrojo, debido a la reflectancia que tiene el agua en este espectro (Passuci et al., 2016). Adicionalmente, el uso de imágenes satelitales de alta resolución para la elaboración de la cartografía forestal ofrece ventajas

**Tabla 2**  
Área en hectáreas por tipo de cobertura para cada año

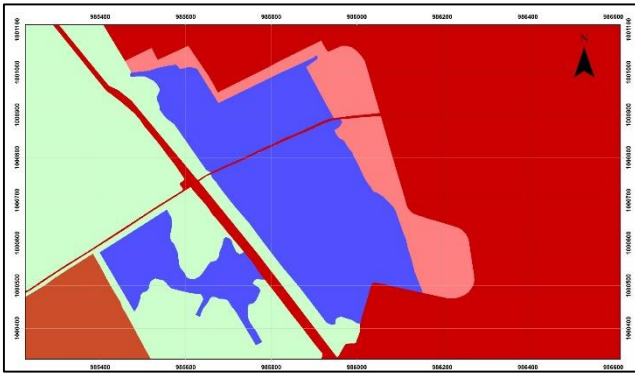
Tipo de cobertura	Año de la imagen	2009	2013	2016		2022	
				Ene.	Nov.	May.	Nov <sup>1</sup> .
Área (ha)							
Tejido urbano continuo		54,38	51,06	55,06	54,47	62,54	37,46
Zonas industriales		6,0	5,66	6	-	-	-
Otras zonas verdes urbanas		7,60	8,07	8,25	8,16	12,82	7,81
Pastos limpios		28,75	35,88	33,17	18,92	5,75	12,57
Cultivos confinados		-	-	-	18,27	18,60	4,81
Herbazal denso inundable		-	-	-	-	3,83	3,84
Vegetación acuática sobre cuerpos de agua		22,60	18,76	16,42	18,45	15,97	16,31
<b>Total</b>		<b>119,33</b>	<b>119,43</b>	<b>119,0</b>	<b>118,27</b>	<b>119,51</b>	<b>82,81</b>

Nota: Las áreas de cada cobertura se obtuvieron en el programa ArcGIS mediante la opción "Calcular geometría". La unidad de medida fue ha, en tanto que la diferencia en el área total se debe a los píxeles de cada imagen satelital.

<sup>1</sup>La información de noviembre de 2022 corresponde a la imagen obtenida mediante el dron.

Fuente: Elaboración del autor.

sobre las aerofotografías, sobre todo por la facilidad de la digitalización, y a que al procesarlas permite obtener otras variables, como los índices de vegetación (NDVI) (Ancira-Sánchez & Treviño, 2015).



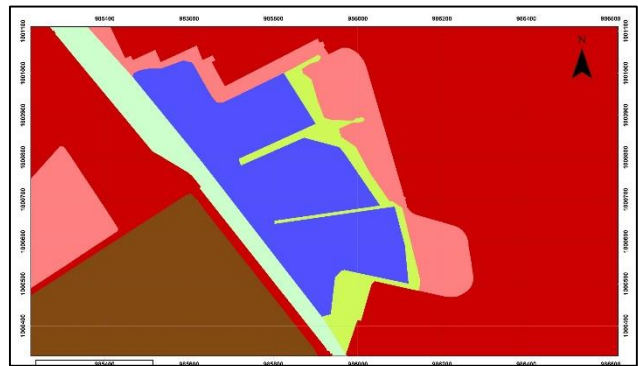
**Figura 1.** Cobertura del suelo del humedal Tibanica, 2009. Imagen satelital.

Fuente: Elaboración del autor.

Según el estudio de Nieto & Velandia (2020), en el cual se implementaron aerofotografías, para 2009 la vegetación sobre el cuerpo de agua tenía un área de 17,58 ha, en contraste con las 22,60 ha obtenidas en la elaboración de la cobertura mediante la imagen satelital; esto se debe a que en las aerofotografías del IGAC no es posible ver en detalle los tipos de cobertura por la ausencia de una banda para el infrarrojo (figura 10). Si bien en la fotografía aérea es posible observar detalles como el cuerpo de agua y el tejido urbano, los resultados también dependen del procesamiento de la imagen; además, como se mencionó anteriormente, en el presente estudio se siguieron los lineamientos del IGAC para la escala de detalle 1:25.000, la cual se publicó en 2021 y generó diferencias entre las coberturas seleccionadas.

Respecto a los resultados conseguidos mediante la metodología CLC, en la ortofotografía obtenida con el dron, el área de estudio se redujo en 36,70 ha por las limitaciones de señal del equipo. Cabe mencionar que el dron no capt infrarrojo, solo RGB; dada la altura de vuelo, el nivel de detalle del dron es mayor respecto a las imágenes satelitales, el pixel de la imagen del dron es de 0,30 m versus 30 m de la imagen satelital, lo que facilitó la observación de la cobertura vegetal del humedal, aunque esto dificultó la clasificación no

supervisada. El dron permitió observar en detalle el estado del espejo de agua del humedal y su vegetación. Además, es posible advertir que la diferencia entre la cobertura de vegetación sobre cuerpo de agua entre la ortofotografía del dron y la imagen satelital para 2022 solo varía en 0,34 ha, lo que no representa una variación significativa entre los resultados; este aumento se puede deber al fenómeno de la Niña, que se ha experimentado durante el último semestre del año (Rico Muñoz, 2022).



**Figura 2.** Cobertura del suelo del humedal Tibanica, mayo de 2022. Imagen satelital.

Fuente: Elaboración del autor.

Vale la pena señalar que, en el presente estudio, el ancho mínimo que debían cumplir las vías y canales era de 8 m para poder incluirlos en una categoría de cobertura independiente (IGAC, 2021), y por esto la quebrada Tibanica se incluyó dentro de pastos limpios en la mayoría de los casos, debido a la cobertura que la rodeaba. Sin embargo, este cuerpo de agua es la principal fuente hídrica a la cual drena el humedal cuando aumenta la precipitación y, por ende, el nivel del agua.

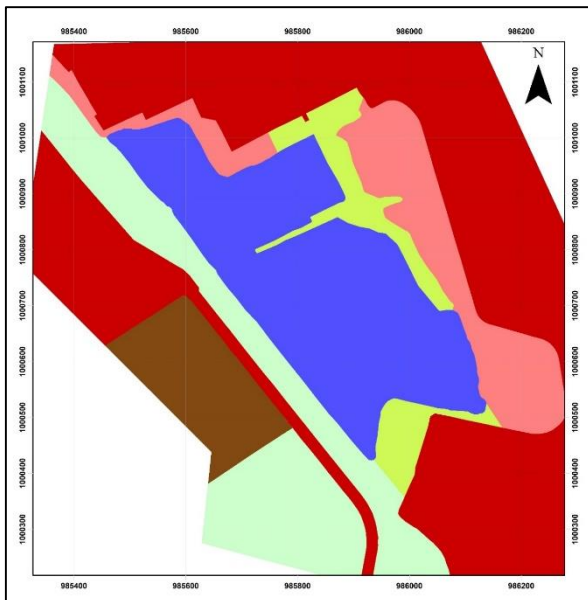
### Delimitación y área de protección del humedal Tibanica

De acuerdo con la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), el límite legal del humedal Tibanica tenía una extensión de 28,8 ha para 2021 (SDA, 2021); no obstante, para la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) el área era de 21,62 ha (EAAB, s.f.). Esta diferencia se puede deber al año de cada imagen satelital y a que la SDA tomó en cuenta las edificaciones aledañas al humedal como parte del límite, lo que denota



la necesidad de articular la información entre entidades con fines de protección y manejo. Para el desarrollo del presente proyecto se tomó como área la establecida por la SDA, pero es posible observar que el mapa no tiene en cuenta gran parte del humedal, y según las coberturas obtenidas en el presente estudio, está compuesto por vegetación sobre cuerpo de agua, por lo que debería incluirse dentro del límite legal.

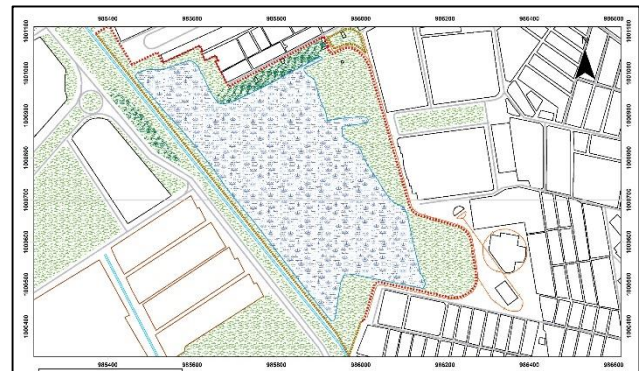
En la figura siguiente se presenta la actualización de la cartografía del humedal, obtenida de la imagen satelital de 2022 (figura 3). Al calcular el área total del humedal, incluyendo la sección suroriental, compuesta por vegetación sobre el cuerpo de agua, da 28,88 ha como resultado; aunque es la misma establecida por la SDA, es posible observar que la vía de la avenida Ciudad de Cali utilizó para su desarrollo parte del humedal, y tal como se ve en el *buffer* o corredor del área de influencia (figura 4), afecta no solo al humedal sino además se corre riesgo de inundación por su proximidad al humedal y el cambio en la dinámica de este, tal como se expresó anteriormente.



**Figura 3.** Cobertura del suelo del humedal Tibanica, noviembre de 2022. Imagen obtenida con el dron.  
Fuente: Elaboración del autor.

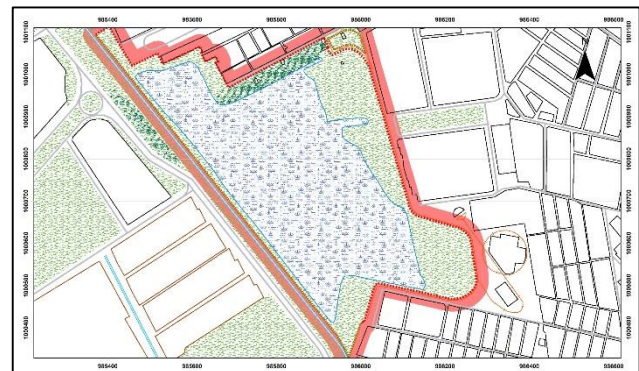
Respecto a la zona de manejo y preservación ambiental (ZMPA), si bien en el Decreto 2811 de 1974 se establece que deben dejarse 30 m desde la zona de ronda

hidráulica (figura 4), dado el deterioro del humedal y la dificultad para establecerla y calcularla, se tomó como referencia el límite del humedal; la ZMPA está destinada a brindar una franja de protección al ecosistema, donde se pueden desarrollar actividades de restauración ecológica, para ofrecer hábitats a la fauna, adecuaciones y equipamientos para la recreación pasiva, investigación y ciencia ciudadana (SDA, 2020).



**Figura 4.** Cartografía del humedal Tibanica, 2022.

Fuente: Elaboración del autor.



**Figura 5.** Zona de manejo y preservación ambiental (ZMPA) del humedal Tibanica.

Nota: En rojo se presenta la ZMPA del humedal Tibanica.

Fuente: Elaboración del autor.

### Propuesta de estrategia de integración espacial

Si bien en el Plan de Manejo Ambiental del Parque Ecológico Distrital Humedal Tibanica, presentado por la EAAB (s.f.), se pueden ver dos mapas (uno para la cobertura esperada del humedal y otro para ubicación de infraestructura física para adecuación del uso del espacio público en el humedal Tibanica), en este apartado

se muestra la propuesta de integración del ecosistema como un parque ecológico, tal como lo plantean la SDA y la EAAB; esto le permite funcionar como laguna de amortiguamiento para el control de crecientes de la quebrada Tibanica, hogar de paso de especies migratorias, y sobre todo como espacio de recreación para la comunidad aledaña (figura 5).

Con las especies propuestas se pretende recuperar la heterogeneidad de hábitats tanto del espejo de agua como de la zona de manejo ambiental; además, esto permitiría que el humedal, el cual está concebido como un parque ecológico por la SDA, se convierta en un banco (reserva) natural de especies en peligro de extinción. Teniendo en cuenta lo anterior, la función se describe a continuación:

- **Cerca viva.** Las especies arbóreas seleccionadas cumplirán la función de protección contra ruidos producidos por el paso de Transmilenio, así como también para prevenir posibles olores que se generen al inicio de la restauración del humedal. Sin embargo, debido al tamaño, el *Quercus humboldti* (roble andino) se debe ubicar hacia la quebrada

Tibanica, y el *Alnus acuminata* y el *Caesalpinia spinosa*, debido a su tamaño y crecimiento, se propone ubicarlos hacia la avenida Ciudad de Cali y la zona urbana para evitar daños a la infraestructura.

- **Vegetación herbácea nativa.** Debe predominar sobre los pastos, servir para recuperar las condiciones del suelo y contribuir al drenaje natural del humedal.
- **Vegetación sobre cuerpo de agua.** En su mayoría se proponen especies en peligro de extinción, que permitan recuperar las condiciones del espejo de agua, que no sean invasoras, que requieran un control permanente en su propagación y que sirvan como hábitat para la fauna nativa y la migratoria.

Siguiendo las recomendaciones de la SDA y el objetivo de restaurar el ecosistema, se propone la creación de senderos transitables para la comunidad y una zona de recreación, que permitan recorrer una parte del humedal y observar las especies de aves, sin degradar el ecosistema e intervenir en su dinámica natural. Para que esto sea posible, es necesario hacer partícipe a la comunidad mediante talleres y recorridos guiados.

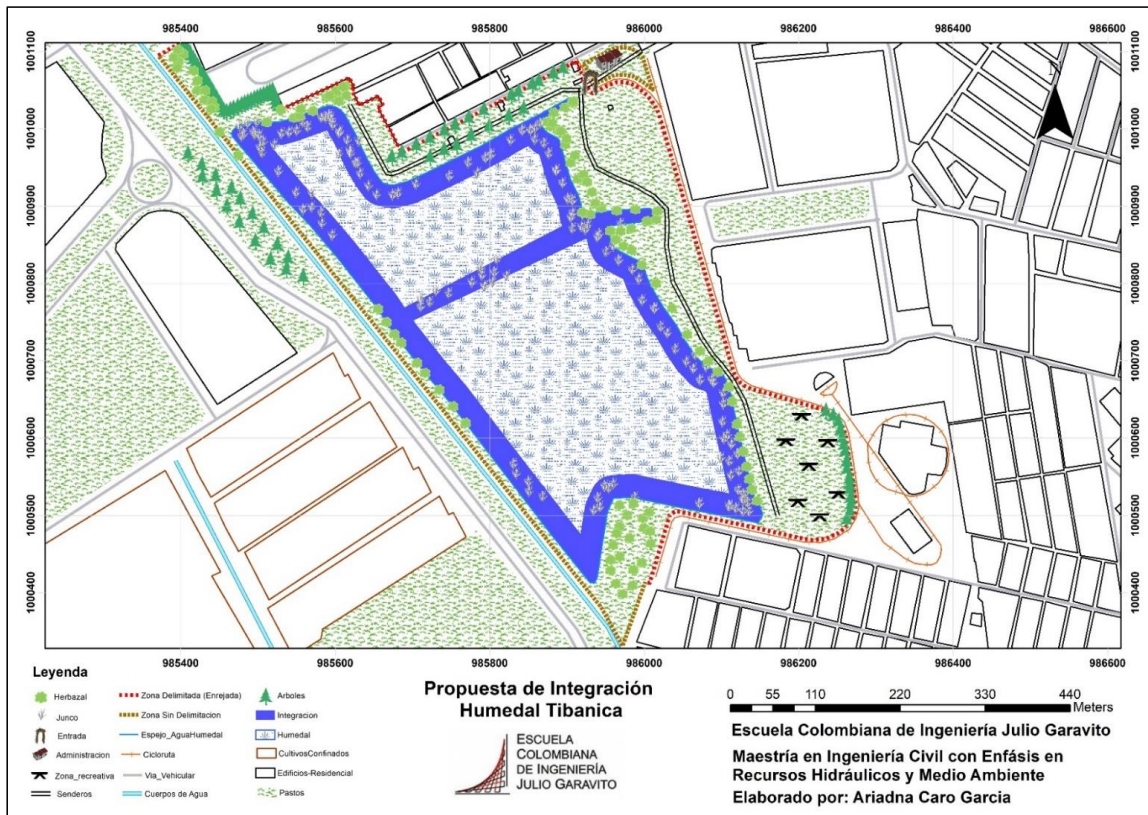


Figura 6. Propuesta de integración del humedal Tibanica.

Fuente: Elaboración del autor.



## CONCLUSIONES

Tras el análisis de los resultados obtenidos, es posible concluir que las imágenes satelitales permiten identificar el cuerpo de agua y la vegetación sobre estos humedales que están dentro del casco urbano, gracias a la combinación de bandas y, sobre todo, a contar con una banda que cubre el espectro infrarrojo. Adicionalmente, el análisis multitemporal de las imágenes facilita hacer la comparabilidad de la información, observar los cambios en el ecosistema y, finalmente, generar estrategias de conservación y manejo oportunas.

El uso de imágenes satelitales demostró ser más efectivo para la identificación de humedales urbanos, debido a la cobertura y facilidad de procesamiento; además, la disponibilidad de estas imágenes en línea facilita su descarga. Sin embargo, en ambos casos, tanto en las imágenes satelitales como en las aerofotografías, no es posible determinar las especies de fauna presentes en el ecosistema, a diferencia de las imágenes obtenidas con el dron, las cuales favorecen la caracterización de la zona de estudio.

Si bien las imágenes obtenidas con el dron presentan mayor detalle y permiten observar el estado del área de estudio, al igual que recolectar imágenes en cualquier momento, el área de estudio se ve limitada por el tiempo de duración de la batería y la señal del dron y el control de mando; además, requieren mayor procesamiento y no facilitan el procesamiento por clasificación no supervisada para la metodología CLC.

La clasificación no supervisada dificulta la generación de categorías para la clasificación CLC en la imagen obtenida mediante el dron, pero a causa del nivel de detalle de la imagen, representa un insumo apropiado para la identificación y delimitación de humedales urbanos.

Con la metodología CLC fue posible identificar que la degradación del humedal ha aumentado durante los últimos años. Esta metodología, aunque tiene sus limitaciones, dadas las condiciones de cartografía, permite ver en gran medida cómo el crecimiento poblacional y la escasa planeación han degradado el humedal año tras año, reduciendo el espejo de agua, que, como se pudo observar mediante las imágenes y la visita de campo, está cubierto en su mayoría por lenteja de agua, buchón de agua y junco.

La necesidad de terrenos para la construcción de vías y viviendas ha degradado el humedal y, por lo mismo, disminuido su área. La zona de manejo ambiental (*buffer*)

incluye una gran parte de las viviendas del sector norte y de la avenida Ciudad de Cali (en desarrollo), lo cual eleva el riesgo de inundación de esta zona, teniendo en cuenta el aumento de las lluvias en el último semestre; por lo tanto, se requiere implementar acciones que mitiguen o prevengan las posibles afectaciones a los predios aledaños (figura 15).

Aunque la SDA y la líder social y ambiental del humedal han tratado de implementar campañas y jornadas de socialización, como el programa “Parceros por Bogotá”, la apropiación sobre la importancia del humedal es casi nula, a causa de la baja continuidad de los proyectos y la creciente necesidad de tierras para construcción, debido al crecimiento poblacional y la tardía delimitación de este, pues los asentamientos en la zona vienen desde aproximadamente 1950.

Por último, es importante tener presente que en la actualización de la cartografía fue posible observar cómo la ampliación de la avenida Ciudad de Cali redujo aún más el área del humedal, sin tomar en cuenta la zona de ronda hidráulica del humedal ni la zona de manejo y preservación ambiental, que aseguran la continuidad y conservación de las dinámicas naturales del ecosistema y, por ende, sus servicios ecosistémicos. Esto se suma al desconocimiento de los habitantes de la zona, quienes al momento de consulta sobre la obra prefirieron la valorización por la vía antes que la conservación del humedal, como manifestaron la líder social y los administradores del humedal.

## RECOMENDACIONES

1. Para la realización del análisis multitemporal de la cobertura del humedal, se recomienda usar imágenes satelitales de periodos secos y húmedos de diferentes años, preferiblemente consecutivos.
2. Para la elaboración de la metodología CORINE Land Cover se aconseja crear una sola *layer* (capa) en formato Shape en ArcGIS, para evitar traslapes entre capas.
3. Es recomendable combinar el uso de imágenes satelitales e imágenes obtenidas en campo mediante el dron, debido a que permiten contrastar y detallar la información.
4. Se sugiere implementar otro tipo de clasificación para las imágenes del dron, por ejemplo, la clasificación supervisada, para la obtención de coberturas.



5. Se aconseja recortar las imágenes satelitales al tamaño de la imagen obtenida mediante el dron para mayor comparabilidad.
6. Se recomienda implementar dos puntos de muestreo, con el fin de cubrir una mayor área de estudio que sea similar a la obtenida en las imágenes satelitales, a causa de la poca autonomía y escasa cobertura del dron.
7. Se recomienda la utilización de imágenes satelitales dada la cobertura de la imagen, así como la facilidad para realizar la clasificación no supervisada para obtener la cobertura del suelo; sin embargo, de ser posible, se deberían emplear imágenes de alta resolución.
8. Se sugiere disminuir la cobertura de pastos y sembrar especies nativas, haciendo partícipes a los habitantes de las casas aledañas de estas jornadas.
9. Se aconseja utilizar el presente estudio para el desarrollo de normas que permitan la creación de políticas públicas referentes a la conservación e integración de los humedales, en especial el humedal Tibanica.

## REFERENCIAS

- EAAB (s.f.). Parque Ecológico Distrital Humedal Tibanica. Recuperado el 7 de diciembre de 2022, de [https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/gestores-ambientales/gestion-ambiental/Sistema\\_hidrico\\_del\\_Distrito\\_Capital/cuenca\\_tunjuelo/parque\\_ecologico\\_distrital\\_de\\_humedal\\_tibanica!/ut/p/z0/fY\\_4xC8lwFIT\\_SpfOeVoprIjCFaoFh5olPJNHf\\_TVN2jQRf77Rwd-Ht7vjuOCFFL](https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/gestores-ambientales/gestion-ambiental/Sistema_hidrico_del_Distrito_Capital/cuenca_tunjuelo/parque_ecologico_distrital_de_humedal_tibanica!/ut/p/z0/fY_4xC8lwFIT_SpfOeVoprIjCFaoFh5olPJNHf_TVN2jQRf77Rwd-Ht7vjuOCFFL).
- EAAB (s.f.). Plan de Manejo Ambiental del Parque Ecológico Distrital Humedal Tibanica. Plan de Acción. Decreto 2811 de 1974 (1974). <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1551>.
- IGAC (2021). Elaboración del mapa de cobertura de la tierra, escala 1:25.000.
- Jaramillo, Á., & Chaves, B. (2000). Distribución de la precipitación en Colombia analizada mediante conglomeración estadística. *Cenicafé*, 51(2), 102–113.
- Nieto, C. F., & Velandia, C. C. L. (2020). Coverage transformations analysis of Tibanica urban wetland, locality of Bosa, Bogotá D. C. *Territorios*, 43, 1–24. <https://doi.org/10.12804/REVISTAS.UROSARIO.EDU.CO/TERRITORIOS/A.7951>.
- Rico Muñoz, A. (2022). El Ideam estima que el fenómeno de la Niña seguirá activo en el segundo semestre. *La República*. <https://www.larepublica.co/economia/seguen-el-ideam-el-fenomeno-de-la-nina-podria-seguir-en-el-segundo-semestre-del-ano-3425752>.
- Secretaría Distrital de Ambiente (2021). Gestión ambiental y desarrollo rural. Modelo: Informe de gestión de parques ecológicos distritales de humedales.
- Secretaría Distrital de Ambiente (2020, agosto 15). Zona de manejo y preservación ambiental (ZMPA): área fundamental para el cuidado de cuerpos de agua. [https://ambientebogota.gov.co/search?p\\_p\\_id=101&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=maximized&\\_101\\_struts\\_action=%2Fasset\\_publisher%2Fview\\_content&\\_101\\_assetEntryId=1268630&\\_101\\_type=content&\\_101\\_urlzona-de-manejo-y-preservacion-ambiental-zmpa-area-fundamental-para-el-cuidado-de-cuerpos-de-agua](https://ambientebogota.gov.co/search?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_assetEntryId=1268630&_101_type=content&_101_urlzona-de-manejo-y-preservacion-ambiental-zmpa-area-fundamental-para-el-cuidado-de-cuerpos-de-agua).



# ¿Quiénes son los estudiantes de Economía en la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería?: una caracterización socioeconómica para el periodo 2015-2020

Who are the students of Economics at Escuela Colombiana de Ingeniería? A socio-economic characterization for the 2015-2020 period

MARÍA CONSTANZA TORRES TAMAYO<sup>1</sup> - ÁLVARO CHAVES CASTRO<sup>2</sup> -  
SEBASTIÁN ARÉVALO AVELLANEDA<sup>3</sup>

1. Profesora del programa de Economía de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
2. Profesor del programa de Economía de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
3. Profesor de cátedra de programa de Economía de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

maria.torrest@escuelaing.edu.co - alvaro.chaves@escuelaing.edu.co - sebastian.arevalo@escuelaing.edu.co

Recibido: 30/06/2022 Aceptado: 31/07/2022

Disponible en [http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones\\_revista](http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista)  
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

## Resumen

En el supuesto de que no existiera un mecanismo completo en el programa de Economía para caracterizar a los estudiantes a partir de un análisis holístico de los múltiples rasgos que los describen, se presenta un análisis comparativo del perfil del estudiante desde la perspectiva demográfica y socioeconómica, con el fin de hacer un análisis descriptivo comparativo durante los últimos cinco años.

El trabajo parte de reconocer que las dotaciones iniciales relacionadas con factores heredados sobre los cuales los individuos no tienen control y que pueden tener una gran influencia a lo largo de la vida, la cultura, el nivel de ingresos y los años de escolaridad de los padres, el género, la etnia, entre otros, son elementos que definen el desempeño de los estudiantes a lo largo de su proceso de formación. Mediante la aplicación de una encuesta a los estudiantes, en la que se capta información económica, social y demográfica, se hace un análisis de estadística descriptiva que permite tomar una foto socioeconómica de los estudiantes.

**Palabras claves:** caracterización, encuesta, estrato.

Clasificación JEL: I2, I24, I23.

## Abstract

Under the assumption that there is no complete mechanism in the Economics program to characterize students from a holistic analysis of the multiple traits that describe them, a comparative analysis of the student's profile is presented from a demographic and socioeconomic perspective to conduct a comparative descriptive analysis during the last five years. This article starts by recognizing that the initial endowments that have to do with inherited factors over which individuals have no control and that can have a great influence throughout life, culture, income level and years of schooling of parents, gender, ethnicity, among others, are elements that define the performance of students throughout their training process. Through the application of a survey to the students where economic, social, and demographic information is captured, a descriptive statistical analysis is conducted that allows painting a socioeconomic picture of the students.

**Keywords:** Characterization, Survey, Socioeconomic stratum.



## INTRODUCCIÓN

Conocer las condiciones sociales y económicas de los estudiantes de la institución, en especial del programa de Economía, permitiría una mejor focalización de la población de estudiantes que recibe apoyos económicos a través de becas. Al mismo tiempo, posibilita el diseño de estrategias encaminadas a atraer estudiantes con altas capacidades académicas pero que no cuentan con los recursos económicos suficientes para acometer un proyecto académico profesional que les permita vincularse rápidamente al mercado laboral.

En la actualidad, la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería no dispone de mecanismos que le permitan hacer un diagnóstico social y económico de sus estudiantes, distintos de captar unos pocos datos socioeconómicos de los aspirantes a partir del diligenciamiento de los formularios de inscripción a las ofertas académicas de la Escuela.

Por lo anterior, se hace indispensable contar con un cúmulo de información social y económica captada por medio de encuestas, con el fin de conocer mejor los futuros profesionales formados en la institución, así como diseñar nuevas y mejores estrategias de retención estudiantil y posibilidades de ingreso de nuevos alumnos que contribuyan no solo a la estabilidad financiera de la institución, sino al posicionamiento y visibilidad de la Escuela en el mercado educativo nacional e internacional.

Las personas con las que nos relacionamos habitualmente, e incluso algunas con las que interactuamos de manera esporádica, influyen en nuestras creencias, decisiones y comportamientos. Los ejemplos de los efectos de las redes sociales en la actividad económica son abundantes y están presentes en nuestra vida, incluyendo la transmisión de información sobre empleos, nuevos productos, tecnologías, opiniones políticas y en la oferta de instituciones de formación superior que les permite a las personas acumular capital humano a lo largo de su existencia.

De acuerdo con Jackson y Yariv (2011), la estructura de las redes influye en los patrones de decisión sobre la educación, la carrera, las aficiones, la actividad delictiva e incluso la participación en la microfinanciación<sup>1</sup>. Más

1. Entendida esta como la provisión de servicios financieros para personas en situación de pobreza, microempresas o clientes de bajos ingresos, que no tienen acceso a la financiación convencional debido a los altos costos de transacción asociados.

allá del papel de las redes “sociales” en la determinación de diversos comportamientos económicos, también hay muchas interacciones empresariales y políticas en red. Las redes de relaciones entre empresas y organizaciones políticas afectan a la investigación y el desarrollo, la actividad de patentes, las pautas comerciales y las alianzas políticas. Dada la gran cantidad de funciones de las redes en la actividad económica, los economistas han comenzado a estudiar cada vez más los efectos de las interacciones sociales sobre la economía.

En el caso específico de formación de los estudiantes de educación superior, resultan importantes no solamente la interacción que se tiene con los docentes y la socialización con sus homólogos, sino también las dotaciones iniciales relacionadas con factores heredados sobre los cuales los individuos no tienen control y que pueden tener una gran influencia a lo largo de la vida, la cultura, el nivel de ingresos y los años de escolaridad de los padres, el género, la etnia, entre otros, son algunas dotaciones iniciales que definen el desempeño de los estudiantes a lo largo de su proceso de formación.

Los estudios de caracterización permiten detectar algunas desigualdades entre los estudiantes más y menos favorecidos. Dichas brechas reflejarán, sobre todo, las características educativas del futuro profesional en economía, en comparación con diversos grupos de ingreso (Reimer, 2004).

La pobreza y la desigualdad también se manifiestan en la inequidad de oportunidades para acceder a la educación, ya que esta desigualdad en los procesos de formación en educación superior entre las cohortes de estudiantes de hoy y mañana se podría manifestar en diferencias en los ingresos recibidos por los profesionales en Economía, una vez que accedan al mercado laboral colombiano.

Sin embargo, los sistemas educativos, en general, se han sustentado en un principio de uniformidad, obviando las diferencias existentes entre los seres humanos. La diversidad cultural, unida a las variaciones de circunstancias de los individuos y de los grupos sociales, entorpece el camino ideal hacia el aprendizaje. Por esta razón, el ideal de los sistemas educativos sería poner mayor atención a la diversidad de culturas e ingresos y a la búsqueda de dar respuesta a ese reto, tratando de acceder al conocimiento de las variaciones de las circunstancias de los alumnos y de sus múltiples diferencias.

Este trabajo supone que no existe un mecanismo completo en el programa de Economía que permita caracterizar a los estudiantes a partir de un análisis holístico<sup>2</sup> de los múltiples rasgos que describen a los estudiantes de Economía en la Escuela. De acuerdo con lo anterior, se presenta un análisis comparativo del perfil del estudiante desde la perspectiva demográfica y socioeconómica, con el fin de hacer un análisis descriptivo comparativo durante los últimos cinco años.

El presente artículo se estructura en cinco secciones, de las cuales esta introducción es la primera. En la segunda sección se revisan algunos trabajos sobre caracterización socioeconómica, y se hace énfasis en la metodología usada para recopilar la información. En la tercera sección se presenta una corta evolución del programa de Economía, desde su nacimiento hasta nuestros días. En la cuarta parte se analizan los resultados estadísticos obtenidos a partir de un análisis de estadísticas descriptivas para las principales variables de interés, derivados de la aplicación de una encuesta a los estudiantes, con el fin objeto de captar información socioeconómica y demográfica. Finalmente, se presentan unos comentarios a manera de conclusión.

## REVISIÓN DE LA BIBLIOGRAFÍA

En esta sección se revisa la bibliografía especializada, en la que se destacan trabajos relacionados con la caracterización social de estudiantes de pregrado; además, se hace énfasis en la estrategia metodológica usada, que consiste en la aplicación de encuestas a grupos de estudiantes.

### Bibliografía a escala nacional

Zapata-González et al. (2015) hacen una caracterización socioeconómica de los estudiantes matriculados en primer semestre en la Universidad Libre, seccional de Cali para el segundo semestre de 2015. Ellos analizan las características sociales, económicas y educativas de los estudiantes que ingresan en el segundo periodo de 2015 a primer semestre de cualquiera de sus diez progra-

mas de educación superior ofrecidos. La metodología que utilizan es de naturaleza descriptiva, que consiste en la aplicación de una encuesta a los estudiantes por medio de la página web de la universidad, en la que las preguntas provienen de los datos solicitados por el Sistema Nacional de Información de Educación Superior (SNIES). El tamaño de la muestra de la encuesta fue de 630 matriculados en los diferentes programas académicos, y se tuvo una respuesta del 69 % (434 estudiantes). Las variables contempladas en el estudio se clasificaron en demográficas (lugar de nacimiento, género, estado civil, vivienda, nivel educativo alcanzado por los familiares, personas a cargo del estudiante y religión), socioeconómicas (estrato, financiación de estudios, situación laboral, seguridad social, transporte y dedicación en tiempo libre) y antecedentes académicos (tipo de colegio en el que se graduó, fecha de grado, puntaje en el Icfes, títulos obtenidos, entre otros).

El estudio concluye, entre otras cosas, que la ubicación de la vivienda de los estudiantes que residen en el municipio de Cali está distribuida así: en el sector sur, 36 %, en el que sobresalen dos comunas, en especial la 17 (13 %); viene después el sector nororiental (24 %), sectores oriente y noroccidente (9 %) en el distrito de Aguablanca (comunas 13, 14, 15 y 21). De los 434 encuestados, el 37 % tienen alguna remuneración; en general, 40 % son de estrato 3, seguido del estrato 2 con 24 %. En algunos programas, como Medicina, la mayor frecuencia se presenta en el estrato 4 (31 %), seguido del estrato 5 (28 %): Psicología es más frecuente en estrato 3 (38 %), seguido del 4 (33 %), y las ingenierías Industrial y de Sistemas tienen sus mayores frecuencias en estratos 3 y 4, en ese orden.

La Universidad de Pamplona (2012) hace un análisis encaminado a determinar las características del perfil socioeconómico de los estudiantes matriculados en el primer semestre de 2012, en los programas de pregrado (modalidad presencial) de la Universidad de Pamplona de las sedes Pamplona, Cúcuta y Villa del Rosario. Dicha caracterización aborda los aspectos demográficos, socioeconómicos, académicos y bienestar y comportamiento universitario. La metodología es de tipo descriptivo-interpretativo, que se orienta a caracterizar los diversos aspectos de la población, con base en información primaria, secundaria y cuantitativa.

Como conclusiones se destaca el hecho que los estudiantes encuestados de pregrado matriculados en

2. El holismo (del idioma griego ολος [hólos]: "todo", "por entero", "totalidad") es una posición metodológica y epistemológica que postula cómo los sistemas (ya sean físicos, biológicos, sociales, económicos, mentales, lingüísticos, etc.) y sus propiedades deben ser analizados en su conjunto y no solo a través de las partes que los componen. <https://es.wikipedia.org/wiki/Holismo>.

el primer semestre del 2012 de la Universidad de Pamplona son, en su mayoría, originarios del departamento de Norte de Santander. Igualmente, la mayoría de los estudiantes encuestados habitan en casas alquiladas, ubicadas en la zona urbana. Gran parte viven con sus padres o hermanos, y se observa una prevalencia de estudiantes entre los 21 y 25 años. De igual manera, la mayoría de la población encuestada está constituida por estudiantes del género masculino, católicos, sin hijos y de estado civil solteros.

### Bibliografía a escala internacional

En el trabajo de Boucourt y González (2006), realizado para Venezuela, se presenta un análisis comparativo del perfil del estudiante de nuevo ingreso desde la perspectiva demográfica y socioeconómica. Los autores usan una metodología descriptiva comparativa en un periodo de cuatro años, así como muestras representativas de la población de nuevo ingreso. El perfil demográfico se determina mediante indicadores básicos, tales como sexo y nacionalidad, y el nivel socioeconómico se realiza a través de la estratificación por clases (alta, media alta, media y media baja). Entre los resultados obtenidos se destacan los siguientes: el 96,6 % es venezolano, el 82,3 % ingresa entre los 15 y 18 años de edad—predomina el sexo femenino con un 64,7 %—, el 64,8 % es de clase media media y media alta, y un 25 % es de clase baja. De acuerdo con los autores, el conocimiento de esta realidad debe ser la base fundamental para el diseño de políticas universitarias.

En el trabajo de Albaek (2017), llevado a cabo en la Universidad de Copenhague (Dinamarca), si bien no se realiza un análisis de caracterización socioeconómica, es interesante desde el punto de vista de la admisión en programas de educación superior, ya que se examinan las decisiones que toman los estudiantes al momento de aplicar a programas de educación superior.

De acuerdo con el autor, las políticas de admisión en la educación superior constituyen un factor crucial para la asignación de estudiantes a diferentes programas e instituciones, para las tasas de graduación y para los incentivos en el sistema educativo secundario. El autor concluye que la admisión óptima dará lugar a un gran incremento en la tasa de graduación para un programa de educación más alto, lo que implica que la aplicación de una política de admisión óptima para la educación superior es un medio para aumentar el nivel de competencias de la fuerza de trabajo.

Owusu-Agyeman (2016) analiza el nexo entre características socioeconómicas y demográficas sobre las decisiones de inscribirse en programas de educación superior para Ghana, en el África, a partir de una encuesta realizada a estudiantes adultos en la educación superior. Metodológicamente, las preguntas para estudiantes adultos se agruparon en cinco ámbitos principales: composición demográfica en los recursos, motivación individual para perseguir la educación superior, factores de demanda sociopolíticos, mejoramiento del acceso y la organización y la colaboración HEI<sup>3</sup>, y financiación de la educación.

Algunas conclusiones sobresalientes del trabajo indican que los estudiantes entre 25 y 35 años constituían un mayor porcentaje de estudiantes adultos que estaban matriculados en las universidades entrevistadas, así como también que entre los factores que influyen en la participación de los estudiantes adultos están la demanda individual, objetivos de política institucional y estatal y factores de la demanda propios de la industria.

Como implicaciones de política derivadas del estudio, el autor sugiere que si bien los factores demográficos podrían contribuir a la participación de los estudiantes adultos en otros contextos nacionales, los factores demográficos tenían un papel muy mínimo que desempeñar en la decisión de los estudiantes adultos de matricularse en programas de educación superior.

La revisión anterior sobre la bibliografía internacional nos ofrece la posibilidad de destacar el vínculo y la relevancia entre factores socioeconómicos y el desempeño de los estudiantes en educación superior, y al mismo tiempo, nos permite concentrarnos en las variables que se podrían analizar a partir de la información recolectada mediante la aplicación de una encuesta a dichas variables, ejercicio que se realiza más adelante.

### EVOLUCIÓN DEL PROGRAMA DE ECONOMÍA

El programa de pregrado de Economía se creó atendiendo la Declaración de Principios de la Escuela, suscrita en 1972; es decir, la necesidad de una formación integral que abarcara tanto el aspecto científico-técnico como el humanístico-social para que los graduados del programa de Economía estuvieran en capacidad de plantear soluciones propias y pertinentes a los problemas de la realidad nacional.

3. *Higher education institutions.*



Este programa se caracteriza por su alta calidad, ratificada por el Ministerio de Educación Nacional en sus resoluciones 535 del 9 de febrero de 2007 y 006417 del 22 de abril del presente año.

De acuerdo con el Proyecto Educativo del Programa (PEP), el programa de Economía ha respondido a la necesidad de contribuir en el escenario nacional a llenar el vacío conceptual e interpretativo causado por la unidad de criterio con respecto al manejo de la política económica. Lo anterior ha implicado un trabajo continuo y progresivo en el currículo para integrar la enseñanza de la teoría con el estudio de los fundamentos matemáticos y estadísticos, al igual que con las herramientas correspondientes para el análisis de fenómenos socioeconómicos.

Como resultado del fortalecimiento del currículo, se observa un trabajo integrador, reflexivo y de contextualización de la teoría con una actualización permanente del contenido, cuya finalidad es preparar a los estudiantes con bases conceptuales e instrumentos de análisis que les permita pensar en forma pluralista para llegar a soluciones alternativas a las encrucijadas que plantea la economía colombiana.

El programa de Economía de la Escuela se caracteriza por incorporar una formación sólida en teoría, ligada al análisis histórico y a la fundamentación ética de las ideas económicas, lo cual lleva a sus estudiantes a ser analíticos y a cuestionar los conceptos e ideas aprendidos. Como resultado de esto, nuestros graduados son hábiles para usar el lenguaje matemático y económico en la proposición de políticas e instrumentos que beneficien los sectores donde se desempeñan profesionalmente.

El papel que pretende desempeñar el programa de Economía se hace con la consideración de que el estudiante adquiera no solo las herramientas conceptuales, metodológicas y valorativas<sup>4</sup> que le permitan encarar un amplio número de problemas, sino que también le generen *actitudes*, hábitos y, en general, valores tendientes a construirse en un agente crítico, propositivo, respetuoso del medio cultural y ambiental, y que sirva de agente del mejoramiento ciudadano y social.

El desempeño y la evolución del programa de Economía también se encuentran inmersos en los objetivos

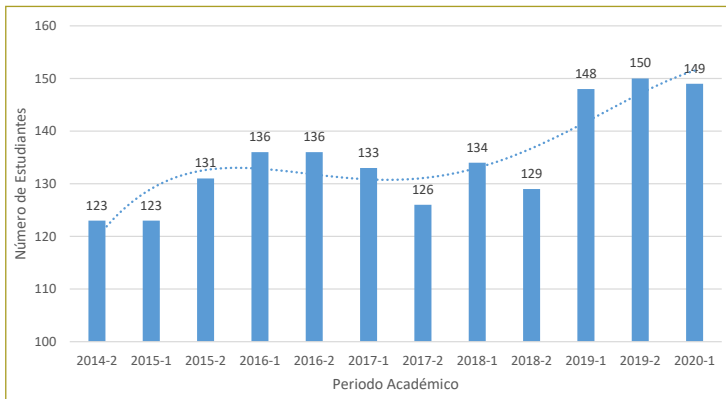
y en la institucionalidad de la Escuela. En este sentido, el papel de la universidad consiste en asegurarse de proveer los mejores recursos pedagógicos y didácticos: por un lado, contar con profesores que impacten significativamente las motivaciones y actitudes de los alumnos, con el fin de facilitarles el proceso de aprendizaje; y por otro lado, contar con las herramientas que faciliten la adquisición de conocimientos, tales como el acceso a programas, y todos aquellos materiales que inculcan una actitud positiva frente a los problemas matemáticos, informáticos y, en general, del uso de las tecnologías de la información.

En consonancia con lo anterior, el programa de Economía de la Escuela propende a que el estudiante tenga una formación adecuada, razonable, en Economía, para lo cual se les ofrece una fundamentación en aspectos cuantitativos (matemáticas, estadística y econometría), así como en la filosofía de la ciencia o teoría del conocimiento, lo cual le permite sopesar qué puede o no ser ciencia, como también qué le puede o cuánto le puede pedir a la ciencia. De esta manera, una vez adquiridas las herramientas básicas, las herramientas disciplinares y una idea razonable de lo que es la ciencia (de su carácter social, humano, imperfecto y mejorable) y lo que podemos alcanzar, el estudiante del programa de Economía bien puede seguir con su proceso formativo y penetrar en las áreas que continuarán estructurándolo como estudiante, profesional, ciudadano y persona.

### Indicadores sobre la evolución del programa

Desde su nacimiento, el programa de Economía ha presentado un constante crecimiento en el número de estudiantes matriculados, a pesar de estar sujeto al vaivén de las tendencias de la economía y de la competencia con otros programas y de otras instituciones. Más adelante se presenta la evolución de los estudiantes matriculados en el programa de Economía para el periodo 2014-2 a 2020-1, en donde se registró una tasa de crecimiento promedio anual de 1,6 % al pasar de 123 estudiantes en el segundo semestre de 2014 a 149 estudiantes en el primer semestre de 2020. Sin embargo, es notable el crecimiento experimentado en el número de estudiantes a partir del segundo semestre de 2018, al pasar de 128 a 149 estudiantes en el primer semestre de 2020, lo que implicó una tasa de crecimiento promedio anual de 3,7 % (gráfico 1).

4. Es decir, los aspectos epistemológicos de la economía permiten que el estudiante haga una valoración acerca de la naturaleza y los alcances del conocimiento en economía, y de la forma como se construye dicho conocimiento.



**Gráfico 1.** Estudiantes matriculados.

**Fuente:** Construcción propia a partir de información proporcionada por la Oficina de Admisiones, Registro y Relaciones Internacionales. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

Un rasgo característico de la Escuela es el reconocimiento del talento académico de estudiantes que no cuentan con recursos suficientes, pero demuestran excelencia en las pruebas Saber 11, como es el caso de la beca Julio Garavito Armero<sup>5</sup>. El programa de Economía ha sido beneficiario de esta beca, lo que le ha permitido atraer a los mejores bachilleres con altos puntajes en las pruebas Saber 11, así como también estabilizar el número de estudiantes inscritos en primer semestre y contribuir con una enseñanza que reconoce una labor social importante a las clases menos favorecidas.

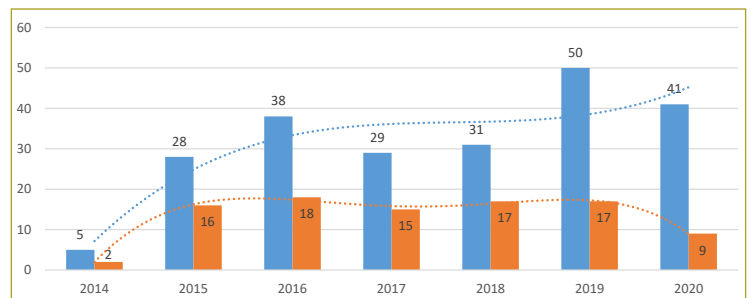
La Escuela creó la beca Julio Garavito Armero en el año 2001. Cada semestre se otorgan diez, las cuales son asignadas después de que el aspirante se inscribe y entrega la documentación exigida por parte de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería, como a cualquier otro aspirante a ingresar a estudiar en la institución.

Para poder aspirar a la beca, el solicitante debe haber obtenido, en las pruebas Saber 11, 65 puntos o más en Matemáticas, Ciencias Naturales y Lectura Crítica; además, deberá presentar dos entrevistas: una con un comité de decanatura, integrado por el decano del programa de Economía y dos profesores de planta, quienes mediante unos criterios de evaluación (actitud, rendimiento académico, necesidades económicas) otorgan un puntaje con el cual valoran a los aspirantes a estudiar Economía y obtener la beca; la segunda entrevista la hace el Departamento de Bienestar de la

5. La beca se creó en el año 2001 con el fin de beneficiar a quienes carecen de recursos económicos suficientes para cursar estudios superiores y reconocer a bachilleres con alto rendimiento académico.

Escuela, quienes además, gracias al trabajo de las psicólogas, identifican otras “cualidades” de los estudiantes; finalmente, con los resultados presentados en las etapas anteriores, la Vicerrectoría Financiera adjudica las becas teniendo en cuenta las evaluaciones.

Así mismo, se presenta la evolución del número de estudiantes nuevos becados y no becados en primer semestre para el periodo 2014-2 a 2020-1. El número de estudiantes nuevos becados se ha mantenido en un promedio de 31,7 a lo largo de este periodo y ha mostrado una tasa de crecimiento promedio anual de 24 %. Cabe destacar que la participación de los estudiantes nuevos becados y el total de estudiantes nuevos (becados y no becados) ha sido en promedio del 30 %, un resultado importante para mantener el número de estudiantes nuevos de bajos recursos (gráfico 2).



**Gráfico 2.** Número anual de estudiantes nuevos becados y no becados del programa de Economía.

**Fuente:** Construcción propia a partir de información proporcionada por la Oficina de Admisiones, Registro y Relaciones Internacionales. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

La evolución positiva del programa de Economía también se ha visto reflejada en la existencia de una baja deserción o de estudiantes que abandonan el programa. En efecto, en el gráfico siguiente se presenta la evolución del número de estudiantes matriculados en el programa de Economía y los estudiantes que abandonan el programa<sup>6</sup>. La proporción de estudiantes que abandonan los estudios de Economía con respecto al total de matriculados es muy baja y en promedio ha sido del orden de 5,8 % entre 2014 y el primer semestre de 2020.

La deserción de estudiantes en el programa de Economía se debe principalmente a causas no académicas, relacionadas sobre todo con el factor económico, las cuales en promedio alcanzaron una participación del

6. Es importante destacar que el indicador de deserción es un estimativo alterno realizado por la Escuela a partir de la información registrada en la institución.

65 % con respecto al total de estudiantes que abandonan los estudios, mientras que las causas académicas representaron en promedio solo el 35 % durante el periodo comprendido entre 2014 y el primer semestre de 2020. En el programa de Economía se han diseñado estrategias encaminadas a hacerles un seguimiento a los estudiantes de los primeros semestres, a través de tutorías que realizan los profesores del programa. Esto permite conocer la motivación del estudiante, así como las dificultades que se presentan en los procesos de aprendizaje, con el fin de buscar estrategias que redunden en la retención estudiantil en el programa de Economía.

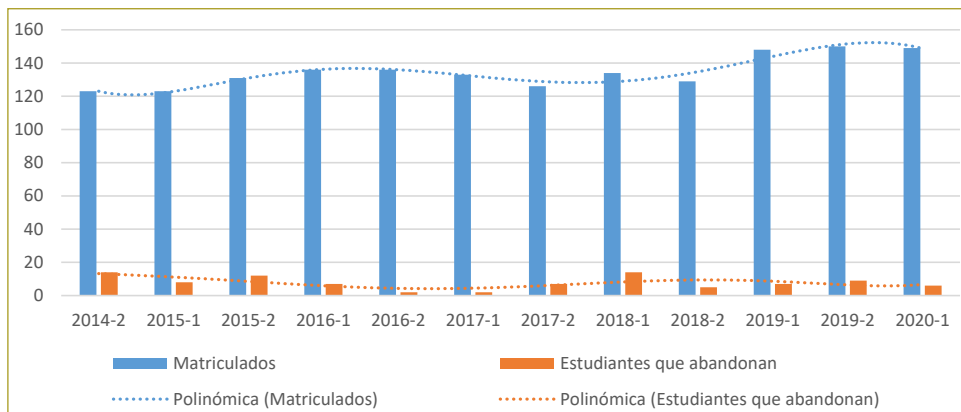
El número de estudiantes que cursan doble programa (donde se incluye a estudiantes matriculados en Economía) ha crecido de manera sostenida durante el segundo semestre de 2014 y el primer semestre de 2020.

Más adelante se presenta el acumulado del número de estudiantes que cursan doble programa, más los que tienen intención de hacer doble programa, entre los cuales se incluye la carrera de Economía. Lo anterior es

el reflejo de un mayor reconocimiento del programa de Economía dentro de la Escuela, como parte del diseño de estrategias pedagógicas que buscan informar sobre qué es la economía y cuál es la importancia que tiene en el diario vivir, al tiempo que resalta la relevancia de esta en áreas de conocimiento tradicionales como las ingenierías, matemáticas y administración de empresas (gráfico 4).

### RESULTADOS DE LA ENCUESTA SOCIOECONÓMICA

El método utilizado para captar la información de características sociales, económicas y demográficas en el presente estudio consistió en un cuestionario diseñado en una hoja de cálculo de Excel, el cual se aplicó a diferentes cohortes de estudiantes del programa de Economía, en un rango de edad comprendido entre los 16 y 26. Posteriormente, se listan las variables que se indagaron en los aspectos económicos, demográficos, sociales y educativos (tabla 5).

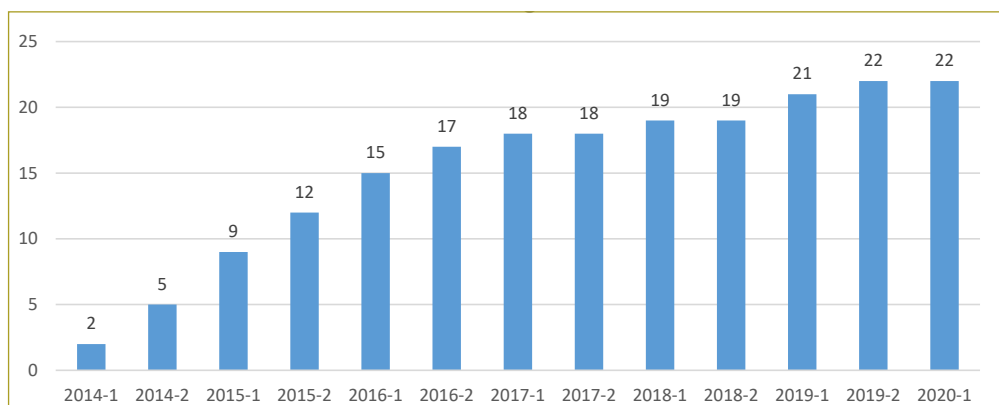


**Gráfico 3.** Número de estudiantes de Economía que abandonan el programa.

Fuente: Construcción propia a partir de información proporcionada por la Oficina de Admisiones, Registro y Relaciones Internacionales. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

**Gráfico 4.** Acumulado de estudiantes de doble programa e intención de doble programa de Economía.

Fuente: Construcción propia a partir de información proporcionada por la Oficina de Admisiones, Registro y Relaciones Internacionales. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.





**Tabla 5**  
Variables de la encuesta

Aspecto	Variable	Tipo
Demográfico	Edad del estudiante. Fecha de nacimiento Estado civil Género	Numérica Numérica Cualitativa Cualitativa
Social	Estrato	Cualitativa
Educativo	Tipo de colegio (público o privado) Nivel educativo de los padres. Beca Fecha de ingreso a estudios	Cualitativa Cualitativa Cualitativa Numérica
Económico	Vivienda propia o en arriendo Número de personas a cargo en hogar por parte de los padres Valor mensual de manutención del estudiante	Cualitativa Numérica Numérica
Geográfico o espacial	Lugar de vivienda	Cualitativa

Fuente: Elaboración propia.

La encuesta la respondieron cerca de 113 estudiantes, y para conocer el tamaño de la muestra se calculó la siguiente fórmula estadística:

$$n = \frac{\sigma^2 * N * p * q}{\{[e^2 * (N - 1)] + (\sigma^2 * p * q)\}}$$

Donde:

n: Tamaño de la muestra (88).

$\sigma$ : Valor de sigma asignado para un nivel de confianza del 95 % para la población ( $\sigma = 1,96$ ).

N: Tamaño de la población (113).

p: Probabilidad de que un estudiante sea seleccionado (0,5).

q: Probabilidad de que un estudiante no sea seleccionado,  $q = 1 - p$ .

$e^2$ : Error asociado a la muestra (5 %).

A continuación se presenta la ficha técnica de la encuesta aplicada a los estudiantes del programa de Economía de la Escuela (tabla 6).

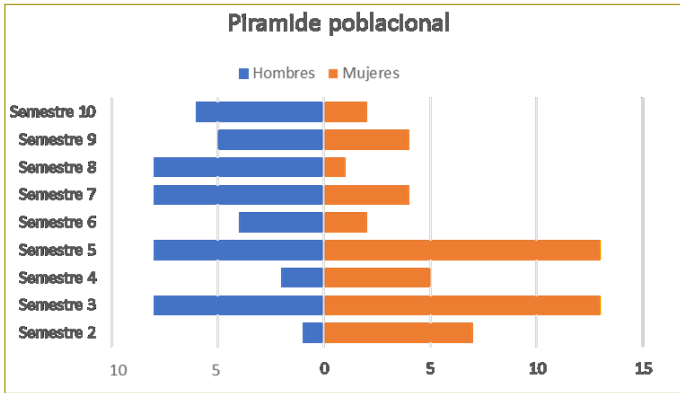
### Resultados generales

En el gráfico de pirámide poblacional se revela que existe una mayor población de mujeres con respecto a los hombres, y se evidencia que en los primeros semestres la participación femenina es mucho mayor (gráfico 9).

**Tabla 6**  
Ficha técnica de la encuesta

<p>Estudio "Caracterización socioeconómica de estudiantes de Economía"</p> <p><b>Objetivo:</b> Captar información para realizar una caracterización socioeconómica de los estudiantes de Economía.</p> <p><b>Ámbito:</b> Programa de Economía en la Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá.</p> <p><b>Universo:</b> Población de estudiantes de Economía de semestres de segundo a noveno o más semestres.</p> <p><b>Tamaño de la muestra:</b> 88 estudiantes.</p> <p><b>Procedimiento de muestreo:</b> Encuesta diseñada a través de un formulario electrónico de Excel que se aplicó a los estudiantes vía correo electrónico.</p> <p><b>Error muestral:</b> Valor de sigma asignado para un nivel de confianza del 95 % para la población ().</p> <p>Error asociado a la muestra: 5 %.</p> <p><math>p = q = 0,5</math></p> <p><b>Fecha de realización:</b> 17 de febrero al 17 de marzo del 2021.</p>
--

Fuente: Elaboración propia a partir de diseño de encuesta.

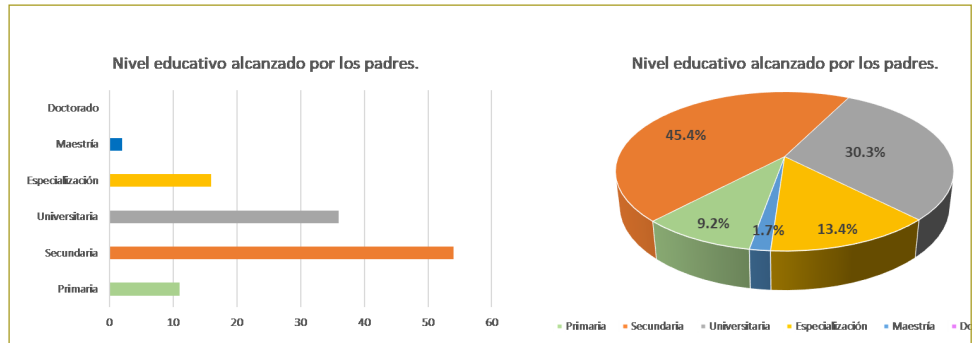


**Gráfico 9. Género y semestre.**

Fuente: Elaboración propia con datos de resultados de encuesta.  
 (\*): El programa tiene una duración de nueve semestres. El décimo semestre corresponde a los estudiantes que han sobrepasado este límite por causas académicas y no académicas.

**Gráfico 10. Educación de los padres**

Fuente: Elaboración propia con base en datos de resultados de encuesta.

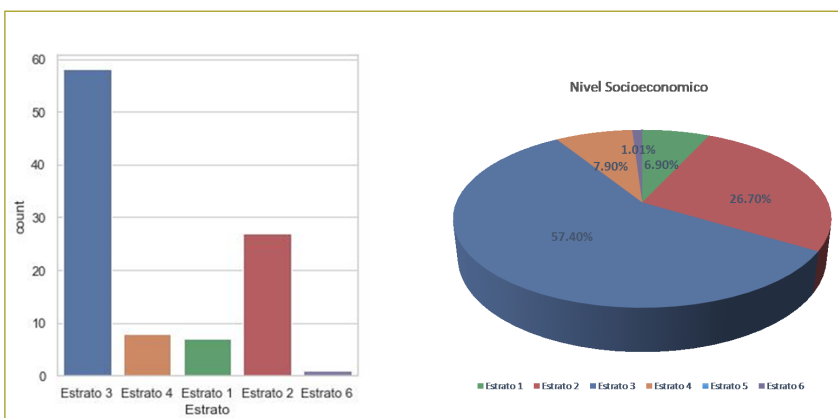


Esto podría sugerir que en la actualidad hay un mayor acceso de las mujeres a la educación superior, ya que el mundo laboral exige personas más calificadas.

Igualmente, se muestra el nivel educativo logrado por los padres de los encuestados en cantidad y participación; nótese que el nivel educativo promedio alcanzado por los padres de la población estudiantil del programa de Economía es nivel básica secundaria, con una participación del 45 %, seguido del nivel de educación de pregrado con un 30 %, especialización con 13 % y nivel de maestría con 2 %. Vale la pena mencionar que un 9 % de los padres solo cuentan con educación primaria y

ninguno con nivel de doctorado. De ahí la importancia de que las personas tengan acceso a la educación, bien sea por las becas otorgadas por la institución o por la matrícula diferencial, que permiten un mayor acceso a una educación de alta calidad en educación superior (ráfico 10).

En relación con el estrato socioeconómico de los estudiantes del programa de Economía, se muestra que una mayor proporción de la población de estudiantes de Economía son de estrato 3 (57,4 %), seguido del estrato 2 (26,7 %) y del estrato 4 (8 %). Esto revela que cerca del 91 % de la población se concentra en estos tres es-

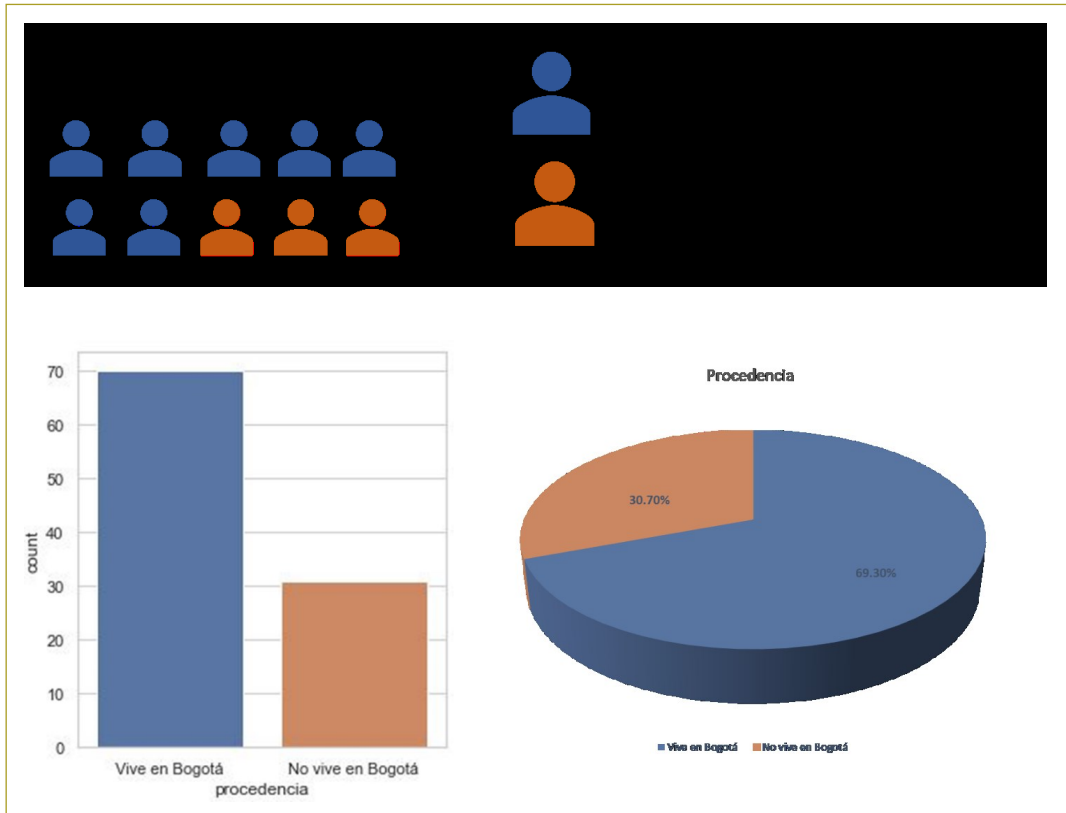


**Gráfico 11. Estrato socioeconómico de los estudiantes**

Fuente: Elaboración propia con datos de resultados de encuesta.

**Gráfico 12.**  
Procedencia

Fuente: Elaboración propia con datos de resultados de encuesta.



tratos, lo que podría sugerir que la población objetivo para la asignación futura de becas se encuentra en este segmento (gráfico 11).

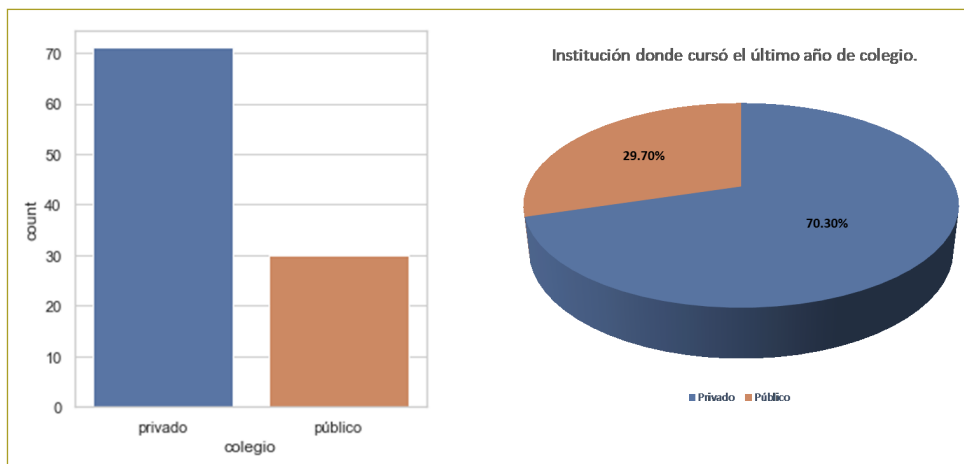
Adicionalmente, se presenta el origen de los estudiantes del programa de Economía, y tal como lo evidencia la infografía, el 70 % de los estudiantes viven en Bogotá y el 30 % provienen de lugares cercanos (gráfico 12).

De acuerdo con los resultados de la encuesta, los estudiantes que ingresaron al programa cursaron su último año de secundaria en una institución educa-

tiva de carácter privado (70 %), lo cual evidencia el esfuerzo que hace la decanatura de Economía por llegar a estas instituciones con el fin de promocionar el programa.

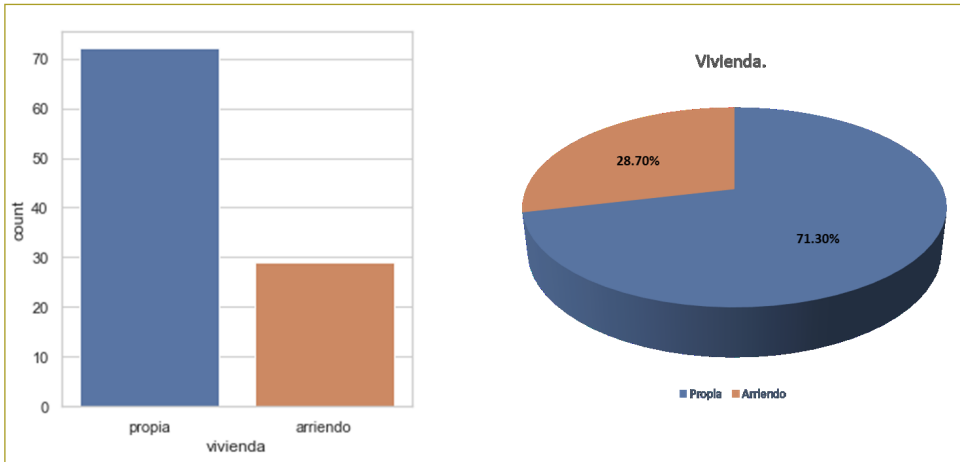
En la encuesta también se revela que los estudiantes del programa de Economía, en su mayoría (70 %), cuentan con vivienda propia y el resto viven en arriendo (30 %) (gráfico 14).

Con respecto a la edad de los estudiantes de Economía, los resultados de la encuesta revelan que la edad



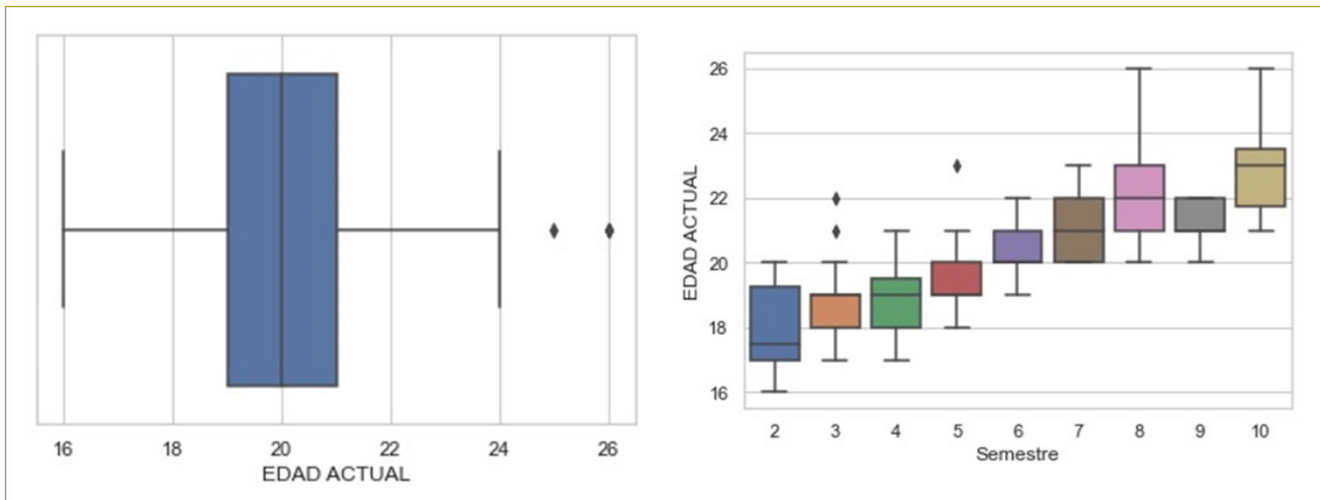
**Gráfico 13.** Institución donde cursó el último año de colegio.

Fuente: Elaboración propia con datos de resultados de encuesta.



**Gráfico 14. Vivienda.**

Fuente: Elaboración propia con datos de resultados de encuesta.



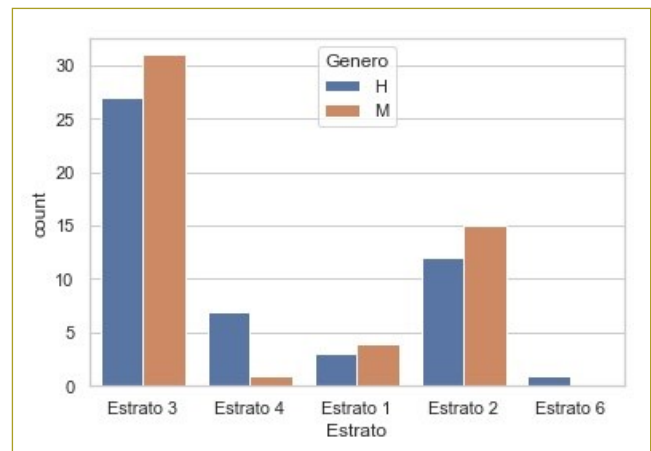
**Gráfico 15. Edad.**

Fuente: Elaboración propia con datos de resultados de encuesta.

promedio de los encuestados (segundo semestre hasta noveno semestre o más) es de 20 años.

Al comparar las características de género y estrato en la población estudiantil del programa de Economía de la Escuela, se evidencia una mayor participación en los estratos 1, 2 y 3 de las mujeres frente a los estratos 4 y 6, de donde proceden los hombres (gráfico 16).

Así mismo, se compara el estrato del estudiante y la participación en el programa de becas otorgadas por la institución. Se evidencia que la mayoría de los estudiantes favorecidos con la beca provienen de los estratos 3 y 2, resultado que sugiere que el programa actual de becas se está asignando a las personas de los estratos que más lo requieren (gráfico 17). Más adelante se compila la información mencionada anteriormente (gráfico 18).



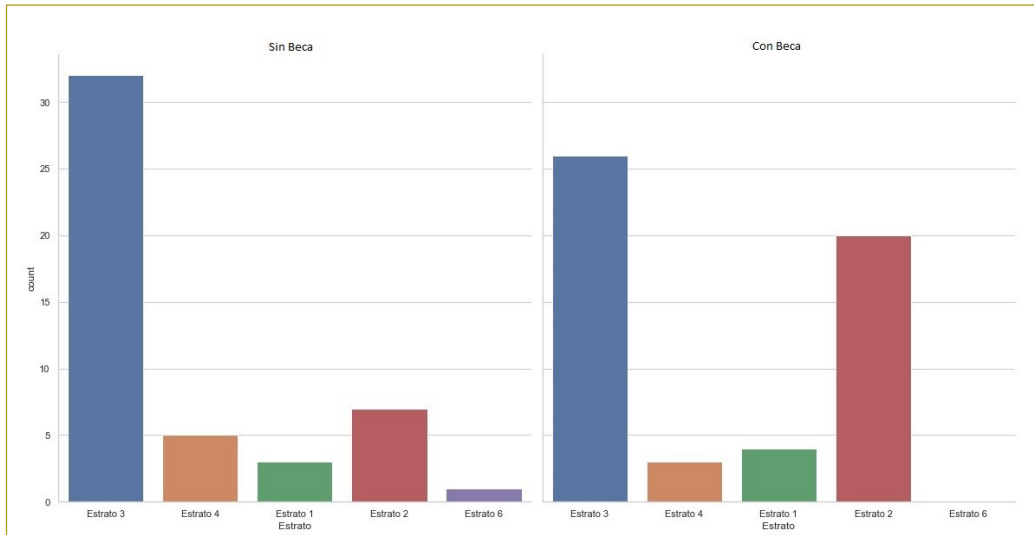
**Gráfico 16. Estrato y género.**

Fuente: Elaboración propia, con datos de resultados de encuesta.



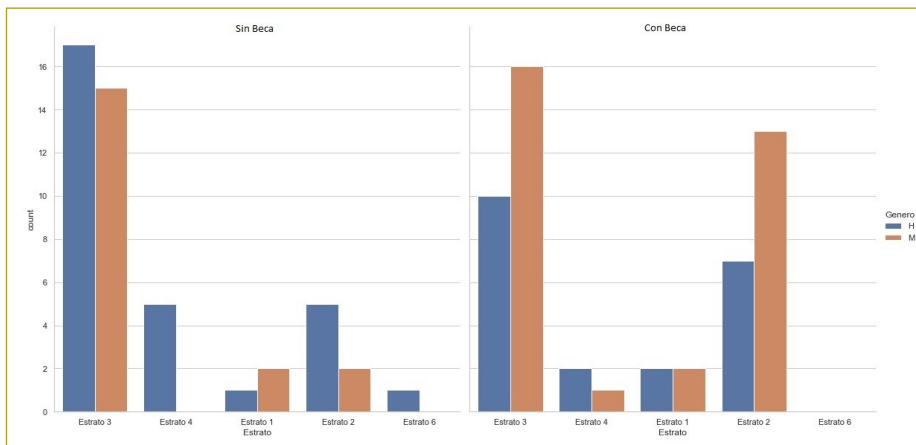
**Gráfico 17. Beca y estrato.**

Fuente: Elaboración propia con datos de resultados de encuesta.



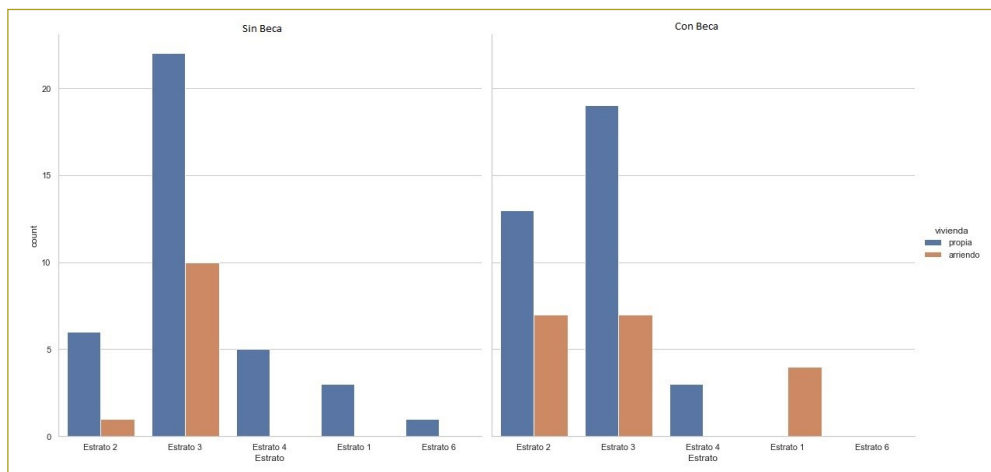
En la muestra se evidencia también que las personas becadas provienen de los estratos 3 y 2, y en su mayoría tienen vivienda propia (gráfico 19). Además, se revela que la mayoría de los estudiantes becados provienen de colegios privados, lo que podría sugerir un mayor

rendimiento académico comparativamente con los colegios públicos, toda vez que para la asignación de becas se utiliza el criterio de los resultados de las pruebas Saber 11. Este resultado sugiere que las estrategias de promoción por parte de la decanatura del programa,



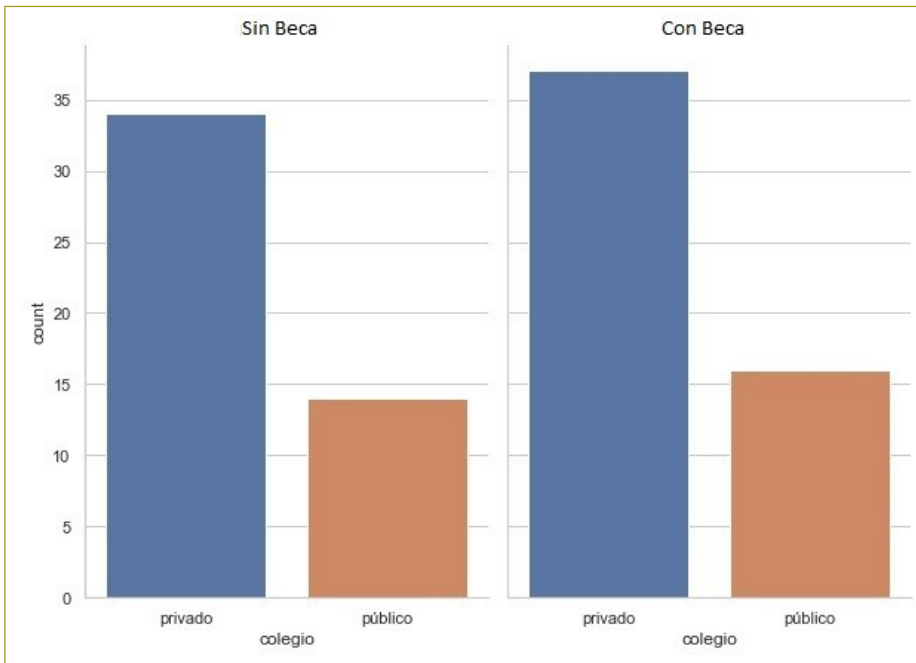
**Gráfico 18. Beca, estrato y género.**

Fuente: Elaboración propia con datos de resultados de encuesta.



**Gráfico 19. Beca, estrato y vivienda.**

Fuente: Elaboración propia con datos de resultados de encuesta.

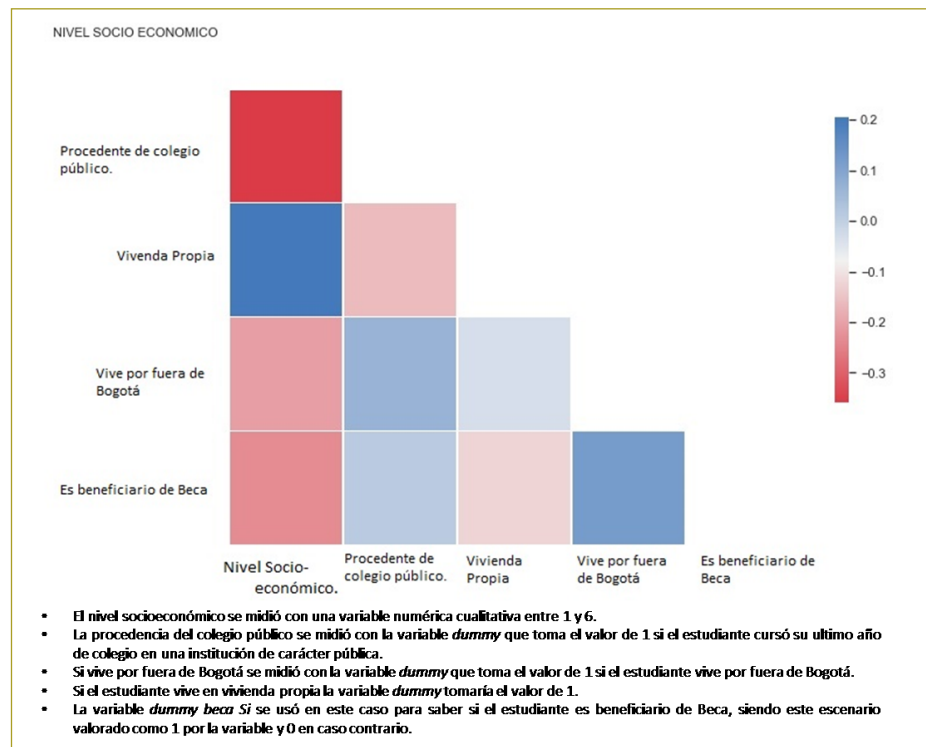


**Gráfico 20.** Institución donde cursó el último año de colegio y beca.

Fuente: Elaboración propia con datos de resultados de encuesta.

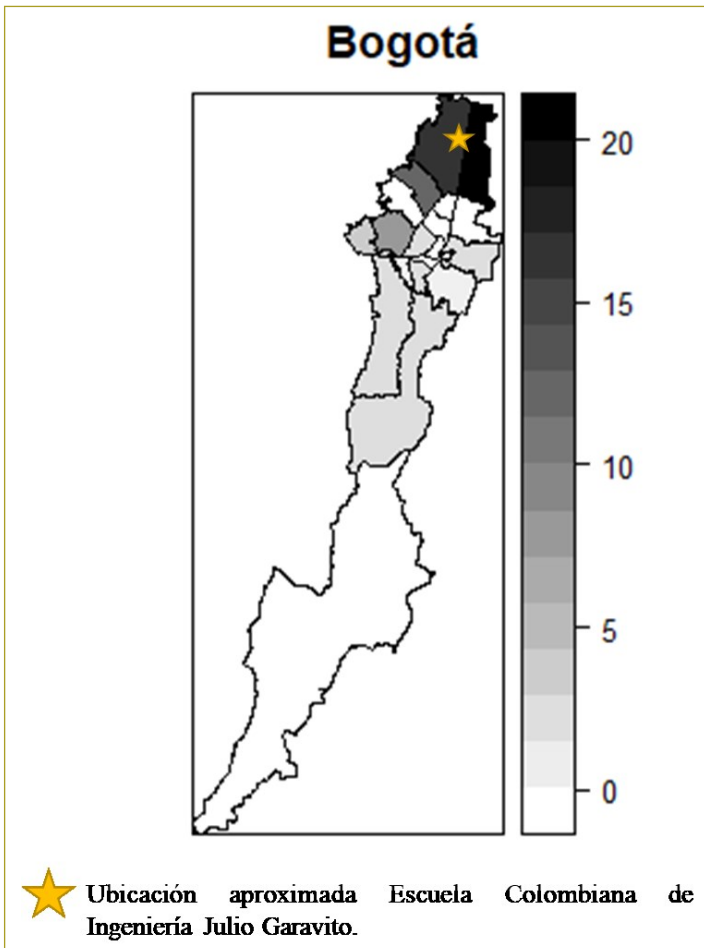
tales como visitas a colegios en cursos de educación continuada, desayunos con rectores y orientadores, al igual que hacer visible la Escuela a colegios cercanos a la institución, hacen que se logre una mayor participación de graduados de colegios privados (gráfico 20).

En el gráfico siguiente (gráfico 21) se presenta una matriz de correlaciones entre las características socioeconómicas y demográficas de los estudiantes de Economía que se preguntaron en la encuesta. En la matriz, las tonalidades indican los signos y la magnitud de las



**Gráfico 21.** Mapa de correlaciones.

Fuente: Elaboración propia con datos de resultados de encuesta.



**Gráfico 25.** Distribución geográfica de los estudiantes que viven en Bogotá por localidad.

Fuente: Elaboración propia con datos de resultados de encuesta.

correlaciones, de manera que las correlaciones de color rojo indican correlaciones negativas y las de color azul señalan correlaciones positivas. La matriz de correlaciones sintetiza los patrones analizados anteriormente; por ejemplo, que existe una mayor correlación positiva entre vivir fuera de Bogotá y tener beca, al mismo tiempo que hay una correlación positiva entre colegio privado y vivienda propia, y ser beneficiario de becas.

## COMENTARIOS FINALES

El objetivo del presente trabajo fue hacer una caracterización socioeconómica y demográfica de los estudiantes del programa de Economía en diferentes cohortes de los últimos cuatro años, con el fin de realizar un diagnóstico

de la población estudiantil en el programa de Economía. Se reconocen diferencias entre la población estudiantil de la Escuela, las cuales podrían reflejar diferencias en igualdad de oportunidades. De esta manera, se presentó un análisis comparativo del perfil del estudiante desde la perspectiva demográfica y socioeconómica, con el propósito de hacer un análisis descriptivo comparativo durante los últimos cinco años.

Desde su nacimiento, el programa de Economía ha tenido un constante crecimiento en el número de estudiantes matriculados, a pesar de estar sujeto al vaivén de las tendencias de la economía y de la competencia con otros programas de la Escuela y de otras instituciones, donde es notable el crecimiento experimentado en el número de estudiantes a partir del segundo semestre de 2018, al pasar de 128 a 149 estudiantes en el primer semestre de 2020, lo que implicó una tasa de crecimiento promedio anual de 3,7 %.

La evolución positiva del programa de Economía también se ha visto reflejada en la existencia de una baja deserción, la cual fue de 5,8 % entre 2014 y primer semestre de 2020. La deserción de estudiantes en este programa de Economía se debe principalmente a causas no académicas relacionadas con el factor económico.

El número de estudiantes que hacen doble programa y los que tienen intención de cursarlo, entre los cuales se incluye la carrera de Economía, es el reflejo de un mayor reconocimiento del programa de Economía dentro de la Escuela como parte del diseño de estrategias pedagógicas que buscan informar sobre qué es la economía y cuál es la importancia que tiene en el diario vivir, al tiempo que resalta la relevancia de esta en áreas de conocimiento tradicionales, como las ingenierías, matemáticas y administración de empresas.

Los resultados del ejercicio de caracterización socioeconómica realizados en este trabajo revelan que existe una mayor población de mujeres con respecto a los hombres, y evidencian que en los primeros semestres la participación femenina es mucho mayor, lo cual podría sugerir que en la actualidad hay un mayor acceso de las mujeres a la educación superior, ya que el mundo laboral exige personas más calificadas.

Con respecto a los años de escolaridad de los padres de los estudiantes del programa de Economía, se encuentra que la mayoría de los padres tienen un nivel educativo de básica secundaria, con una participación del 45 %; le sigue el nivel de educación de pregrado con

un 30 %, después especialización con 13 % y, por último, nivel de maestría con 2 %. Cabe anotar que el mejor nivel de escolaridad alcanzado por la actual generación de estudiantes del programa les permitirá a estas familias mejorar el nivel de vida a mediano y largo plazo.

La población del programa no es desigual, ya que se concentra en los mismos estratos socioeconómicos 2, 3 y 4; la mayoría proviene del mismo tipo de colegios y la formación de los padres es similar, de acuerdo con los aspectos estudiados.

De igual manera, se evidencia que la mayoría de los estudiantes favorecidos con la beca Julio Garavito provienen de los estratos 3 y 2, y se sugiere que el programa actual de becas se está asignando a las personas de los estratos que más lo requieren. Cabe anotar que el mejor nivel de escolaridad alcanzado por las nuevas generaciones también podría tener un impacto positivo sobre el estrato social.

La mayoría de los estudiantes becados provienen de colegios privados, lo que podría sugerir un mayor rendimiento académico en comparación con los colegios públicos, toda vez que para la asignación de becas se utiliza el criterio de los resultados de las pruebas Saber 11. Existen importantes patrones socioeconómicos derivados del cálculo de diferentes correlaciones, puesto que hay un grado de asociación estadística positiva y alta entre vivir fuera de Bogotá y tener beca, al mismo tiempo que existe una correlación positiva entre colegio privado y vivienda propia, y ser beneficiario de becas.

Las implicaciones en materia de estrategias futuras de promoción del programa de Economía, derivadas

de este estudio de caracterización socioeconómica, sugieren que la población objetivo para el otorgamiento de becas son los estratos 1, 2 y 3, ya que los criterios de asignación de becas al tener en cuenta el desempeño académico en el colegio de los futuros aspirantes han sido eficientes. En igual forma, los resultados sugieren la existencia de un programa que se caracteriza más por la calidad que por la cantidad, y que se debería sostener esta estrategia ofreciendo un programa de bajo costo y teniendo los mejores estudiantes auspiciados por la beca Julio Garavito.

## REFERENCIAS

- Albæk, K. (2017). Optimal admission to higher education. *Education Economics, Taylor & Francis Journals*, 25(1), 60-83.
- Boucourt, J. y González, M. (2006). Perfil socioeconómico y demográfico del estudiante de nuevo ingreso a la Universidad del Zulia. Análisis comparativo cohortes 98-99, 99-2000, 2000-2001, 2001-2002.
- Jackson, M. y Yariv, L. (2011). Diffusion, Strategic Interaction, and Social Structure. Elsevier Public Health Emergency Collection. *Handbook of Social Economics*.
- Owusu-Agyeman, Y. (2016). Investigating the determinants of adults' participation in higher education. *Cogent Education*.
- Reimer, B. (2004). Social Exclusion in a Comparative Context. *Sociologia Ruralis. Journal of the European Society for Rural Sociology*. 44(1).
- Universidad de Pamplona (2015). Características del perfil socioeconómico del estudiante de pregrado de la Universidad de Pamplona. Oficina de Planeación.
- Zapata-González, H., Erazo, H. y Ortiz, M. (2015). Caracterización socioeconómica de los estudiantes matriculados en primer semestre en la Universidad Libre, seccional Cali, periodo 2015-2. *Revista Libre Empresa*, 13(1).





# Ciclo de vida de las cuchillas de afeitar

## Life cycle of razor blades

**DIEGO ALBERTO BELLO VILLAMIL<sup>1</sup> - YULY ANDREA SÁNCHEZ LONDOÑO<sup>2</sup>**

1. Estudiante de Ingeniería Ambiental de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
2. Profesora de cátedra del Centro de Estudios Ambientales de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

diego.bello@mail.escuelaing.edu.co - yuly.sanchez@escuelaing.edu.co

Recibido: 10/07/2022 Aceptado: 10/08/2022

Disponible en [http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones\\_revista](http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista)  
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

### Resumen

El objetivo de este artículo es estudiar el ciclo de vida de las cuchillas de afeitar. La idea inicial de su inventor, King Camp Gillette, fue crear una cuchilla de afeitar que fuera fácil de portar y que se pudiera utilizar desde la comodidad de la casa. Con las adecuaciones hechas a lo largo de los años se fue dejando a un lado el acero de las cuchillas, para así generar unos cuerpos más armónicos y de fácil agarre utilizando plásticos y teflones. Sin embargo, con dichas actualizaciones se le sumó un problema más a la contaminación ambiental que tenemos actualmente, debido a que los desechos de las cuchillas de afeitar son tipificados como residuos domésticos peligrosos, los cuales llegan a los sistemas de recolección de basura y posteriormente a los rellenos sanitarios, donde los materiales que componen dichas cuchillas tardan en descomponerse aproximadamente mil años.

Para solucionar dicho problema, la empresa Gillette inició en España una campaña para reutilizar dichos materiales y así darles una segunda oportunidad en la parte metalúrgica y en el reciclaje mecánico.

**Palabras claves:** cuchillas de afeitar, Gillette, Venus, TerraCycle.

### Abstract

The purpose of this article is to study the life cycle of razor blades. Since their creation with the intervention of King Camp Gillette, whose initial idea was to create a razor blade that was easy to carry and that could be used from the comfort of the house, through the years, they have been adapted to be more versatile. With the adjustments, the steel bodies of the blades were left aside, to generate more harmonious and easy-to-grip bodies using plastics. But these updates added another problem to the environmental contamination that we currently have because razor blade waste is classified as hazardous household waste, which reaches the garbage collection systems and then the landfills where the materials that make up razor blades have a decomposition life of over a thousand years. To solve this problem, the Gillette company started a campaign in Spain to reuse the materials that razor blades are made of and thus give them a second chance in the metallurgical part and mechanical recycling.

**Keywords:** razor blades, Gillette, Venus, Terracycle:

## INTRODUCCIÓN

Las máquinas de afeitar han evolucionado drásticamente a lo largo de los años. Desde la primera afeitadora, un mango de máquina de afeitar con una hoja de doble filo, hasta la tecnología de lubricación ProShield, que brinda hoy en día la marca Gillette, que ha estado siempre al frente de la innovación. Aunque en la actualidad hay muchas marcas de máquinas de afeitar, en este artículo nos centraremos en la evolución de la marca Gillette, sus componentes más importantes, el proceso de fabricación, sus principales consumidores y su proceso de reciclaje.

## EVOLUCIÓN DE GILLETTE

### Línea del tiempo

En 1903, Gillette presentó el primer sistema de afeitado del mundo: una máquina de afeitar de dos piezas con una hoja de doble filo, afilada, fuerte y delgada, unida a un mango reutilizable.

En 1971, Gillette le dio un gran impulso a la innovación de la máquina de afeitar con el lanzamiento de la Trac II, la primera máquina de afeitar con hojas gemelas. La hoja gemela con cabeza de pivote permite que las hojas sigan mejor el contorno de la cara, para brindar una afeitada aún más al ras.

En 1985, la innovación fue más allá de los mangos y las hojas de acero, debido a que se lanzó al mercado la primera máquina de afeitar de Gillette con una banda lubricante. La incorporación de esta banda encima de las hojas mejoró el desplazamiento de la máquina de afeitar sobre la piel, lo cual incrementó el nivel de comodidad en la afeitada.

En 1998, con el lanzamiento de la Mach3, la primera máquina de afeitar con tecnología de tres hojas, Gillette ofreció una afeitada todavía más suave y al ras. Gillette ha continuado la innovación del sistema Mach3, al ampliar las capacidades de esta máquina de afeitar con la Mach3 Turbo, la cual cuenta con más lubricantes y una protección mucho mayor de la piel en comparación con la Mach3.

En el 2006 debutaron las máquinas de afeitar Fusion5 en las versiones manual y eléctrica, las cuales disponen de cinco hojas y superan a la Mach3 en comodidad. En 2010 se lanzaron las Fusion5 ProGlide, que llevaron la precisión y el desempeño a un mayor nivel

gracias a unas hojas más finas y delgadas. En el 2014 se presentó la Gillette Body, como la primera máquina de afeitar diseñada para el cuerpo masculino. Ese mismo año debutó la siguiente evolución del afeitado: Fusion5 ProGlide con tecnología FlexBall™, una máquina de afeitar multipivotante, diseñada para maximizar el contacto con cada contorno de la cara de un hombre. Por último, la Fusion5 ProShield llevó la lubricación a otro nivel en 2015. Con lubricación antes y después de las hojas de afeitar, ProShield es el escudo que ayuda a proteger la piel contra la irritación.

En la figura 1 se puede evidenciar la evolución que han tenido las máquinas de afeitar de Gillette [1] (figura 1).



Figura 1. Evolución de las máquinas de afeitar de Gillette.

## MATERIALES

Estos son los principales materiales que tienen hoy en día las máquinas de afeitar [2]:

### Rastrillo de afeitar

Las maquinillas de afeitar a mano alzada fueron el principal método de afeitado hasta principios del siglo XX. En 1847, el inglés William Samuel Henson perfeccionó el diseño del rastrillo en forma de T. La novedad radicó en una cuchilla colocada a 90 grados del mango, facilitando así el rasurado y haciéndolo más seguro. El rastrillo de afeitar es un instrumento manual con una hoja de acero muy afilada. El cuerpo del rastrillo presiona y tensa la piel que se encuentra ante la hoja.

### Cuerpo

El cuerpo del rastrillo presiona y tensa la piel que se encuentra ante la hoja. Este cuerpo puede ser de dos

materiales: metálico o plástico. Para el rastrillo desechable, el cuerpo puede ser hecho en polipropileno (PP), poliestireno (PS) o poliestireno de alto impacto (HIPS).

### Tiras de hojas de afeitar

Actualmente, todas las máquinas de afeitar están hechas de una variación de acero; el compuesto de acero específico que utilizan varía de acuerdo con la empresa fabricante.

- **Acero al carburo.** Hoy en día, la mayoría de las máquinas de afeitar de calidad se fabrican a partir de un compuesto de acero llamado acero al carburo. En cantidades variables, se agregan cromo (Cr), manganeso (Mn), silicio (Si) y molibdeno (Mo) a la mezcla de hierro (Fe) y carbono (C) para hacer un acero que se puede forjar en una hoja lo más delgada posible y, aun así, ser resistente a la corrosión y mantener un borde afilado.
- **Revestimientos.** Por lo general, las máquinas de afeitar tienen un revestimiento en la hoja de acero. Estos materiales son normalmente resistentes a la corrosión y son muy duros, lo que permite que los otros componentes de la hoja se degraden antes que los bordes metálicos.
- **Recubiertas con PTFE o teflón.** Los bordes se recubren con PTFE de bajo peso molecular, que se adhiere a la superficie mediante calentamiento. El revestimiento de PTFE es clave para el rendimiento de los sistemas modernos. El borde de la hoja es de acero inoxidable extremadamente afilado, recubierto con 30 nanómetros de cromo (Cr)-platino (Pt) y PTFE de bajo peso molecular. Casi todas las hojas de acero inoxidable están recubiertas con PTFE o teflón.

### Cabezal

Tiene una estructura moldeada de dos fases de PEO y poliestireno (PS) con PPO. El estireno da estabilidad a la forma de la pieza, pero libera el PEO en contacto con el agua a un ritmo lento pero constante. De hecho, la tira tiene un 20 % de estireno y un 80 % de PEO, aproximadamente.

### Diseño del mango

El diseño debe abarcar toda la amplitud de posiciones y agarre para el proceso de afeitado, así como brindar control sobre el rastrillo y la hoja. Para alcanzar este fin, el mango está fabricado en polipropileno (PP) o poliestireno (PS) sobrio, inyectado con un elastómero termoplástico (TPE) con excelente acabado de polipropileno (PP). Para asegurar un buen agarre debe existir suficiente fricción entre la mano y el mango, por lo que las herramientas manuales se deben fabricar con materiales antideslizantes. Los mangos de SEBS con textura brindan un buen agarre, reducen el esfuerzo necesario para utilizar la herramienta de manera efectiva y evitan que la herramienta se resbale de la mano. El uso de TPE para agarres suaves de rastrillo permite tener un agarre cómodo y firme.

### Rastrillo desechable

La plataforma es de poliestireno (PS) o poliestireno de alto impacto (HIPS) y el espaciador entre las palas es de aluminio (Al). La tapa transparente de seguridad viene en poliestireno (PS), y se utiliza para evitar cortarse al tomar la máquina y para que no se contaminen las hojas.

### PROCESO DE FABRICACIÓN

En su diseño se contemplaron todos los procesos de fabricación, como las materias primas, las bobinas de acero para la producción de las cuchillas de afeitar y el fundido del plástico para dar cuerpo a las afeitadoras. Las materias primas se forman y ensamblan en el área de operaciones básicas. Una vez completadas, se trasladan al centro de empaquetado y se procesan para su envío.

### CONSUMIDORES

Un estudio realizado en Norteamérica permitió evidenciar que los hombres en Estados Unidos y Canadá tienen un estilo de vida agitado, por lo que no encuentran mucho tiempo libre en su trabajo para visitar una barbería con frecuencia; esto promueve el crecimiento del mercado, debido a que a los consumidores les gusta tener productos de aseo personal [3], en este caso las máquinas de afeitar, la cual les facilita rasurarse o mantener su barba de acuerdo con su gusto y sin gastar mucho tiempo en ello.



Los consumidores principales de las máquinas de afeitar siempre han sido los hombres, quienes generalmente las emplean para el aseo personal de la cara. Sin embargo, las mujeres también las utilizan, pero más para depilarse las piernas y las axilas. Hace poco más de un siglo se comercializó la primera máquina de afeitar para mujeres, llamada Milady Décolleté Gillette (figura 2); desde entonces, se han creado múltiples opciones para que las mujeres se depilen.

En el caso de la marca Gillette, sus usuarios tradicionales han sido hombres adultos, pero a lo largo de los años su mercado objetivo se ha ampliado a jóvenes, mujeres e incluso el colectivo gay. Se diseñaron campañas específicas para estos colectivos, utilizando a conocidos famosos para lograr una mayor conexión del mensaje con el nuevo perfil. A su vez, la marca lanzó la versión femenina de la máquina de afeitar con el nombre de Venus, para el depilado corporal, una de las muchas máquinas que se encuentran hoy en día en el mercado para su uso por parte de las mujeres.



Figura 2. Milady Décolleté Gillette.

## PROCESO DE RECICLAJE

Las marcas Gillette y Venus crearon un programa de reciclaje con TerraCycle para poder recoger maquinillas y recambios de todas las marcas de afeitar o depilar. El programa consiste en crear una cuenta en TerraCycle, en la cual las personas encontrarán un mapa con ubicaciones para que busquen un lugar con fácil acceso al público y llevar a cabo su recolección. Este puede ser la vivienda habitual o un punto público, como un

gimnasio, una tienda, un colegio, etc. Posteriormente, el usuario debe llenar un formulario para que TerraCycle le envíe la caja oficial de recogida para este programa específico. La caja le ayuda a desempeñar la actividad con total seguridad. Una vez que la caja de recogida esté llena, el usuario tiene que entrar a su cuenta de TerraCycle y solicitar una etiqueta gratuita para enviar la caja, pero también puede solicitar una nueva caja de recogida [4].

## Qué ocurre con los residuos recolectados

Las maquinillas y los recambios se trituran para separar los materiales, en tanto que los metales se funden en lingotes para su reutilización en la industria metalúrgica. Los plásticos se funden y se transforman en gránulos que se pueden volver a moldear, con los cuales se pueden crear productos nuevos de uso diario, útiles para la sociedad.

## TerraCycle

Es una empresa de reciclaje que se ha convertido en líder mundial en el tratamiento de residuos difíciles de reciclar. Opera actualmente en 20 países y ayuda a más de un centenar de empresas multinacionales en la recogida de envases y residuos que no pueden reciclarse a través de los canales tradicionales de separación (instrumentos de escritura, recambios de detergente, paquetes de galletas en aluminio, cápsulas de café, ambientadores, etc.). Particulares, escuelas, asociaciones o comunidades pueden recoger los residuos, que luego se transforman en material reciclado y se utilizan para hacer nuevos productos.

## CONCLUSIONES

Las cuchillas de afeitar son un residuo peligroso, por lo cual es importante tener conciencia de su reciclaje; por tal motivo, deberían existir sitios de disposición en diferentes lugares del país, para que estos residuos no se dispongan directamente al relleno sanitario.

## REFERENCIAS

[1]. Gillette (2019, 27 de diciembre). *Evolución de la máquina de afeitar*. Gillette Latinoamérica; P&G. Consultado el 3 de

mayo de 2023. Disponible en <https://www.gillette-latino.com/consejos-para-afeitarse/consejos-de-afeitado/maquina-de-afeitar-seguridad>.

[2] Mexpolimeros (2009, 15 de febrero). *Rastrillo de afeitar*. Consultado el 3 de mayo de 2023. Disponible en <https://www.mexpolimeros.com/app/rastrillo%20de%20afeitar.html>.

[3] *Mercado de productos de aseo masculino de América del Norte: crecimiento, tendencias, impacto de Covid-19 y pronósticos (2023-2028)*. Disponible en <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/north-america-mens-grooming-products-market>.

[4] Gillette (2019, 17 de enero). *Reciclaje de maquinillas y cuchillas de afeitar*. Gillette ES; P&G. Consultado el 3 de mayo de 2023. Disponible en <https://gillette.es/es-es/acerca-de-gillette/reciclar>.

[5] Álvarez, C. (2011, 2 de febrero). Cuchilla de afeitar o maquinilla eléctrica. *El País*. Consultado el 3 de mayo de 2023. Disponible en <https://blogs.elpais.com/eco-lab/2011/02/cuchilla-de-afeitar-o-maquinilla-electrica.html>.

[6]. Martín, A. (2018, 15 de mayo). Maquinillas desechables: la peor opción de afeitado y depilado para el bolsillo y el planeta. *El Español*. Consultado el 3 de mayo de 2023. Disponible en [https://www.elspanol.com/ciencia/salud/20180514/maquinillas-desechables-opcion-afeitado-depilado-bolsillo-planeta/307219521\\_0.html](https://www.elspanol.com/ciencia/salud/20180514/maquinillas-desechables-opcion-afeitado-depilado-bolsillo-planeta/307219521_0.html).



# Programación concurrente como herramienta para lograr computaciones de alto rendimiento

## Concurrent programming as a tool to reach high performance computing

JHORDY ESTEBAN SALINAS SANTIAGO<sup>1</sup> - GERARDO OSPINA HERNÁNDEZ<sup>2</sup> -  
CLAUDIA PATRICIA SANTIAGO CELY<sup>3</sup>

1. Estudiante de la maestría en Informática de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
2. Docente de planta de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
3. Directora de la maestría en Informática de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería.

Jhordy.salinas@mail.escuelaing.edu.co - gerardo.ospina@escuelaing.edu.co -  
claudia.santiago@escuelaing.edu.co

Recibido: 15/07/2022 Aceptado: 16/08/2022

Disponible en [http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones\\_revista](http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista)  
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

### Resumen

Con el transcurrir del tiempo, se ha observado una mejora considerable en términos de *hardware* para optimizar el proceso de desarrollo de *software*, pero, a medida que aumenta el rendimiento de las computaciones, se incrementa la demanda con respecto al volumen de datos y del tiempo de procesamiento que requiere la industria.

En un ecosistema tan dúctil como el que se vive en la actualidad, se encuentran retos para los cuales es necesario aprovechar y retomar conceptos antiguos que no obtuvieron el furor esperado, aunque ahora pueden causar un gran impacto para resolver computaciones complejas que no existían en el pasado. Es así como la programación concurrente es un enfoque poderoso, con mucho provecho por delante. El uso correcto de la programación concurrente muy posiblemente va a impulsar nuevas tecnologías que requieran un procesamiento de alto rendimiento para pasar al siguiente nivel o para comprobar teorías que permitan avanzar en cada campo, abriendo un amplio panorama de investigación en temas como *big data*, inteligencia artificial, etc.

En este artículo se presentará la programación concurrente como un estilo de programación que aporta sustancialmente a la creación de computaciones de alto rendimiento (*high performance computing*, HPC), permitiendo aclarar de qué manera lo hace y por qué es tan importante usarla.

**Palabras claves:** programación, concurrencia, alto rendimiento, paralelismo, procesos, hilos, recursos compartidos, optimización de *software*.

### Abstract

With the passage of time, a considerable improvement has been observed in terms of hardware to optimize the software development process. Nevertheless, a measure that increases the performance of the computations increases the demand with respect to the volume of data and of the processing time required by the industry. In an ecosystem as ductile as the one we live in today, there are challenges for which it is necessary to take advantage of and return to old concepts that did not initially find the expected trend. Such concepts can cause a profound impact to solve complex computations that did not exist in the past, thus, concurrent programming is a powerful unexploited approach. The correct use of concurrent programming is highly likely to promote new technologies that require high-performance processing to go to the next level or to assess theories which allow each field to advance, opening a wide panorama of research on topics such as big data, artificial intelligence, etc. In this article, concurrent programming will be presented as a programming style that contributes to the creation of high-performance computing - HPC, allowing to clarify how it does it and why it is so important to use it.

**Keywords:** programming, concurrence, high performance, parallelism, processes, threads, shared resources, software optimization.



## INTRODUCCIÓN

La industria se enfrenta a desafíos asociados con la cantidad de datos que hay que procesar y con los tiempos de respuesta, que son cada vez más eficientes. Esto se debe a que las empresas que nacen lo hacen directamente en un ecosistema tecnológico, donde la capacidad de adquisición de clientes es global [1], y las facilidades y velocidades en los servicios que prestan son cada vez más retadoras, esperando convertir procesos robustos y complejos de la actualidad a procesos ligeros y sencillos de completar para el usuario final [2]. Así, se vuelve un factor competitivo entre las empresas el hecho de contar con talento humano capaz de desarrollar computaciones de alto nivel, capaces de tomar un gran volumen de datos y dar un resultado correcto lo más rápido posible.

Además, las exigencias que actualmente se presentan en la construcción del *software* no llegaron de un momento a otro; en cambio, son parte de una transición que iba creciendo poco a poco y que inicialmente era soportada gracias al avance que tenía el *hardware*, ya sea a partir de aumentar el número de transistores, el número de núcleos físicos o el número de núcleos virtuales, o hacer particiones sobre los núcleos físicos, etc., que ayudaban físicamente a lograr un desempeño óptimo. Con ello, la programación con enfoque secuencial era suficiente, pero como existen barreras físicas que se están alcanzando, y que se habían previsto desde hace tiempo (ley de Moore [3]), es momento de mejorar y alinear el proceso de desarrollo de *software*, con el fin de lograr un avance proporcional al *hardware*; no obstante, para conseguir lo anterior es necesario recurrir a enfoques como el de programación concurrente, que ya se estudió, pero no tuvo la importancia que merecía en su momento.

Es esencial evaluar otras perspectivas o enfoques para atacar los problemas por resolver, y es ahí donde la programación concurrente se convierte en una herramienta útil para la construcción de computaciones de alto rendimiento (*high performance computing*, HPC), puesto que gracias a los conceptos, prácticas e ideología que propone se logra enriquecer el diseño de los programas para sacarle provecho al *hardware* que se tiene a disposición, y poder administrar a completitud los recursos con los que cuenta el computador para mejorar el rendimiento del *software*. Se pretende hacer uso de la programación concurrente para resolver el procesamiento o el análisis de grandes volúmenes de

datos, que son la cantidad normal en cualquier contexto tecnológico de la actualidad.

A partir de lo anterior, este artículo se organizó de la siguiente manera: en el capítulo dos se presentará la metodología de investigación para la revisión del tema; en el capítulo tres, correspondiente al marco teórico, se mencionarán los conceptos más relevantes para el entendimiento del artículo, de manera que para el capítulo cuatro se logre comprender el estado del arte, orientado al enfoque de programación concurrente, mencionando trabajos recientes y esfuerzos de implementaciones nacientes; esto da como resultado el capítulo cinco, donde se concluirá y hablará acerca del trabajo futuro y potencial de este estilo de programación, junto con HPC.

## METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este artículo se ha consultado bibliografía en sitios como IEEE, Google Scholar, Science Direct, Scopus o IOPScience, utilizando palabras claves como *programación*, *conurrencia*, *paralelismo*, *software*, *procesos*, *threads*, *multithreads*, *HCM*, *alto rendimiento* o *paradigmas de programación*.

Así mismo, se consultaron páginas web como la de la RAE, blogs informáticos, revistas y libros virtuales asociados, para obtener información del marco teórico. Luego de la revisión de artículos se hace la validación del estado del arte actual, para poder proceder con las conclusiones, beneficios, desventajas y comparaciones con la ideología actual de programación.

La selección de fuentes se acotó primero por un filtro de tiempo, donde para el capítulo de marco teórico se intentó usar fuentes más recientes, con un año de publicación por encima del año 2000 (aunque existen conceptos que no han variado desde su definición, por lo que son la excepción para fuentes más antiguas). Con respecto al estado del arte se emplearon fuentes de los últimos cuatro años (2018-2022), para toda la selección de fuentes se priorizaban los artículos de investigación, luego los libros, después los informes investigativos, y además también se usaron foros web, en los que se podría apreciar como *hot topic* el tema de programación concurrente.

Otro criterio fue priorizar el contenido escrito en inglés y desarrollado por personas que cursen un posgrado o un doctorado. Las búsquedas también se

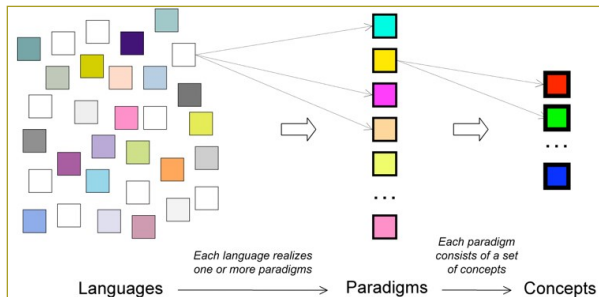
hicieron en inglés como primer intento y se avanzaba no más de diez páginas antes de realizarlas en español.

**MARCO TEÓRICO**

Para la comprensión del artículo es necesario explicar los siguientes conceptos, presentados con base en dos pilares fundamentales: el primero es la programación tradicional, acompañada de los mecanismos, prácticas y metodologías que actualmente se usan, incluyendo la programación concurrente; el segundo consiste en mencionar las consideraciones que se deben hacer en la programación para alcanzar computaciones de alto rendimiento, donde habrá un apartado en el que se expone el impacto de la programación concurrente sobre las HPC.

**Paradigmas de programación**

Etimológicamente hablando, la palabra *paradigma* se deriva del griego “ejemplo” o “modelo”. Esta primera aproximación apunta hacia su significado, pues un paradigma se considera como un modelo o patrón que se acepta en una determinada disciplina científica [4]. Para este caso en particular, un paradigma de programación es un conjunto completo de valores, creencias y técnicas compartidos por los miembros de la comunidad de programación, que en este caso son los desarrolladores de *software* o programadores, y de dichos paradigmas se derivan los modelos y métodos con los que cuenta la programación de computadores; la segmentación se hace basada en las características de cada paradigma y en los problemas comunes que solucionan. De esta manera, basta con definir una estrategia de implementación y escoger el paradigma que mejor se adapte, para finalmente seleccionar el lenguaje de programación y desarrollar la tarea.



**Figura 1.** Lenguajes, paradigmas y conceptos [5].

En la figura anterior se muestra el camino desde los lenguajes de programación hasta los paradigmas y conceptos; cada lenguaje de programación implementa uno o más paradigmas, y cada paradigma se define por un conjunto de conceptos de programación (figura 1).

Los paradigmas más populares de programación se encuentran ubicados en dos grandes grupos: los paradigmas imperativos y los paradigmas declarativos. Estos últimos se desglosan a su vez en programación estructurada y programación orientada a objetos para los imperativos, y programación funcional junto con programación lógica (declarativa).



**Figura 2.** Clasificación de paradigmas de programación más populares [6].

**Paradigmas imperativos**

Un computador consta básicamente de una unidad de control y una memoria, y es lógico que lo primero en programación guarde relación con la estructura física del computador. Por tanto, un programa consistía en instrucciones para cambiar el contenido de la memoria y la unidad de control se encargaba de ejecutar las instrucciones; de esta manera, surgieron los paradigmas imperativos. Estos paradigmas se clasifican como procedimentales, y su nombre se debe al papel dominante que desempeñan las sentencias imperativas, esto es, aquellas que indican realizar una determinada operación que modifica los datos guardados en la memoria. Su esencia es resolver problemas complejos mediante la ejecución repetitiva y la realización de operaciones sencillas, calculadas y asignadas en posiciones de memoria.

### Estructurado

La base teórica de la programación estructurada establece que cualquier programa, sin importar cuán grande y complejo sea, se puede representar por medio de tres tipos de estructuras de control:

- **Secuencia.** Bloque de código que ejecuta una instrucción a continuación de la otra.
- **Selección.** Sentencia que bifurca el flujo de ejecución del programa.
- **Iteración.** Repetir grupo de operaciones varias veces.

Esta clase de programación propone el desarrollo del programa de forma modularizada, creando porciones más pequeñas de programas con tareas específicas, que a su vez se subdividen en otros “subprogramas”, denominados rutinas, funciones, procedimientos, módulos y de otras maneras en los diferentes lenguajes; deben tener solo un punto de entrada y uno de salida, y realizar conceptualmente una sola tarea [7].

El objetivo de la programación estructurada es conseguir programas fiables y fácilmente mantenibles, en razón de que surgió como respuesta a los problemas que aparecen cuando se programa sin una disciplina y unos límites que marquen la creación de programas claros y correctos. E. W. Dijkstra expuso las primeras ideas, fundamentadas teóricamente más adelante por Böhm y Jacopini [8].

Existen varios lenguajes de programación estructurada, tales como Pascal, C, Fortran, Algol, Cobol, Ada, Clipper, Fox, PL/1, etc. Cabe aclarar que muchos de ellos también soportan otros paradigmas, pero, siguen predominando como representantes de programación estructurada.

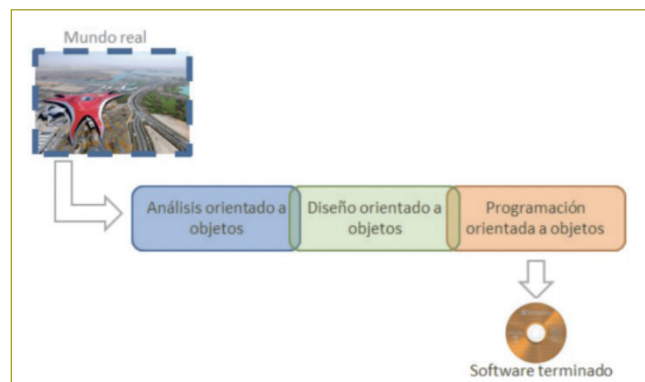
### Orientado a objetos

La programación orientada a objetos (OO) se cimienta en concebir un sistema como un conjunto de entidades que representan al mundo real, y crear implementaciones de las entidades, las cuales tienen distribuida la información esencial y la funcionalidad necesaria según la necesidad; adicionalmente, cooperan entre sí para alcanzar un objetivo común. En OO, las entidades se denominan “clases” y las implementaciones de estas se llaman “objetos”; son como un conjunto de objetos representado de forma abstracta por una clase, que tienen la misma estructura general y comportamiento; las clases

son moldes donde se define la forma de los objetos, lo cual significa que un objeto es solo un ejemplar de una clase capaz de instanciar más. De igual modo, la programación orientada a objetos presenta características de encapsulamiento, herencia y polimorfismo que le permiten ser un paradigma bastante completo [9].

Es así como este paradigma pretende desarrollar sistemas con modelos más cercanos a la realidad, mediante la construcción de componentes de *software* que sean reutilizables y mantenibles, y que también puedan ser extensibles y modificables con un bajo impacto con el resto del sistema [10]. Es uno de los paradigmas más populares de programación, debido precisamente a su abstracción cercana del mundo real; el modelo de programación orientada a objetos, creado por Kristen Nygaard y Ole-Johan Dahl, surge alrededor de los años sesenta; este paradigma difiere del anterior (estructurado) en que los datos y los métodos no están separados y sin relación alguna, mejorando la modularización y la mantenibilidad.

El primer paso en el ciclo de desarrollo de *software* bajo el paradigma OO es el análisis orientado a objetos, del mundo real; una vez acabado el análisis hay que diseñar o modelar OO, para pasar finalmente a programarlo. Si se detalla la figura siguiente, las fases están solapadas, dado que no tienen marcados un inicio y un final claros; el *software* estará terminado una vez que se acaben las tres fases (figura 3).



**Figura 3.** Ciclo de desarrollo para paradigma OO [11].

Entre los lenguajes que soportan el modelo de programación orientada a objetos están Smalltalk (el cual fue el primero en existir para este paradigma), C++, Delphi (Object Pascal), Java y C#, lenguajes que se han incorporado al mercado y han ido creciendo y mejorando poco a poco, utilizando y desechando características de otros lenguajes que perecieron durante el proceso [12].

### Programación declarativa

Los paradigmas declarativos describen las características que debe tener la solución. En otras palabras, especifican el “qué” pero no el “cómo” (a diferencia de los imperativos), se basan en construir programas especificando un conjunto de proposiciones, restricciones, afirmaciones, ecuaciones o transformaciones que caracterizan el problema y describen su solución. El sistema, a partir de mecanismos internos de control, se encarga de evaluar y relacionar adecuadamente dichas especificaciones para obtener la solución; no se requiere puntualizar los pasos que hay que seguir para alcanzar una solución, ni dar instrucciones de control que conformen algoritmos [13].

### Funcional

Antes de la existencia de computadores, había métodos para resolver problemas; los últimos cuatro siglos han sido muy importantes las *funciones* en matemáticas, las cuales establecen la relación entre una entrada y una salida de procesos definidos. Cada ejecución de un programa es también el resultado específico para un grupo de parámetros, por lo que una función es una buena manera de especificar una computación. Un programa en programación funcional es la definición de una o más funciones.

El paradigma funcional desarrolla lenguajes un poco más cerca del mundo del hombre, donde se tiene libertad en la manera de ejecución; por esto, se considera declarativo, dado que especifica las funciones que hay que usar, pero no el cómo o en qué orden ejecutarlas, pues al fin y al cabo es un paradigma más cercano a las matemáticas y poco influido por la estructura concreta del computador [14].

Los fundadores son, entre otros, M. Schonfinkel (en Alemania y Rusia), Haskell Curry (en Inglaterra) y Alonzo Church (en Estados Unidos), los cuales introdujeron esta teoría matemática a comienzos de los años cincuenta. El primer lenguaje que soportaba el paradigma funcional era LISP, inventado por John McCarthy, y fue el único por mucho tiempo, hasta que en los años ochenta vieron el potencial del paradigma y muchos lenguajes empezaron a implementar mecanismos para soportarlo.

En la programación funcional existe un concepto que vale la pena aclarar: la composición de funciones.

Esta le da robustez al desarrollo con dicho paradigma. El modelo matemático de composición funcional le permite a esta programación combinar dos o más funciones para obtener otras, tal como la teoría matemática lo expresa; así, el resultado de una función es la entrada de la siguiente, hasta obtener el resultado final.

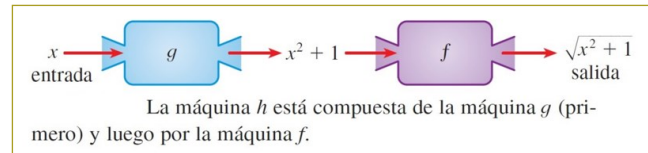


Figura 4. Composición de dos funciones [15].

En la figura anterior (figura 4) se observa la composición de funciones, donde la función  $h$  se puede expresar de la siguiente manera:

$$h(x) = f(g(x)) = f(x^2 + 1) = \sqrt{x^2 + 1}$$

De la misma forma, existen otras características del paradigma funcional; la primera de ellas es la transparencia referencial, que significa que las variables son utilizadas para hacer referencia a valores intermedios de la ejecución de las funciones, como resultado de unas funciones y *output* de otras, pero no como asignación. La segunda característica es la evaluación diferida, que quiere decir que la evaluación de las expresiones invocadas se posterga hasta el momento en que realmente sean utilizadas. La siguiente es la recursividad, que, aunque no es propia de este paradigma, es muy importante y usada. Adicionalmente, para llevar control y orden en el conjunto de valores de las funciones se utilizan muchas listas, lo que permite llevar el estado entre funciones.

Procedural	Funcional
<pre>int factorial( int n ){     int result = 1;     for( ; n &gt; 0 ; n-- ){         result *= n;     }     return result; }</pre>	<pre>fac :: Integer -&gt; Integer fac 0 = 1 fac n   n &gt; 0 = n * fac (n-1)</pre>

Figura 5. Código imperativo vs. código funcional [16].

El lenguaje más antiguo y típico del paradigma funcional es el LISP, pero existen también otros lenguajes más modernos, como Gofer y Haskell.



## Lógica

La lógica existe desde Aristóteles (384-322 a.C.), y luego tuvo innovaciones de interés por parte de René Descartes y Gottfried Leibniz en el siglo XVII; posteriormente, mentes como Boole, Jevon, Pierce, Schroeder, Huntington, Frege, Cantor, Peano, Russell, Whitehead trabajaron en ella. Sin embargo, el primero en usar la lógica matemática para representar y ejecutar programas fue Allonzo Church, en 1930 [17].

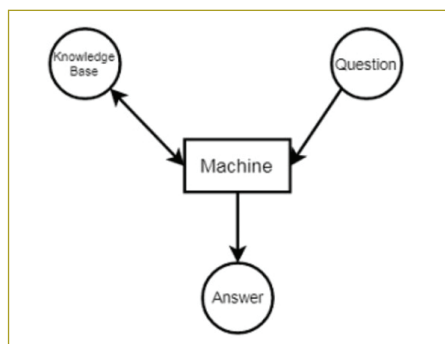
Una manera de razonar para resolver problemas en un contexto matemático se fundamenta en la lógica de primer orden, donde el conocimiento básico matemático se puede representar en forma de axiomas, a los cuales se les puede agregar reglas formales para deducir verdades (teoremas). El paradigma lógico se enfoca en automatizar computacionalmente el razonamiento lógico, permitiendo así que, como en el paradigma anterior, la matemática diera origen a otro paradigma de programación. Se considera declarativo porque nuevamente se describe el “qué”, ya que el programador, para solucionar un problema, tiene que describirlo mediante axiomas y reglas de deducción, que posteriormente se evalúan para ver si son teoremas; de esta manera, se tendría que formular los problemas como preguntas [18].

Un programa basado en el paradigma lógico es una colección de proposiciones y preguntas (figura 6). Por ejemplo:

**Proposición 1:** Si  $x$  es un pájaro o un avión, entonces  $x$  tiene alas.

**Proposición 2:** Piolín es un pájaro.

**Pregunta 1:** ¿Piolín tiene alas?



**Figura 6.** Elementos del paradigma lógico [19].

Con base en lo anterior, los pasos para escribir un programa en paradigma funcional serían los siguientes: primero, hacer las *proposiciones*, que pueden dividirse en hechos o en reglas sobre los objetos y relaciones entre ellos, y segundo, formular *preguntas* asociadas a dichos objetos y relaciones. Con lo anterior, la ejecución del programa consistirá en tratar de comprobar si el conjunto es un teorema (verdad) o no.

Todas las variaciones de programación lógica tienen su raíz basada en Prolog, el lenguaje emblemático para el paradigma.

## Programación secuencial

El primer enfoque de programación fue la programación secuencial, lo cual no es sorprendente debido a que es la que mejor se alinea a la ejecución de instrucciones del computador con el sistema operativo, pues es la manera en que trabaja una sucesión de eventos que suceden uno a la vez [5]. Al mismo tiempo, cabe destacar que la naturaleza humana para la solución de un problema define un conjunto de acciones y normalmente las desarrolla de un modo ordenado y excluyente (aunque no sea obligatorio lo último). De hecho, la definición de algoritmo es “conjunto ordenado y finito de operaciones que permite hallar la solución de un problema” [20], y a pesar de que no esté explícito, lo normal es que se tienda a confundir “ordenado” con “secuencial”; es decir, que sea ordenado no significa que sea una instrucción a la vez, pero no tomar el tema con suficiente rigurosidad es lo que ha orientado a que casi la totalidad de la programación sea desarrollada con una orientación secuencial.

La programación secuencial ha ido evolucionando; a medida que se requieren mejoras se desarrollan poderosos algoritmos para realizar búsquedas, ordenamientos, transformaciones, etc. Pero así mismo, a medida que se descubren nuevas alternativas, se reduce el campo de las posibilidades existente. La principal característica de los algoritmos secuenciales es que las sentencias de código están enumeradas (implícitamente) y deben seguir una estricta secuencia cronológica de ejecución [21]. La programación secuencial ha sido un ideal de programación que ha estado desarrollándose desde el origen mismo de la programación; todos los paradigmas explicados a continuación se pueden implementar con un enfoque secuencial.

### Programación concurrente

Antes que nada, para que exista concurrencia en una computación debe haber al menos dos procesos ejecutándose en el mismo intervalo de tiempo, ya sea de manera intercalada o traslapada (más adelante se profundiza en el tema). Es decir, dos procesos son concurrentes si la primera operación de uno empieza antes que las operaciones del otro hayan acabado [20]. La clave de la disciplina de programación concurrente está en la correcta secuencia de interacciones o comunicaciones entre los procesos y el acceso coordinado de recursos que se comparten por todos los procesos o tareas [22].

La concurrencia está presente todo el tiempo, ya sea en navegadores web para varios usuarios que acceden a la vez, en el sistema operativo de computadores y *smartphones* que ejecutan procesos de múltiples programas simultáneamente, en las transacciones físicas (cajeros) o virtuales con criptos, etc. Existen varios escenarios en los que se están adaptando computaciones secuenciales para problemas que de naturaleza se piensan de manera concurrente; el objetivo principal de la programación concurrente es poder “explotar mejor el *hardware*” [23]. Lo anterior no significa que la programación concurrente dependa de los recursos con que cuente el *hardware*, es decir, no es requisito que existan múltiples procesadores para poder codificar de manera concurrente, pues lo importante para tener un enfoque de manera concurrente es pensar en procesos, no en procesadores, por consiguiente, puede existir concurrencia con un solo procesador, y por tanto, puede haber también concurrencia sin necesidad de paralelismo; la concurrencia puede ser la siguiente: por procesos en ejecución intercalada (*interleaved*) o por procesos en ejecución traslapada (*overlapping*) [24].

Más adelante se representa la concurrencia con un enfoque de *interleaved*, donde el mismo procesador se encarga de intercalar los procesos para su ejecución, y en el lado derecho está la concurrencia por *overlapping*, que también se denomina paralelismo, en el que se cuenta con más de un procesador y se pueden tener dos procesos corriendo a la misma vez, cada uno en un procesador propio (figura 7).

Otro tema fundamental con un enfoque concurrente se refiere a que, una vez definida la estrategia para abordar la solución, es necesario pensar en las interacciones que habrá entre los procesos; dichas interacciones pueden dividirse así:

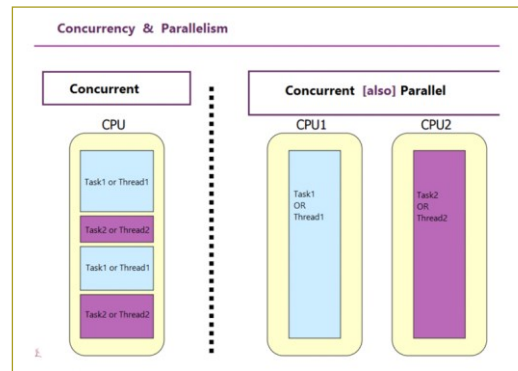


Figura 7. Concurrencia y paralelismo [25].

- **No cooperan.** Separar datos de manera disjunta (máximo beneficio en tiempo).
- **Cooperan directamente.** Un proceso A solicita a un proceso B un dato que está bajo el dominio A.
- **Cooperan indirectamente.** Comparten memoria común, donde puede acceder un proceso a la vez para dejar o traer datos.

La programación concurrente consiste en definir una estrategia y pensar en cómo será el manejo de los datos a partir de esta. Además, tiene retos en su implementación, entre los cuales está evitar lo siguiente:

- **Race conditions.** Cuando el resultado es correcto o incorrecto dependiendo del orden de ejecución de los procesos.
- **Livelock.** La acción que ejecuta el proceso A cancela la acción que ejecuta el proceso B.
- **Deadlock.** El recurso que tiene ocupado el proceso A lo necesita el proceso B y viceversa [26].

Entre los lenguajes populares que “soportan” un enfoque concurrente existen Java, ADA, C, Python y Golang. La mayoría lo soportan gracias a librerías y componentes creados después de la construcción del lenguaje, mas no de manera nativa.

### Computaciones de alto rendimiento (HPC)

El campo de computación de alto rendimiento (*high performance computing*, HPC) es una rama de la ciencia de sistemas y computadores que estudia técnicas y nuevas tecnologías que permitan que, con algoritmos avanzados y poder de cómputo, se construyan com-

putaciones eficaces para resolver problemas comunes de gran volumen de datos, con un rendimiento que disminuya cada vez más el tiempo de procesamiento de dichos datos [27].

En ese orden de ideas, la computación de alto rendimiento se refiere comúnmente a la práctica de agregar poder de cómputo de una manera que ofrece un rendimiento mucho más alto que el que se podría obtener de un computador de escritorio o estación de trabajo típica para resolver grandes problemas en ciencia, ingeniería o negocios. Cada computador de escritorio tiene por lo general entre uno y cuatro procesadores, y los procesadores actuales suelen tener de dos a cuatro núcleos; en HPC a cada computador personal se le denomina nodo, y un clúster de interés para una pequeña empresa podría tener tan solo 4 nodos o 16 núcleos, aunque un tamaño de clúster común en muchas empresas oscila entre 16 y 64 nodos, o entre 64 y 256 núcleos. Así entonces, el objetivo es poner a trabajar los nodos juntos para usar el poder de cómputo que ofrece cada uno.

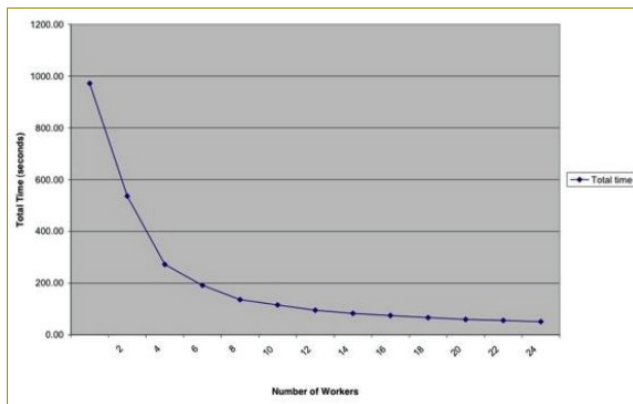
**Tabla 1**

HCP. Usos en diferentes sectores de diversas maneras [28]

Vertical Segments	Common Workflows
Financial services	Fraud and anomaly detection, backtesting for algorithmic/proprietary trading, risk analytics
Oil and gas	Seismic processing, interpretation, reservoir modeling
Manufacturing	Materials simulation, structural simulations (noise/vibration/hardness and crash), aerodynamics simulations, design space exploration, thermal simulations and many more
Life sciences	Molecular dynamics, drug discovery, virtual modeling, genome sequencing and many more
Earth sciences	Atmospheric modeling, hydrodynamic modeling, ice modeling, coupled climate modeling

En la tabla anterior (tabla 1) se muestra el impacto del HCP en segmentos donde se ha hecho uso de esta tecnología para resolver problemas, y los flujos comunes de segmentos donde se ha implementado. Por ejemplo, en el sector financiero se ha utilizado HCP para el análisis de riesgo, una tarea que consiste en procesar millones de registros y precisar el riesgo de diversos portafolios; así mismo, se puede observar que muchos sectores están aprovechando esta tecnología.

Igualmente, se compara el tiempo que consume ejecutar computaciones probabilísticas con el método de simulación iterativo de Monte Carlo al usar programación concurrente (figura 8). Se demuestra que al utilizar mayor cantidad de procesadores el tiempo de ejecución disminuye, siempre y cuando el sistema operativo sea capaz



**Figura 8.** Response time vs. Processes.

de administrar los procesos creados (de lo contrario, el número de procesos se vuelve contraproducente). Por tal razón, la programación concurrente como estilo de programación es una herramienta útil para HPC, dado que esta técnica para agrupar operaciones en tareas que luego se puedan ejecutar en procesos concurrentes en el mismo intervalo de tiempo, se enfoca en solucionar grandes problemas mediante el famoso “dividir y conquistar”.

## ESTADO DEL ARTE

La tarea de enseñar el estilo de programación concurrente no es sencilla; por el contrario, se necesita un marco de innovación pedagógica para diseñar y aplicar estrategias concurrentes en problemas de programación, incluyendo cada vez más este enfoque en problemas comunes que manejen gran volumen de datos. La educación alineada con la industria favorece el aprovechamiento de la programación concurrente en cuanto a enriquecer su entendimiento, de la misma manera que la programación secuencial.

Pedro Picón, en su tesis de posgrado de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo [29], contribuyó en la elaboración de estrategias sobre el clima institucional (sustentadas en teorías científicas) para impulsar el aprendizaje en esta área; las estrategias atacan temas o aspectos de la clase, entre los que están la transición del lenguaje natural al lenguaje de programación, la motivación de la aplicación de este estilo de programación en problemas reales e influyentes, las herramientas usadas tanto para modelar como para construir y el contenido lógico-matemático de la clase. Este tipo de avances en la educación impulsa la normalización del uso de la programación concurrente.

Un estilo de programación consigue impactar cuando la comunidad comienza a usarlo con frecuencia, elaborando o reforzando de manera conjunta conocimiento para fabricación de estrategias, modelaje, patrones de uso, inclusión en paradigmas etc.; y también la comunidad se encarga en buena parte de la creación de librerías, artefactos, componentes, entre otros mecanismos, que habiliten la sencillez y cotidianidad de su uso. Uno de los aspectos mencionados fue el de patrones; se refiere a patrones de diseño, los cuales son técnicas reutilizables para resolver problemas comunes en el desarrollo de *software* [30].

La tarea de desarrollar *software* concurrente eficiente es compleja, pues existen diversos retos y potenciales problemas que pueden causar comportamientos incorrectos. El diseño de *software* basado en patrones puede ayudar a cubrir los requisitos de correctitud y escalabilidad; por esa razón, se presenta un nuevo patrón genérico de procesamiento concurrente llamado PCR, que consiste en una combinación de elementos productores, consumidores y reductores que operan de manera concurrente sobre un conjunto de datos de entrada, la cual se puede ver a renglón seguido (figura 9).

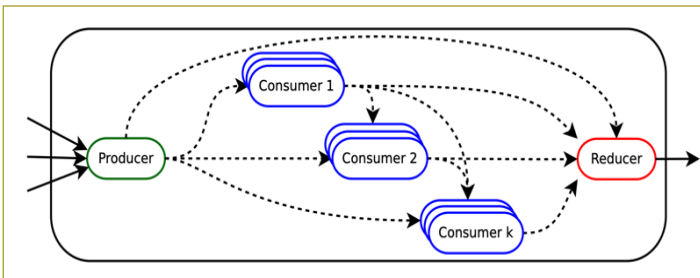


Figura 9. Patrón PCR [31].

Las flechas completas a la izquierda modelan las posibles fuentes de entrada y a la derecha se muestra el único canal de salida hacia el entorno externo. Las flechas discontinuas denotan los canales de datos internos, de manera que todos los canales de entrada al PCR están disponibles para consumo de cualquier componente interno. Para cada elemento de datos de entrada el *producer* genera un conjunto de valores de salida, cada uno disponible para leer; los *consumers* leen los valores para realizar sus cálculos. Finalmente, un componente *reducer* combina valores de una o más fuentes procedentes del *producer* y de cero o más procedentes de los *consumers*, generando un solo elemento de salida para cada elemento de entrada externo. Las lecturas en los canales no son destructivas, por lo cual, el mismo

valor puede ser leído por cualquier consumidor o por el reductor. Los tres elementos del patrón trabajan en paralelo, dependientes de los datos existentes; cada *producer*, *consumer* y *reducer* puede generar tantas instancias (proceso o subproceso local o remoto) de ejecución paralela como sea necesario.

El patrón PCR también cuenta con una definición formal, extensiones, una librería en C++, generación de código, etc. Es un avance poderoso para generalizar el desarrollo de muchos problemas comunes que se solucionan con este patrón; además, esta combina en un solo patrón varios conceptos, como operaciones colectivas, programación basada en flujos, iteración no acotada y recursividad, y puede usarse en conjunto con TLA+, que es un lenguaje de especificación formal para sistemas concurrentes que se está utilizando en lugares como Intel, Amazon y Microsoft [32], industrias donde se ha venido desarrollando con mayor empuje el enfoque concurrente dentro de sus unidades de negocio.

Algunos de los lenguajes de programación en los que se desarrolló una alternativa para el uso de programación concurrente fueron C, C++ y Fortran, dado que, gracias a la interfaz llamada OpenMP, se puede transformar un programa pensado para ser ejecutado de manera secuencial, en un programa que con algunos cambios pueda ser ejecutado de manera concurrente, a partir de un conjunto de directivas de compilador, rutinas de biblioteca y variables de entorno que influyen en el comportamiento en tiempo de ejecución.

OpenMP se basa en el modelo *fork-join*, paradigma que proviene de los sistemas Unix, donde una tarea muy pesada se divide en X hilos (*fork*) con menor peso, para luego recopilar sus resultados al final y unirlos en un solo resultado (*join*). Por consiguiente, la interfaz de OpenMP dispone que determinadas directivas (por ejemplo, la directiva *parallel*) crean regiones paralelas, en las cuales hay varios hilos activos. A medida que se ejecuta un programa se van alternando las regiones paralelas con regiones secuenciales, en las que únicamente el hilo principal está activo. Al finalizar una región paralela se impone una barrera implícita, es decir, que el hilo principal no podrá continuar hasta que no hayan alcanzado ese punto todos los hilos participantes en la región paralela que termina [32].

A renglón seguido se muestra la comparativa de realizar una tarea sencilla, pero con grandes volúmenes de datos; se trata del cálculo del producto escalar, que



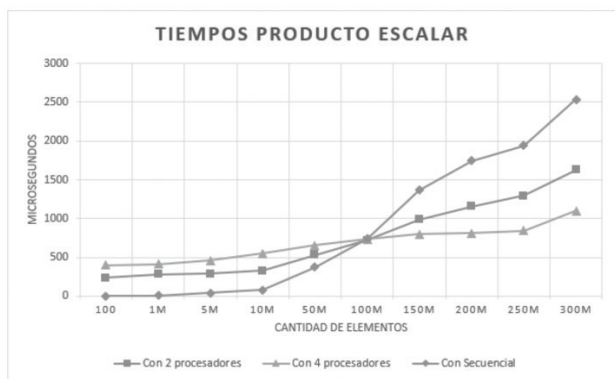


Figura 10. Tiempo de ejecución vs. número de elementos parasecuencial, dos procesadores, cuatro procesadores [33].

consiste en tomar dos vectores, multiplicar por posición y al final sumar para obtener un único número; para la toma del tiempo se desarrolló primero secuencialmente, y luego, con la ayuda de la interfaz OpenMP, se adaptó para que se ejecute de manera concurrente con dos y cuatro procesadores. Como se puede apreciar, cuando ya se cuenta con un gran número de elementos por procesar comienza a dar frutos el estilo de programación concurrente; además, cuando se ejecutó con un número mayor de procesadores (cuatro), fue aún más rápido.

Existen también otros lenguajes, como Go (desarrollado por el equipo de Google), que soportan la programación concurrente de una manera más nativa, puesto que cuenta con estructuras y palabras reservadas que se construyeron con dicho propósito. Go provee conceptos poderosos, como las *goroutines* y los canales, que proveen facilidad en la creación de *software* concurrente; las *goroutines* tienen el propósito de ejecutar tareas simultáneamente; la manera de usarla es anteponiendo la palabra *go* de la sentencia *ejecutar concurrentemente*. Dado que las *goroutines* resultan ser más poderosas que los procesos o *threads* del sistema operativo, aun las tareas más pequeñas pueden resultar beneficiadas de su uso. Por debajo, Go utiliza un *scheduler* y un *pool* de *threads* del sistema operativo, pero a diferencia de otros *thread pools*, el bloqueo de una *goroutine* no produce el bloqueo de un proceso o *thread* del sistema operativo; por el contrario, el hilo continúa con la ejecución de *goroutines* desbloqueadas. Go evita manejar memoria compartida por varias *goroutines*; en cambio, fomenta un modelo de actores independientes, donde cada actor se ejecuta con su propia memoria (esto elimina la necesidad de bloqueo) y de manera secuencial; además, si se requiere

comunicación entre estos, se deben usar los *channels*, que son estructuras de tipo colas de mensajería, creadas con el propósito de realizar dicho intercambio de mensajes entre *goroutines* [34].

En la actualidad, el enfoque de Go es considerado como el más poderoso en computaciones concurrentes porque permite incluir un contexto concurrente dentro de uno secuencial, sin dificultades asociadas con la memoria compartida y el bloqueo.

Tabla 2  
Goroutines vs. threads [35]

Goroutine	Thread
Goroutines are managed by the go runtime.	Operating system threads are managed by kernel.
Goroutines are not hardware dependent.	Threads are hardware dependent.
Goroutines have easy communication medium known as channel.	Thread does not have easy communication medium.
Due to the presence of channel one goroutine can communicate with other goroutine with low latency.	Due to lack of easy communication medium, inter-threads communicate takes place with high latency.
Goroutine does not have ID because go does not have Thread Local Storage.	Threads have their own unique ID because they have Thread Local Storage.
Goroutines are cheaper than threads.	The cost of threads are higher than goroutine.
They are cooperatively scheduled.	They are preemptively scheduled.
They have faster startup time than threads.	They have slow startup time than goroutines.
Goroutine has growable segmented stacks.	Threads does not have growable segmented stacks.

Como ya se mencionó, las *goroutines* se ejecutan sobre *threads* del sistema operativo. Dicho de otra manera, pueden existir diferentes *goroutines* ejecutándose sobre un mismo *thread* (análogo a la ejecución de los *threads* sobre los procesadores del sistema operativo). En la tabla anterior se muestran las diferencias que existen entre *goroutines* y *threads*, en términos de administración, taxonomía, desempeño, etc. (tabla 2).

Con respecto a la HPC, es necesario mencionar lo apetecida que es esta nueva tecnología, debido a la cantidad de industrias que en la actualidad requieren procesar una gran densidad de datos, como se mencionó en el capítulo anterior. Existe evidencia del uso que se le ha dado al HPC en estudios actuales, con otras tecnologías de punta como *big data* para lograr avances en áreas como la ciencia del cerebro.

Las agencias de financiación de investigación pretenden construir una *Neuroinformatics Computing Platform* (NCP) especial para integración multidimensional de datos cerebrales (moléculas, genes, células, redes) y proporcionar poderosos análisis de datos cerebrales que, junto con programación concurrente, puedan

simplificar modelos de circuitos neuronales [36]. Lo anterior apoya el potencial que puede brindar en el área de la salud la programación concurrente, para construir una plataforma de neurociencia con el fin de lograr HPC en el análisis de datos cerebrales. Por otro lado, también existen usos de las HPC en proyectos de recursos hídricos, donde se demuestra que, gracias a la programación concurrente y a los algoritmos desarrollados sobre este enfoque, se empuja inexorablemente el futuro computacional hacia las HPC, manifestando que “la ley de Moore está muerta para las computaciones secuenciales” y que hay gran complejidad en el cambio de estilos de programación, para lograr algoritmos paralelos y escoger uno que obtenga los códigos hidrodinámicos con la mínima afectación del *performance* posible [37], lo que significa que más allá de notar el impacto de la programación concurrente en las HPC, también se preocupan por desarrollar los algoritmos correctos para la separación de datos y el procesamiento paralelo de estos, explotando al máximo así las HPC.

Otro caso de uso interesante se encuentra en los modelos de *deep learning*, como redes neuronales convolucionales, redes neuronales recurrentes y codificadores automáticos variacionales, que se pueden usar para una variedad de tareas. Actualmente están hambrientos de computaciones veloces, ya sea a través del aumento del *hardware* con la adecuación de múltiples unidades de procesamiento, o por medio de algoritmos competentes para el procesamiento de imágenes, la predicción de interrupciones y la detección de anomalías en datos de diagnóstico [38]; como consecuencia, gracias a un enfoque concurrente las computaciones de *deep learning* logran aumentar los nodos de procesamiento y distribuir mejor las grandes cantidades de datos experimentales recopilados de dispositivos de fusión.

De la misma forma, la programación concurrente se puede reflejar en la mejora del rendimiento en la replicación de máquinas de estado (*state machine replication, SMR*), que es un enfoque conocido para implementar servicios tolerantes a fallas, el cual proporciona consistencia y a su vez alta disponibilidad [39].

En el clásico *SMR*, la ejecución de los comandos era secuencial y en el mismo orden para todas las réplicas; ahora, con la mejora del rendimiento gracias a la programación concurrente, se han propuesto dos clases de protocolos para paralelizar la ejecución de comandos, donde en uno es más costosa la sincronización de pro-

cesos que la carga programática que ejecutan, mientras que el otro es inverso; así que lo que se decidió fue hacer un modelo híbrido, aprovechando ambos protocolos y llevando el *performance* al máximo.

A medida que se miden progresos significativos en diferentes sectores con la ayuda de computaciones de alto rendimiento, se trabaja también en accesibilidad para su uso, aprovechar de una manera más fácil el potencial de infraestructura y de los algoritmos de paralelización que permiten la distribución del volumen de datos con la ayuda de la nube. Para esto, proveedores de nube exponen servicios como AWS HPC (by AWS), Big Compute (by Azure), HPC (by Google Cloud), HPC (by IBM), HPC (by Rackspace), los cuales se encargan de proveer la infraestructura necesaria para poder ejecutar grandes volúmenes de datos, por medio básicamente de cargar la fuente de datos y desarrollar el algoritmo concurrente que permita la distribución de los datos en las unidades de procesamiento (ya sean CPU o GPU). A la hora de escoger la solución en la nube más apropiada para las necesidades de las empresas, se deben tener en cuenta principalmente tres detalles: facilidad de despliegue, rendimiento y costo. En estos interviene significativamente el desarrollo de programación concurrente de alto nivel para la mejora del rendimiento, ya sea de manera pura en la ejecución de las computaciones o utilizando interfaces que contribuyan a la solución [40].

Por otra parte, existe también la teoría que indica que las computaciones de alto rendimiento no son el resultado de aplicar programación concurrente o paralela, sino que se diseñaron como alternativa para ejecutar computaciones que, aun aplicando técnicas, estilos, arquitecturas y estándares de la programación concurrente, no se podían ejecutar con los procesadores de una sola máquina, sino que requerían más de un PC con una red LAN sumamente veloz [41].

Como sea que se presente, no cabe duda de que la programación concurrente está estrechamente ligada un estilo programático que aporta sustancialmente al desarrollo de computaciones de alto rendimiento, ya sea como la forma de pensar para la distribución adecuada del gran volumen de datos de entrada, o como la técnica utilizada para la carga programática que requiere la solución del problema; su correcto aprovechamiento y la preocupación por la evolución de esta permitirán avanzar en computaciones de alto rendimiento, que como se vio, será a su vez una herramienta clave para

otras tecnologías de punta, como *big data*, *sistemas autónomos*, *inteligencia artificial*, etc.

## CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Frecuentemente, se mencionan avances tecnológicos en tecnologías de punta, como la inteligencia artificial, la robótica, las plataformas conversacionales, todas ellas mejoradas día tras día. Uno de los aspectos que se pueden atacar de dichas tecnologías es su tiempo de respuesta ante una densidad de clientes cada vez más grande y distribuida; las computaciones tradicionales no dan abasto para los requerimientos de rendimiento que exigen tecnologías de este calibre, por lo que se necesitan alternativas para la construcción de *software* que permita computaciones sólidas. La programación concurrente permite aprovechar los recursos que ofrece el *hardware* de un modo favorable, lo que facilita la creación de procesos concurrentes que se ejecuten de manera intercalada, traslapada o ambas; además, así no cuenta con múltiples procesadores, también permite ejecutar procesos concurrentes. Las computaciones del futuro deben ir asociadas más al contexto de la vida real que al contexto del computador; en virtud de ello, en este nuevo enfoque se puede pensar en una estrategia más rigurosa y entendible; aun cuando para la mayoría de los programadores actuales signifique una curva de aprendizaje más, es necesario capacitarlos para adquirir este nuevo panorama de codificación.

Así pues, existen lenguajes de programación que se han adaptado en la programación concurrente, creando nuevas palabras reservadas, estructura y librerías que permiten implementar como una alternativa computaciones con enfoque concurrente. Entre los más populares se tiene a Java, C, Python, ADA, Go, etc. Aunque algunos sean parcialmente completos, hace falta la creación de un lenguaje de programación que nazca desde la teoría concurrente conocida, es decir, que todos los instrumentos ofrecidos al programador permitan que con solo la teoría se pueda escribir, en forma sencilla, un programa concurrente (como si fuese un “Hello World”). Pero, además de esto, es necesario continuar con el desarrollo de patrones de diseño concurrentes como PCR que impulsen técnicas para solucionar problemas comunes de manera sencilla, contando con formalización y arquitecturas menos complejas de fabricar.

## REFERENCIAS

- [1] Resnick, M., Maloney, J., Monroy, A., Rusk, N., Eastmond, E., Brennan, K., Millner, A., Rosenbaum, E., Silver, J., Silverman, B. y Kafai, Y. (2009). Scratch: programming for all. *Communications of the ACM*, 52(11), 60-67.
- [2] Boccolini, A. (2018). *¿Aprender a programar o programar para aprender?* Ministerio de Educación de Santa Fe. (pp. 1-2).
- [3] Palem, K. y Avinash, L. (2012). DAC '12: Proceedings of the 49th Annual Design Automation Conference. *ACM Digital Library*. (924-929).
- [4] Domínguez, I. (2005). Fundamentos teóricos de los Paradigmas de Programación.
- [5] Hansen, P.B. (1973). *Operating system principles*. (pp. 24-28) cap. 2, Prentice Hall.
- [6] Programación orientada a objetos (2026, 1.º de febrero). [en línea]. Disponible en <https://objetosweb.wordpress.com/2016/02/01/paradigmas-de-programacion/> [último acceso: 2022].
- [7] Domínguez, I. (2005). *Fundamentos teóricos de los paradigmas de programación*, (pp. 20-25).
- [8] López, L. (2021). Programación estructurada. IES Doñana.
- [9] Barnes, D. y Kölling, M. (2007). *Programación orientada a objetos con Java*. Prentice Hall.
- [10] Román, L. (2006). *Metodología de la programación orientada a objetos*. Alfaomega.
- [11] Moreno, J. (2015). *Programación orientada a objetos*. Grupo Editorial RA-MA.
- [12] Pérez, E. y Hernández, F. de M. (2019). La programación orientada a objetos facilidad para crear, *I+T+C - Investigación, Tecnología y Ciencia*, 1(13), 96-100.
- [13] Domínguez, I. (2005). Fundamentos teóricos de los paradigmas de programación. (pp. 50-52).
- [14] Fokker, J., Delgado, C. y Martínez, N. (1996). *Programación funcional*, Universidad de Utrecht.
- [15] Juan, F. *Programación funcional*. Siglo XXI, segunda Década.
- [16] Why Functional Programming Matters (2019, 11 de noviembre). [en línea]. Disponible en <https://mriyam.dev/functional-programming/>. [último acceso: 2022].
- [17] Universidad Nacional de Colombia. Paradigma de programación. [en línea]. Disponible en [https://ferestrepoica.github.io/paradigmas-de-programacion/proglogica/logica\\_teorica/proglogica.html#:~:text=Historia%20de%20la%20programaci%C3%B3n%20l%C3%B3gica,dos%20premisas%20y%20una%20conclusi%C3%B3n.](https://ferestrepoica.github.io/paradigmas-de-programacion/proglogica/logica_teorica/proglogica.html#:~:text=Historia%20de%20la%20programaci%C3%B3n%20l%C3%B3gica,dos%20premisas%20y%20una%20conclusi%C3%B3n.)
- [18] Corso, C., Colacioppo, N., Guzmán, A., Ligorria, K., Ligorria, L. y Marcelo, M. Unidad N.º 5. Paradigma lógico. Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información, Córdoba.
- [19] Prologeria (2020). *Tutorials point*, p. 9.
- [20] Real Academia Española [en línea]. Disponible en <https://dle.rae.es/algorithm> [último acceso: 03/04/2022].
- [21] Fargo, G. (2022). Programacion estructurada secuencial o lineal. [en línea]. Disponible en <https://www.scribd.com/document/375847865/Programacion-Estructurada-Secuencial-o-Lineal> [último acceso: 18/04/2022].

- [22] Fajardo, M. (2013). *Lenguajes concurrentes*. [en línea]. Disponible en [https://prezi.com/m0yickgrvle\\_/lenguajes-concurrentes/](https://prezi.com/m0yickgrvle_/lenguajes-concurrentes/) [último acceso: 2022].
- [23] González, H. y Silvana, G. (2021). *Conceptos iniciales de concurrencia*.
- [24] Slikts (2018). *Concurrency glossary*.
- [25] ThatRobotBoy (2021, abril). Concurrent programming in C++. [en línea]. Disponible en <http://www.kumarakshay.me/concurrent/> [último acceso: 2022].
- [26] S. o. C. Science (2021). *Concurrent and Parallel Programming*.
- [27] Acosta, C. (2009). Implementación de computación de alto rendimiento y programación paralela en códigos computacionales. Medellín.
- [28] Sterling, T., Brodowicz, M. y Matthew, A. (2018). *High Performance Computing: Modern Systems and Practices*, Morgan Kaufmann. 2018.
- [29] Soto, N. (2021, 2 de julio) [en línea]. Disponible en <https://craft-code.com/que-son-los-patrones-de-diseno/> [último acceso: 2022].
- [30] Pérez, D. (2018). Especificación, diseño e implementación de un entorno de programación concurrente basado en patrones. *Biblioteca central Leloir* (p. 4).
- [31] Pérez, D. (2018). Especificación, diseño e implementación de un entorno de programación concurrente basada en patrones. *Biblioteca digital*.
- [32] Del Do, A. (2020). *Análisis de desempeño de algoritmos secuenciales versus paralelos con OpenMp*. Patagonia.
- [33] Del Do, A. (2020). *Análisis de desempeño de algoritmos secuenciales versus paralelos con OpenMP*. Patagonia.
- [34] Saini, A. (2021). Golang | Goroutine vs. Thread. *GeeksforsGeeks*.
- [35] Krasnoyarsk (2019). Youth. Society. Modern Science, technologies & innovations. *Scientific Conference of bachelor students, master students, post-graduate students and young scientists*, (p. 311).
- [36] Shanyu, C., Zhipeng, H., Xinyin, H., Xiaoyu, H., Ruilin, L., Haidong, Z., Dan, Z., Chuangchuang, D., Yu, Z., Zhonghua, L., Xuebin, C. y Beifang, N. (2019). How Big Data and High-performance Computing Drive Brain Science. *Genomics, Proteomics & Bioinformatics*, 17(4), 383-387.
- [37] Morales-Hernández, M., Sharif, M.B., Gangrade, S., Dullio, T.T., Kao, S.-C., Kalyanapu, A., Ghafoor, S.K., Evans, K.J., Madadi-Kandjani, E. y Hodges, B.R. High-performance computing in water resources hydrodynamics. *Journal of Hydroinformatics*, 22 (5), pp. 1217-1228.
- [38] Ferreira, D. (2021). Using HPC infrastructures for deep learning applications in fusion research. *Plasma Physics and Controlled Fusion*, 63(8).
- [39] Burgos, A., Alchieri, E., Dotti, F. y Pedone, F. (2022). Exploiting Concurrency in Sharded Parallel State Machine Replication. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 33(9), 2133-2147.
- [40] Roloff, E., Diener, M., Carissimi, A. y Navaux, P.O.A. (2021). High Performance Computing in the Cloud: Deployment, Performance and Cost Efficiency. *IEEE 4th International Conference on Cloud Computing Technology and Science*, 371-377, 2021.
- [41] Alfianto, E., Sa'diyah, A., Rusidy, F., Puspitasari, I. (2019). High-Performance Computing (HPC) design to improve the quality of Introduction of Parallel Computing lectures. *The 1st International Conference on Advanced Engineering and Technology*, vol. 462, n° 1, pp. 1-5, 2019.





# Impacto de la utilización de las nemotécnicas en el aprendizaje significativo de las razones trigonométricas

## Impact of the use of mnemonics in meaningful learning of trigonometric ratios

JENNIFER NAYIBE MORERA FERNÁNDEZ<sup>1</sup> - NORA YAMILE ROJAS CATAÑO<sup>2</sup>

1. Estudiante de Matemáticas de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

2. Magíster en Docencia de las Matemáticas. Docente de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

jennifer.morera@correo.escuelaing.edu.co - nora.rojas@escuelaing.edu.co

Recibido: 22/07/2022 Aceptado: 30/08/2022

Disponible en [http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones\\_revista](http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista)  
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

### Resumen

En este artículo se presenta una investigación que tiene como objetivo evidenciar si el uso de las nemotécnicas en las razones trigonométricas impacta en el aprendizaje significativo de estas. En este estudio participaron 33 estudiantes en la prueba diagnóstica y 34 estudiantes en la secuencia didáctica de la Institución Educativa Municipal San Juan Bautista de La Salle de Zipaquirá. Se concluye que la nemotécnica, en este caso visual, está influyendo de manera negativa en el aprendizaje significativo de los estudiantes. Los resultados indican que es posible que se esté favoreciendo el aprendizaje memorístico, convirtiéndose en un recurso mecánico.

**Palabras claves:** nemotécnicas, razones, trigonométricas, aprendizaje, significativo.

### Abstract

This paper presents a research project whose goals to show whether the use of mnemonics in trigonometric ratios impacts their significant learning. In this study, 33 students participated in the diagnostic test and 34 students in the didactic sequence of the I.E.M San Juan Bautista de la Salle school of Zipaquirá. It is concluded that mnemonics, in this visual case, is negatively influencing the meaningful learning of the students. The results indicate that rote learning may be favored, becoming a mechanical resource.

**Keywords:** mnemonics, ratios, trigonometric, learning, meaningful.

## INTRODUCCIÓN

Este documento surgió como una inquietud académica en el curso Didáctica de las Matemáticas (DIMA), que se dicta en la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, en el periodo académico 2022-1. El objeto del curso es proporcionar una formación integral al futuro graduado de la carrera de Matemáticas, donde se estudian aspectos didácticos y pedagógicos respecto a la enseñanza de esta ciencia.

Uno de los aspectos estudiados fueron las técnicas de aprendizaje, las cuales en general no son todas homogéneas, dado que cada persona tiene su forma particular de aprender y retener información. Y en la enseñanza de las matemáticas no se queda atrás, pues se consideran muchas reglas o leyes para memorizar (mas no aprender) que, a pesar de su dudosa certeza, con el paso del tiempo se solidifican y se transmiten en la comunidad como una verdad absoluta. En particular, se encuentran una gran variedad de estos recursos en las aulas en torno a las razones trigonométricas.

Conforme a esto último, en el presente artículo resulta interesante ver el impacto en el aprendizaje significativo que pueden tener estos recursos nemotécnicos a la hora de enseñar razones trigonométricas. Para esto se hizo un estudio con un curso de grado undécimo de la Institución Educativa Municipal San Juan Bautista de La Salle, situada en el municipio de Zipaquirá, con el fin de identificar la influencia de los recursos nemotécnicos en los estudiantes a la hora de concebir y comprender el objeto matemático que se está analizando. Para ello, inicialmente se hace una entrevista dirigida tanto al docente a cargo como a los estudiantes, con el fin de identificar la presencia de los recursos nemotécnicos en el aula. Finalmente, se aplica una prueba conceptual, con el propósito de evaluar si los sujetos aprendieron el concepto de razones trigonométricas de manera memorística o significativa.

## ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

### Estado del arte: estudios acerca de la enseñanza y aprendizaje del concepto de razones trigonométricas

Son pocos los trabajos que se centren en la enseñanza y aprendizaje de las razones trigonométricas. Sin embargo, Solanilla (2015) se toma la tarea de buscar estrategias didácticas para el objeto matemático en cuestión, y gracias a esto se encontró que el aprendizaje

se ve afectado principalmente por la falta de motivación y la incoherencia en el contrato didáctico. De manera similar, Peña (2018) en su investigación, luego de implementar su propuesta para fortalecer el aprendizaje de las razones trigonométricas, evidencia un cambio de actitud en los estudiantes, reflejado en la motivación e interés en la realización de las actividades propuestas. En ambos casos, tanto para Solanilla (2015) como para Peña (2018), no solo es importante involucrar y motivar al estudiante, sino que el mismo docente se involucre y actúe positivamente en el proceso de aprendizaje.

Otro punto de vista surge de la implementación de secuencias didácticas. Benavides (2020) explora e incluye las tecnologías visuales para motivar a los estudiantes, y expresa que estos comprenden mejor cuando pueden manipular el recurso y les permiten sacar conjeturas por sí mismos. Igualmente, Álvarez (2018) evidenció que los estudiantes se tornaron más receptivos luego de solucionar las actividades secuenciales.

### Análisis histórico y epistemológico sobre el concepto de razones trigonométricas

Las razones trigonométricas han estado presentes desde hace mucho tiempo en la historia de los seres humanos, desde las civilizaciones babilónica, egipcia, griega e hindú, entre otras. Los primeros avistamientos de la trigonometría se encuentran en la tabla de arcilla Plimpton 322 (babilónicos), en la que se pueden apreciar ternas pitagóricas; el papiro de Ahmes o el papiro de Rhind (egipcios), donde a partir de problemas cotidianos se planteaban ejercicios relacionados con la trigonometría en forma algebraica, al parecer sin ser conscientes del sentido trigonométrico (Abonía y Miranda, 2017). Con la astronomía de la civilización griega surgieron las primeras ideas de los conceptos trigonométricos, y en virtud de los resultados conseguidos en las observaciones de matemáticos como Tales de Mileto, Pitágoras, Aristarco, se generalizó su uso.

Por su parte, las culturas hindú y árabe aportaron a la trigonometría la interpretación de las relaciones trigonométricas en forma de proporciones. Estos conceptos relacionados con los triángulos rectángulos tuvieron más relevancia a mediados del siglo XVI cuando la trigonometría se fue separando de la astronomía y se implementó en más ciencias. Esa separación trascendió y por ello ahora se encuentra también en la arquitectura,

en la medicina, en la aviación, en las telecomunicaciones y en la ingeniería civil.

**Análisis de los obstáculos o errores acerca del concepto de razones trigonométricas.**

Las razones trigonométricas, al igual que otros objetos matemáticos, tienen su grado de dificultad al momento de aprenderlas y comprenderlas. según Naranjo y Triana (2015), el problema más grave es hacer de la enseñanza de estas un procedimiento repetitivo de reproducción de algoritmos, dificultades que también evidencia Agudelo (2018), ya que los estudiantes no son parte activa del proceso de aprendizaje, ocasionando así que estos no interioricen correctamente el objeto matemático de estudio. A su vez, Solanilla (2015) da a entender que estas dificultades están ligadas a tres actores: en primera instancia, al concepto mismo, por ser tan complicado y relacionado con el contexto; en segundo lugar, al estudiante, quien presenta dificultades de comprensión, análisis y resolución de problemas, y por último, a la participación del docente.

Por su parte, Rueda (2012) señala que el aprendizaje se ve afectado por la dicotomía en la enseñanza propia de la trigonometría, a causa de las dificultades que ocasiona introducir el triángulo rectángulo con ángulos en grados, y terminar en el círculo unitario con ángulos en radianes.

**Análisis de libros de texto**

Se analizaron para este caso dos documentos: el libro *Precálculo*, de James Stewart (2019) y el texto *Matemáticas 10*, del Ministerio de Educación (2017), para tener contexto sobre las ideas previas y las definiciones utilizadas (tabla 1).

**Análisis en los lineamientos curriculares de matemáticas en relación con el concepto de estudio**

Los lineamientos curriculares de matemáticas en Colombia (MEN, 1998) se enfocan en el pensamiento espacial y los sistemas geométricos, y por aparte el pensamiento aleatorio y los sistemas de datos; si se integran, estos enfoques pueden ayudar a encaminar la trigonometría, mediante representaciones geométricas e interpretaciones de datos y situaciones en contexto. Se-

**Tabla 1**  
Fuente de conocimientos y definiciones

	Precálculo (stewart), sexta edición	Matemáticas 10 (Ministerio de Educación, 2017)
Conocimientos previos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Teorema de Pitágoras</li> <li>• Medida angular (radianes)</li> <li>• Relación de grados y radianes</li> <li>• Ángulos en posición estándar</li> <li>• Longitud de arco</li> <li>• Área de un sector circular</li> <li>• Movimiento circular (definición, relación entre velocidad lineal y angular)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medidas de ángulos introduce el sistema sexagesimal y el sistema cíclico</li> <li>• Relación de grados y radianes</li> <li>• Longitud de arco</li> <li>• Triángulos (clasificación, propiedades)</li> <li>• Teorema de Pitágoras</li> </ul>
Definición	No da una definición formal, solo escribe las relaciones trigonométricas (ecuaciones).	Una razón trigonométrica expresa la relación entre la medida de uno de los ángulos y la medida de los lados de un triángulo rectángulo.

gún Álvarez (2018), citando al Ministerio de Educación Nacional (MEN, 1998), en trigonometría no se habla solamente de triángulos y de razones, sino de cómo las razones potencian los demás tipos de pensamientos. Sin embargo, en estos lineamientos no se presenta con precisión cuál podría ser el enfoque de la trigonometría en las aulas de clase.

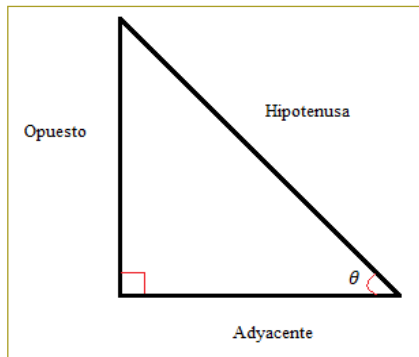
**Razones trigonométricas**

Las razones trigonométricas expresan la relación entre la medida de uno de los ángulos y la medida de los lados de un triángulo rectángulo, es decir, la comparación por su cociente de los tres lados. Considere un triángulo rectángulo con uno de sus ángulos agudos; las razones trigonométricas se definen como sigue:

$$\begin{aligned} \text{sen } \theta &= \frac{\text{Opuesto}}{\text{Hipotenusa}}, & \text{cos } \theta &= \frac{\text{Adyacente}}{\text{Hipotenusa}}, \\ \text{tan } \theta &= \frac{\text{Opuesto}}{\text{Adyacente}}, & \text{csc } \theta &= \frac{\text{Hipotenusa}}{\text{Opuesto}} \\ \text{sec } \theta &= \frac{\text{Hipotenusa}}{\text{Adyacente}}, & \text{cot } \theta &= \frac{\text{Adyacente}}{\text{Opuesto}} \end{aligned}$$



**Figura 1.** Lados en un triángulo rectángulo.



### Estado del arte: estudios acerca del uso de nemotecnias en aprendizaje del concepto de razones trigonométricas

Las nemotécnicas son herramientas que ayudan a la memoria. Dichas técnicas se emplean abiertamente en el aprendizaje mediante asociaciones verbales, visuales y sensoriales, con el único objetivo de grabar un concepto en la memoria. En matemáticas propiamente, el uso de recursos y reglas nemotécnicas es muy abundante. De acuerdo con Candía (2016), el objeto de la nemotécnica es perseguir por medio de estrategias que refuerzan la memoria, el aprendizaje significativo; sin embargo, Carrillo (2006) destaca que el aprendizaje que refuerza el recurso es memorístico, lo que hace que para el sujeto se le facilite recuperar información. Dicho lo último, se puede inferir que el estudiante no necesariamente está interiorizando el concepto, sino que, por el contrario, lo está repitiendo. En particular, para las razones trigonométricas no son muchos los estudios sobre el tema, pero dando un vistazo panorámico en las matemáticas en general, se puede apreciar cómo las nemotécnicas le quitan el sentido al concepto.

### Aprendizaje significativo versus aprendizaje memorístico

David Ausubel, en 1963, basa su teoría del aprendizaje significativo en los saberes preconcebidos, por lo que los nuevos conocimientos deben relacionarse con lo ya conocido por el sujeto; esto es, en el aprendizaje significativo, el estudiante asocia los conceptos nuevos con aquellos ya concebidos; en otras palabras, los saberes preconcebidos condicionan los nuevos. Este proceso tiene lugar cuando las personas interactúan con su entorno, tratando de dar sentido al mundo que perciben. Así mismo, como el sujeto para su aprendizaje posee un conjunto de conceptos, ideas y saberes previos, los

nuevos contenidos deben ser coherentes y estar acordes con las estructuras cognitivas del alumno.

Por otra parte, el aprendizaje memorístico se basa en retener información, de modo que más adelante el sujeto pueda recordarla e implementarla; no obstante, esta retención se hace sin ningún tipo de procesamiento, es decir, se repite de manera que el concepto queda plasmado en la memoria, pero no se detiene a darle sentido. Así, el aprendizaje significativo y el aprendizaje memorístico se diferencian, pues mientras en el primero, el sujeto crea su propia red de conceptos, el segundo solo se basa en los recuerdos.

## METODOLOGÍA

### Caracterización de la unidad de trabajo

Este estudio se realizó con un grupo de 35 estudiantes de grado undécimo de la Institución Educativa Municipal San Juan Bautista de La Salle de Zipaquirá, quienes a la hora de implementar las actividades (encuesta diagnóstica y guía) ya tenían conocimientos sobre razones trigonométricas.

### Tipo de investigación

En razón de que se buscaba evidenciar el impacto de las nemotecnias en el aprendizaje significativo de los estudiantes, se les presentó una encuesta diagnóstica y un taller dirigido. Dicha encuesta se aplicó individualmente para obtener una mayor información del grupo, mientras que para la realización del taller dirigido los estudiantes se organizaron en catorce parejas y dos grupos de a tres. Como en ambas actividades se les pedía a los estudiantes ir solucionando las preguntas planteadas, de manera retórica esto fue una investigación cualitativa, pues con base en las respuestas de los estudiantes se analizaba el impacto de los recursos nemotécnicos en el aprendizaje significativo.

### Procedimiento

Por medio de dos sesiones de clase, el objetivo era evidenciar si el uso de las nemotecnias en las razones trigonométricas tuvo algún impacto en el aprendizaje significativo de estas, por medio de preguntas sobre los conceptos involucrados.

### Técnicas e instrumentos de recolección de información

Se les hizo una prueba diagnóstica a los estudiantes para tener en cuenta qué nemotecnias utilizan para aprender y recordar las razones trigonométricas. Luego, con base en los datos recopilados en la encuesta precedente, se aplicó una guía secuencial para llevar a los estudiantes de manera constructiva desde el teorema de Pitágoras hasta las razones trigonométricas, para así tener una visión amplia sobre en qué punto o puntos podría surgir el impacto de las nemotecnias en el aprendizaje significativo.

En el anexo A se pueden apreciar las evidencias y las categorías de respuesta para cada una de las preguntas de la prueba diagnóstica. Para cada categoría, se registró la cantidad de estudiantes cuya respuesta encaja en dicha categoría.

En paralelo, se hizo al docente del curso una entrevista dirigida, enfocada en las estrategias metodológicas utilizadas cuando enseña razones trigonométricas.

## RESULTADOS Y ANÁLISIS

Primero se analizan los resultados de la entrevista hecha al docente. Luego, se analiza la prueba diagnóstica realizada a los estudiantes.

### Entrevista al docente

*¿Qué estrategias metodológicas utiliza para enseñar razones trigonométricas?*

Primero que todo, les enseño básicamente que es triángulo rectángulo. A partir del triángulo rectángulo, se les da lo magistral: ¿cuáles son? ¿De dónde salen? Y a partir de esto, las fórmulas, las cuales se les deben dictar. Y pues sobre todo, la solución de ejercicios, es como donde más se les va a aplicar eso, para que se las aprendan, se mentalicen, las memoricen. Por lo general se les dan las CA, CO y HI, o sea, CA sobre HI, o CA sobre CO es tangente, tangente es CA/CO. Eso depende de cada estudiante, pero más o menos la indicación es esa es.

*¿Y funcionan?*

En la mayoría sí. Hay chicos que no las cogen, pero es más por vacíos realmente o porque no mecanizan ciertas fórmulas, porque este es un ejercicio muy mecánico.

*Dices que la estrategia funciona en algunos casos; danos un ejemplo donde funcionen.*

Uno les da cualquier triángulo rectángulo, les da uno de los ángulos y ellos determinan cuál es el opuesto, cuál es adyacente; como le digo, ellos sacan las seis razones a partir de ello, sin ninguna dificultad; no se demoran nada. Máximo a veces se demoran un poco en hallar el otro lado, por Pitágoras o por alguna de las indicaciones.

### Análisis de la entrevista

El docente es consciente de que no todos los estudiantes entienden las razones trigonométricas. Sin embargo, se puede evidenciar que emplea una estrategia didáctica que parte de lo más global para llegar a lo específico y poder relacionarlo con otros conceptos matemáticos. Por otro lado, el docente reconoce que los estudiantes tienen dificultades, pero se lo atribuye a los vacíos conceptuales y a la no mecanización de las fórmulas. Esto último está un poco relacionando con la forma de enseñanza virtual en medio de la pandemia.

### Encuesta diagnóstica aplicada a los estudiantes

La encuesta se aplicó a 33 estudiantes del curso de undécimo. A continuación, se muestran y describen los resultados obtenidos para cada una de las preguntas formuladas.

*¿Sabe qué es nemotecnia?*

En esta primera pregunta se busca reconocer si los estudiantes son conscientes o no del uso de recursos para aprender y memorizar conceptos.

De manera unánime, los estudiantes respondieron que no conocían nada de los recursos nemotécnicos.

*En caso de que la respuesta anterior fuera afirmativa, ¿qué considera que es nemotecnia?*

La intención de esta pregunta fue conocer la perspectiva del estudiante frente a las técnicas nemotécnicas. No obstante, como ninguno conocía el término se procedió a comentarles sobre el concepto y mostrar ejemplos que ayudaran a explicarlo, de manera similar a Carrillo (2006).

*Escriba las razones trigonométricas*

En este ítem se quería conectar el concepto de nemotecnias con el de razones trigonométricas; con ello, al momento de recordarlas y escribirlas, se podría identificar algún recurso nemotécnico ligado a las razones trigonométricas. Los resultados a esta pregunta se resumen a continuación (tabla 2).

**Tabla 2**  
Consolidado de respuestas, pregunta 3

Escribe el nombre de la función	28
Escribe la razón	2
No sabe	3

Se evidencia que existe confusión entre razones trigonométricas y funciones trigonométricas. A pesar de que las razones llevan el mismo nombre de la función, se les pide a los estudiantes escribir las razones, lo que genera confusión en el curso y terminan simplemente nombrándolas. Así, según Álvarez (2018) se puede clasificar como NI (nivel insatisfactorio), de manera que no hay un aprendizaje en los conceptos o los comprendieron en forma errada.

*¿Qué trucos o recursos utiliza para aprenderlas y recordarlas?*

Con esta pregunta se pretenden identificar los recursos nemotécnicos vigentes en el aula. Las respuestas se muestran enseguida (tabla 3).

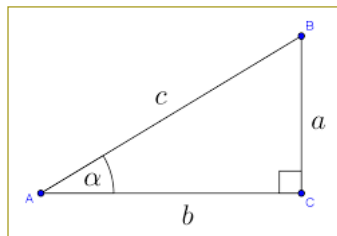
**Tabla 3**  
Consolidado de respuestas, pregunta 4

Practicando y memorizando	9
Asociación con <i>post-it</i> de colores	1
CoCa CoCa Hielo Hielo	1
CoSeCoSeTaCo	1
Dibujo del triángulo	1
Calculadora	2
No recuerdo	17
No me las sé	1

De manera similar a la entrevista con el docente, se puede apreciar que algunos estudiantes siguen la metodología de repetir hasta memorizar el concepto, lo que según Carrillo (2006), es el enfoque central de los recursos nemotécnicos.

Por otro lado, la mayoría de los jóvenes no recuerdan qué recurso utilizan. Sin embargo, enfocado en el tema central del documento, se puede evidenciar que dos estudiantes reconocen la presencia de recursos nemotécnicos.

*En el siguiente triángulo (figura 2), respecto al ángulo  $\alpha$ , escriba las razones trigonométricas.*



**Figura 2.** Triángulo rectángulo para detectar razones trigonométricas.

Dado que las técnicas nemotecnias no son solo verbales, la intención de este planteamiento es evidenciar si el recurso utilizado en el aula es visual. Las respuestas se muestran enseguida (tabla 4).

**Tabla 4**  
Consolidado de respuestas, pregunta 4

Escribe por lo menos alguna razón trigonométrica	8
Escribe razones aleatorias	2
No responde	23

De acuerdo con el recurso visual, y conforme con las anteriores preguntas, se evidencia que más estudiantes identifican y escriben las razones trigonométricas de manera correcta, lo cual evidencia que las nemotecnias no solo se pueden encontrar en forma verbal, sino que también se pueden asociar de manera visual (Carrillo, 2006). Se resalta que un buen número de estudiantes no responden la pregunta.

Además del análisis de cada pregunta, desde la perspectiva de observador se pudo reconocer lo siguiente:

- En cuanto se plantea el dibujo del triángulo rectángulo, los estudiantes transmitieron aprobación, satisfacción y entendimiento; a pesar de que no respondieron la última pregunta, la postura de los estudiantes cambió al sentirse familiarizados con el recurso.
- En relación con la notación, se les indica respecto a que ángulo escribir las razones trigonométricas; no

obstante, la gran mayoría no escribe respecto a qué ángulo halla la razón, sino que pone el nombre y la iguala a la relación.

- Con respecto a la última pregunta, algunos estudiantes –de los que contestaron y los que no–, tuvieron que cambiar los nombres iniciales de los lados y del ángulo para familiarizarse aún más con el recurso (anexo A1).

**Secuencia didáctica**

La encuesta se aplicó a 34 estudiantes del curso de undécimo. Estos fueron los resultados obtenidos (tabla 5):

*¿Qué entiende por razón?*

**Tabla 5**  
Consolidado de respuestas, pregunta 1

Es una relación entre dos magnitudes que son comparables entre sí	4
Es una relación binaria	2
Son fracciones	1
Fórmulas para encontrar una incógnita	4
Relación entre conceptos	1
Las razones trigonométricas son las relaciones entre los lados de un triángulo y sus ángulos	1
Fórmulas para resolver un triángulo	1
Es como el ser humano piensa y reflexiona, para llegar a una conclusión o plantear algo frente a una acción	1
No responde	1

Se evidencia la falta de claridad con respecto al concepto y la definición de razón. Además de relacionar el concepto de razón con las razones trigonométricas, con fórmulas o con conceptos netamente filosóficos, este último nada errado, no es claro en qué contexto se hace la pregunta. Nuevamente, recurriendo a la clasificación de Álvarez (2018), se puede clasificar a la gran mayoría en un nivel insatisfactorio.

*En sus palabras, ¿qué significa resolver un triángulo?*

Con respecto a este punto y al anterior, se puede observar que se les dificulta definir conceptos (tabla 6). Como se ha visto en la entrevista con el docente, los estudiantes realizan el proceso de aprendizaje de manera mecánica, por lo que se entiende que piensen en encontrar *las incógnitas, la hipotenusa y los catetos* del triángulo.

**Tabla 6**  
Consolidado de respuestas, pregunta 2

Determinar las dimensiones del triángulo: lados y ángulos	7
Determinar las dimensiones del triángulo: lados y ángulos, además de su área	2
Encontrar la hipotenusa, los catetos o los ángulos de un triángulo	1
Encontrar las incógnitas de un triángulo	6

*¿Es cierto que para resolver cualquier triángulo se puede aplicar el teorema de Pitágoras, al igual que las razones trigonométricas? Justifique su respuesta*

Pese a que la gran mayoría entiende que el teorema de Pitágoras se usa en triángulos rectángulos, y que existe el teorema de senos y cosenos, es preocupante la cantidad de estudiantes que no son conscientes de la aplicabilidad de las razones trigonométricas (tabla 7). Esto refleja la falta de interiorización del concepto de razón trigonométrica, debido a lo que expresan Naranjo y Triana (2015), de implementar un modelo repetitivo de enseñanza basado en la aplicación de algoritmos.

**Tabla 7**  
Consolidado de respuestas, pregunta 3

	Razones trigonométricas	Teorema de Pitágoras
Sí	10	6
No	5	10
No responde	1	0

*¿Las razones trigonométricas dependen del tamaño de los triángulos? Justifique su respuesta*

Con respecto a esta pregunta, cuatro estudiantes respondieron que sí, mientras que doce respondieron que no. Esto sugiere que la mayoría entiende que las razones no dependen de la longitud de los lados.

*¿Qué diferencia hay entre la función trigonométrica y la razón trigonométrica?*

Como se concluyó de la encuesta diagnóstica, los estudiantes no diferencian la función de la razón trigonométrica, y aunque algunos quisieron dar diferencias de estas, hubo confusión y dieron definiciones que hacen inferir nuevamente al observador que el concepto de función no está claro (tabla 8).



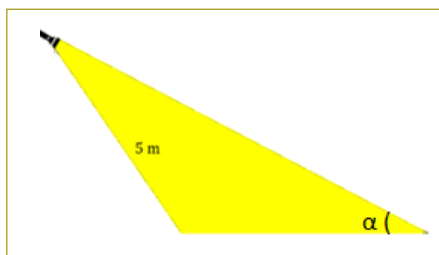
**Tabla 8**  
Consolidado de respuestas, pregunta 5

Ninguna, son lo mismo	8
La razón trigonométrica relaciona cateto opuesto, cateto adyacente e hipotenusa, dando los conceptos de seno, coseno y tangente. Las funciones trigonométricas son independientes del valor de sus lados.	1
Las razones trigonométricas son aquellas que relacionan las magnitudes de los lados del triángulo; en cambio, las funciones trigonométricas extienden el concepto de estas razones y estudian su comportamiento al variar el valor de los ángulos.	1
La función trigonométrica se grafica, mientras que la razón trigonométrica se utiliza para hallar los lados de un triángulo.	1
Las razones son el seno, coseno, tangente y las funciones son una función que contiene la razón.	2
La función trigonométrica es el nombre de cada razón trigonométrica.	1
La diferencia que hay entre razones trigonométricas y funciones trigonométricas es que las razones son sólo las ecuaciones mientras que las funciones son la aplicación de estas con otras operaciones matemáticas para hallar un lado	1

De manera que los estudiantes no están enlazando los conceptos nuevos con los ya preconcebidos, es decir es un error de transferencia (Zubieta, 2018).

Respecto a la siguiente figura, responda:

- ¿Es posible resolver este triángulo?
- ¿Qué datos necesita para resolver ese triángulo?
- ¿Qué método utilizaría para resolverlo?
- ¿Puede aplicar las razones trigonométricas en él? ¿Por qué?



Con esta pregunta se pretende evidenciar si el estudiante entiende qué método puede relacionar para resolver cada triángulo. Gran cantidad de estudiantes observaron que el triángulo así descrito no se podía resolver y debían solicitar más datos (tabla 9). Es de enorme satisfacción ver que algunos de ellos reconocieron la posibilidad de utilizar los teoremas de senos o cosenos.

**Tabla 9**  
Consolidado de respuestas, pregunta 6

<b>a) ¿Es posible resolver este triángulo?</b>	
Sí	2
No	14
<b>b) ¿Qué datos necesita para resolver ese triángulo?</b>	
Dos lados y un ángulo	10
Dos lados más, o un ángulo y un lado más, o dos ángulos	4
Así como está se puede resolver	1
La hipotenusa y un ángulo (opcional)	1
<b>c) ¿Qué método utilizaría para resolverlo?</b>	
Ley de coseno	1
Ley de seno	1
No se puede resolver	1
Teorema de Pitágoras	3
Razones trigonométricas o ley de coseno o ley de seno	1
Razones trigonométricas	6
Razones trigonométricas o teorema de Pitágoras	3
<b>d) ¿Puede aplicar las razones trigonométricas en él? ¿Por qué?</b>	
Sí	13
No	3

Sin embargo, como método por utilizar se registran las razones trigonométricas, pero aún más preocupante es la conclusión de más del 80 % del curso de la posibilidad de aplicar las razones trigonométricas al triángulo propuesto, al igual que en Peña (2018), donde los estudiantes no saben con claridad donde aplicar las razones trigonométricas.

Imagine que tiene que colgar una estrella como se muestra en la figura. Cada cable mide  $c$ , cada poste mide  $a$  y la separación entre postes es  $b$ . Si la estrella tiene una altura  $d$ , contesta:



- ¿Es posible conocer la distancia entre la estrella y el suelo?
- ¿Qué método utilizaría para encontrar la distancia en el inciso a)? ¿Por qué?
- ¿Puede aplicar las razones trigonométricas en él? ¿Por qué?

De las respuestas proporcionadas se evidencia aún más la falta de interiorización de los conceptos, que proponen métodos que no se pueden implementar, además de esperar datos numéricos (tabla 10). Del ítem d) se puede concluir insatisfactoriamente que el estudiante no entiende en qué condiciones puede utilizar las razones trigonométricas, debido a que afirman que sí pueden aplicarlas, pero no solicitan saber respecto a qué ángulo aplicarlas; además, según la mayoría, las razones trigonométricas se pueden implementar en cualquier triángulo, de manera similar a lo que se evidencia en Peña (2018).

**Tabla 10**  
Consolidado de respuestas, pregunta 7

<b>a) ¿Es posible conocer la distancia entre la estrella y el suelo?</b>	
Sí	14
No	1
No responde	1
<b>b) ¿Qué método utilizaría para encontrar la distancia en el inciso a)? ¿Por qué?</b>	
Teorema de Pitágoras	2
Razones trigonométricas	3
Razones trigonométricas y teorema de Pitágoras	2
Razones trigonométricas, ley del seno	1
Teorema de Pitágoras y ley del coseno o del seno	1
A la altura del poste se le resta la diferencia que hay con el cable	1
Sí se tienen los valores de b y c	1
Se puede trazar un triángulo imaginario para hallar la altura, aunque necesita mínimo un ángulo y un lado	1
No sé	2
No responde	1
<b>c) ¿Puede aplicar las razones trigonométricas en él? ¿Por qué?</b>	
Sí	12
No	3
No responde	1

Por otro lado, para las preguntas 6 y 7 se presenta el recurso visual debido a que en la encuesta diagnóstica se encontró que la nemotécnica del curso era visual. Y así, como se pretendía, los estudiantes utilizaron el recurso para poder dar sentido a sus respuestas.

Para el primer recurso se puede observar (anexo A2) cómo buscan acomodar el triángulo para llevarlo a uno ya conocido, y poder hacer la asociación memorística (Carrillo, 2006).

Para el segundo, de manera similar, trataron de dibujar triángulos rectángulos a su conveniencia (anexo A3), sin importar si en realidad el ángulo que se formaba era recto. Esto último es similar a lo que encontró Zubieta (2018) con las gráficas de las funciones trigonométricas, puesto que dibujan figuras geométricas que no corresponden al enunciado propuesto.

## CONCLUSIONES

Luego de la implementación de la actividad didáctica con un curso de grado undécimo de la Institución Educativa Municipal San Juan Bautista de La Salle, ubicada en el municipio de Zipaquirá, se pueden sacar las siguientes conclusiones:

La encuesta diagnóstica dejó en evidencia la falta de conocimiento inicialmente de la utilización de recursos nemotécnicos, de manera que los estudiantes hacen uso de estos de manera inconsciente y como si fueran una verdad irrefutable. Por otro lado, a pesar de que no hay certeza de la efectividad de los recursos nemotécnicos en el aprendizaje (Carrillo, 2006), el docente en la entrevista dirigida asegura que el método mecánico ayuda al estudiante a recordar y aprender el procedimiento. Sin embargo, en la encuesta secuencial el panorama es otro, ya que el aprendizaje que los estudiantes muestran está lejos de ser significativo, pues ven desligados los conceptos y simplemente saben implementar mecánicamente técnicas para resolver problemas.

En segunda instancia, la encuesta diagnóstica deja en claro que los estudiantes deben tener el recurso visual para por lo menos reconocer el nombre de los componentes de un triángulo rectángulo; en este punto, también se evidencia que no tienen en cuenta el ángulo, por lo que escriben el nombre de la razón trigonométrica y la igualan a alguna razón. En paralelo, la encuesta secuencial respalda estos dos hechos, pues algunos estudiantes, aunque no tienen claros los conceptos de razón y razones trigonométricas, buscan las maneras de adecuar los triángulos propuestos a un modelo visual conocido y así plantear la posibilidad de utilizar razones trigonométricas, incluso sin tener pleno conocimiento con respecto a qué ángulo aplicarlas. Otros; no obstante,

no adecúan el triángulo, sino que identifican sus lados como si fuese un triángulo rectángulo.

En consecuencia, las evidencias presentadas permiten concluir que la nemotécnica, en este caso visual, influye de manera negativa en el aprendizaje significativo de los estudiantes, puesto que favorece solo el aprendizaje memorístico.

## RECOMENDACIONES

Vale la pena subrayar que la implementación de secuencias didácticas en el proceso de aprendizaje es de gran valor, como lo señala Álvarez (2018), por lo que diseñar y plantear situaciones de esta naturaleza harán que el estudiante relacione conceptos, pueda reconstruir por sí mismo el conocimiento, y que poco a poco sea capaz de generar su propia red de conceptos. Esto permite a los docentes evidenciar errores en el proceso de aprendizaje de los estudiantes, generados por conceptos aprendidos de manera mecánica.

Según Peña (2018), se sugiere también que el acompañamiento del docente se haga en la realización de talleres, creando espacios donde los estudiantes puedan resolver sus dudas sobre los conceptos, retroalimentando con evaluaciones para guiarlos a razonar en otros contextos. Así mismo, se recomienda en las clases crear espacios para que los estudiantes puedan realizar y proponer sus propias conjeturas y, a partir de ellas, guiar el desarrollo de la clase. De esta manera, los estudiantes van a ganar más motivación en el proceso.

Igualmente, en la propuesta de la secuencia didáctica no solo se debe enfatizar en la creación y el diseño de talleres y evaluaciones, sino también debe estar implícito en el desarrollo del curso cómo se le pueden dar a conocer los conceptos a los estudiantes, de modo que se conecten y se teja el aprendizaje, evitando enfatizar en el aprendizaje memorístico.

Finalmente, el docente debería renunciar a la enseñanza mecánica de los conceptos; lo ideal es que vaya y varíe los contextos, que haga hincapié en la parte conceptual, y cuando el estudiante ya esté en proceso de aprendizaje o en un nivel satisfactorio, dé a conocer el recurso nemotécnico, en caso de ser necesario. En vista de que el recurso que genera dificultad es el visual, y en el proceso su utilización es esencial, el docente debe garantizar que los estudiantes están captando la parte conceptual en paralelo al modelo, es decir, plantear

preguntas conceptuales, así como las implementadas en este estudio, que invaliden el recurso, y hacer entender a los estudiantes que no deben depender de este.

Lo anterior aplica no solo para la enseñanza y el aprendizaje de las razones trigonométricas, tema que se ve en el colegio y se trabaja nuevamente en la universidad en los cursos de precálculo de primer semestre, sino que también en la enseñanza del álgebra y el cálculo existen numerosos casos en los que las fórmulas se sustituyen por estos recursos nemotécnicos que a menudo son confundidos con métodos, algoritmos u operaciones algebraicas, tal como lo señala Carrillo (2006). Además, estos recursos son incluidos en el desarrollo del tema por encima de la comprensión del concepto mismo, porque son al parecer “más fáciles” de recordar para los estudiantes.

## REFERENCIAS

- Abonia, L. & Miranda, W. (2017). *Un acercamiento histórico a las razones trigonométricas seno y coseno para la implementación de una actividad en el aula* [trabajo de grado para optar al título de licenciados en Matemáticas y Física, Universidad del Valle].
- Álvarez, B. (2018). *Las razones trigonométricas: una propuesta didáctica para su comprensión, a partir de un análisis histórico epistemológico* [trabajo final de maestría presentado como requisito parcial para optar al título de magíster en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Colombia].
- Benavides, E. (2020). *Aprendizaje de las razones trigonométricas a partir de pruebas pragmáticas en un ambiente de geometría dinámica* [trabajo de grado para obtener el título de magíster en Educación, Universidad Icesi].
- Candia, M. (2016). *Las nemotécnicas como herramientas del aprendizaje significativo en la educación superior* [tesis presentada para obtener el título de maestría en Educación Superior, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla].
- Carrillo, H. (2006, mayo). *Recursos nemotécnicos de las funciones trigonométricas básicas* (N.º A030199) [tesis para obtener el grado de maestro en Ciencias en Matemática Educativa, Instituto Politécnico Nacional].
- Colín, M., Islas, C., & Morales, F. (2018). *Diseño de una secuencia de aprendizaje de la trigonometría en el nivel medio superior. Una experiencia en el Instituto Politécnico Nacional* (N.º 2448-6574).
- Gil, F. G. (2022, 23 abril). *Aprendizaje memorístico*. Estilos de aprendizaje. <https://estilosdeaprendizaje.org/aprendizaje-memoristico/>.
- Guerrero, M. (2021, 16 de octubre). La teoría del aprendizaje significativo de Ausubel. *Psicoactiva*.
- Ministerio de Educación Nacional (1998). *Serie de lineamientos curriculares-Matemáticas*. [https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-89869\\_archivo\\_pdf9.pdf](https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-89869_archivo_pdf9.pdf).
- Ministerio de Educación Nacional (2017). *Matemáticas 10*. Larousse.
- Naranjo, W., & Triana, M. (2015). Las razones trigonométricas a través del trabajo experimental en Matemáticas: reflexiones de una indagación en el aula. *Revista Ejes*, 67-73. <http://funes.uniandes.edu.co/9816/1/Naranjo2015Las.pdf>.

Penedo, A. (s. f.). Foros educación [cuadro comparativo]. En *Foros educación*.

Peña, I. (2018). *Fortalecimiento del proceso de aprendizaje de las funciones trigonométricas en el marco de la metodología de resolución de problemas de George Pólya con estudiantes de décimo grado de la institución educativa Antonio Nariño, del municipio de San José de Cúcuta* [trabajo de grado para obtener el título de magíster en Educación, Universidad Autónoma de Bucaramanga].

Rueda, G. (2012). *Aproximación a la enseñanza de las razones trigonométricas a través del trabajo experimental en matemáticas en el grado décimo* [trabajo de grado, Universidad del Valle].

Serra, B. R. (2022, 1.º de abril). *Razones trigonométricas*. Universo Fórmulas. <https://www.universoformulas.com/matematicas/trigonometria/razones-trigonometricas/>.

Solanilla, O. (2015). *Implementación de herramientas didácticas y tecnológicas para mejorar el nivel de aprendizaje de la trigonometría* (N.º 139) [trabajo de grado como requisito parcial para optar al título de magíster en Educación, Universidad del Tolima].

Stewart, J., Redlin, L., & Watson, S. (2007). *Precálculo* (5.ª ed.). Cengage Learning.

Stewart, J., Redlin, L., & Watson, S. (2012). *Precálculo* (6.ª ed.). Cengage Learning.

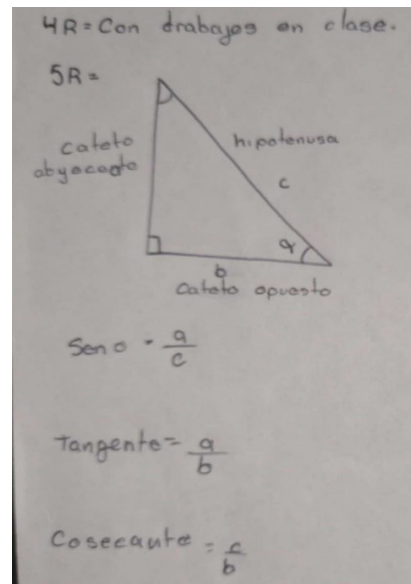
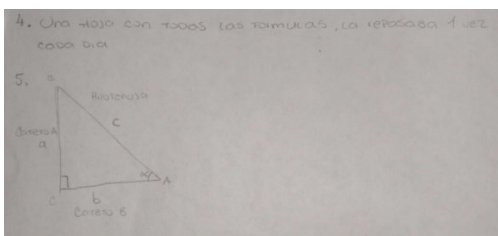
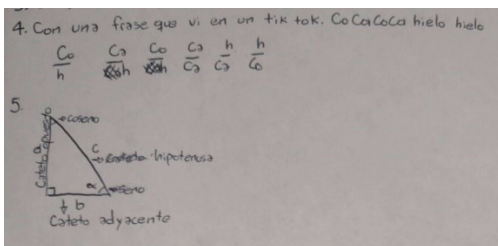
Torres, A. (2019). *Aprendizaje memorístico: características y técnicas para potenciarlo*. Psicología y Mente. <https://psicologiaymente.com/inteligencia/aprendizaje-memoristico>.

Web del Maestro CMF (2020, 19 noviembre). *¿Qué es el aprendizaje significativo? Definición, características y ejemplos*. Web del Maestro CMF. <https://webdelmaestrocmf.com/portal/que-es-el-aprendizaje-significativo-definicion-caracteristicas-y-ejemplos/>

Zubieta, J. (2018). *Tipificación de errores y dificultades en el desarrollo de las funciones trigonométricas de estudiantes de grado décimo* (No FOR020GIB) [trabajo de grado, Universidad Pedagógica Nacional].

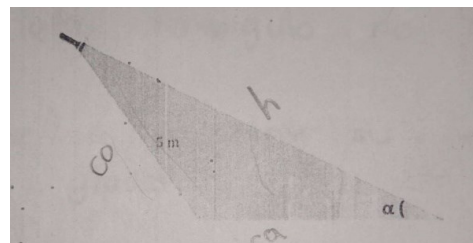
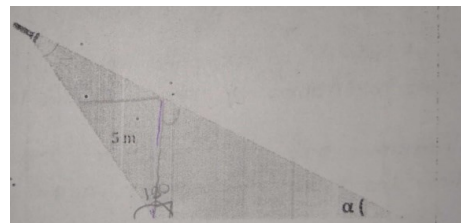
**ANEXOS**

**A1. Evidencia de las respuestas a la pregunta 5 de la encuesta diagnóstica.**



**Figura 3.**

**A2. Evidencias de las respuestas a la pregunta 6 de la secuencia didáctica.**



**Figura 4.**



### A3. Evidencias de las respuestas a la pregunta 7 de la secuencia didáctica

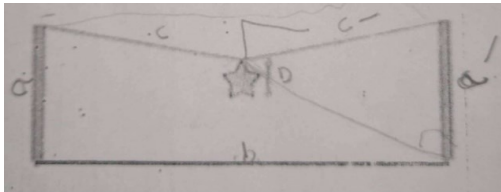
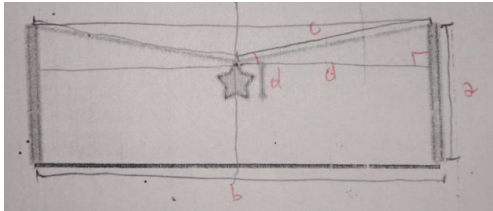
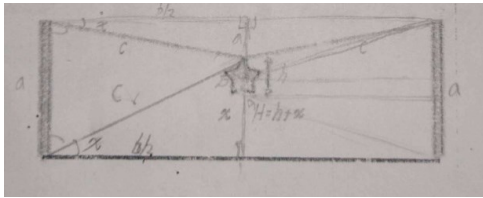
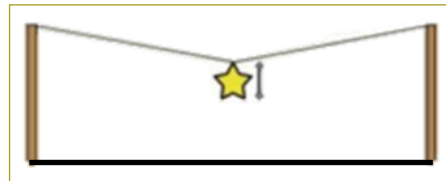


Figura 5.

- ¿Es posible resolver este triángulo?
- ¿Qué datos necesita para resolver ese triángulo?
- ¿Qué método utilizaría para resolverlo?
- ¿Puede aplicar las razones trigonométricas en él? ¿Por qué?

- Imagine que tiene que colgar una estrella como lo muestra la figura: cada cable mide  $c$ , cada poste mide  $a$  y la separación entre postes es  $b$ . Si la estrella tiene una altura  $d$ , contesta:

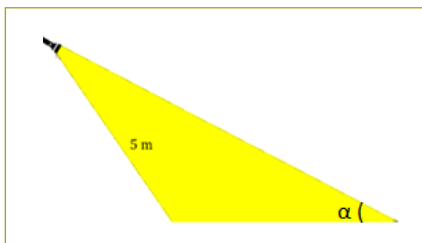


- ¿Es posible conocer la distancia entre la estrella y el suelo?
- ¿Qué método utilizaría para encontrar la distancia en el inciso a)? ¿Por qué?
- ¿Puede aplicar las razones trigonométricas en él? ¿Por qué?

### A4. Secuencia didáctica

Secuencia didáctica: razones trigonométricas.

- ¿Qué entiende por razón?
- En sus palabras, ¿qué significa resolver un triángulo?
- ¿Es cierto que para resolver cualquier triángulo se puede aplicar el teorema de Pitágoras, al igual que las razones trigonométricas? Justifique su respuesta.
- ¿Las razones trigonométricas dependen del tamaño de los triángulos? Justifique su respuesta.
- ¿Qué diferencia hay entre la función trigonométrica y la razón trigonométrica?
- Respecto a la siguiente figura, responda:



# REVISTA DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

## Alcance y política

El objetivo de la *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería* es difundir artículos técnicos que contribuyan al desarrollo del país a través de una publicación con alta calidad editorial y rigor científico.

La revista acepta prioritariamente los siguientes tipos de trabajos, que le permiten mantener su categorización:

1. **Artículo de investigación científica y tecnológica.** Documento que presenta, de manera detallada, los resultados originales de proyectos de investigación. La estructura generalmente utilizada contiene cuatro apartes importantes: introducción, metodología, resultados y conclusiones.
2. **Artículo de reflexión.** Documento que presenta resultados de investigación desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico, recurriendo a fuentes originales.
3. **Artículo de revisión.** Documento producto de una investigación donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones publicadas o no publicadas, sobre un campo en ciencia o tecnología, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo. Se caracteriza por presentar una cuidadosa revisión bibliográfica.

También admite artículos de las siguientes tipologías:

4. **Artículo corto.** Documento breve que presenta resultados originales preliminares o parciales de una investigación científica o tecnológica, que por lo general requieren una pronta difusión.
5. **Reporte de caso.** Documento que presenta los resultados de un estudio sobre una situación particular, con el fin de dar a conocer las experiencias técnicas y metodológicas consideradas en un caso específico.
6. **Revisión de tema.** Documento resultado de la revisión crítica de la bibliografía sobre un tema en particular.

Cabe destacar que se privilegian para la revista los tipos de artículos de los numerales 1, 2 y 3.

La revista circula trimestralmente y recibe sólo artículos inéditos. Los trabajos recibidos se someten al concepto de pares académicos y del Consejo Editorial.

## Requisitos para la publicación de artículos

Los artículos presentados a la revista deben remitirse por correo electrónico a [revista@escuelaing.edu.co](mailto:revista@escuelaing.edu.co), adjuntando los siguientes formatos debidamente diligenciados: autor.doc, clasificación.doc y tipo.doc, cuyos archivos se pueden descargar de <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>. En este mismo sitio está disponible la plantilla guía que contiene la estructura determinada por la revista para los artículos.

## Scope and policy

*Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería* disseminates technology articles helping to our country development. It emphasises on its high quality print and its scientific rigour. Articles submitted for publication shall be classified into one of the following categories— which allow it keeps its indexation:

1. **Scientific and technological research article.** These documents offer a detailed description about the original findings of research projects. In general, the usually used structure contains four important sections: introduction, methodology, results and conclusions.
2. **Reflection article.** These documents present the results of a research project on a specific, interpretative, or critical view by the author about a particular topic by using original sources.
3. **Review.** A document resulting from a finished research, where the published and/or unpublished findings of investigation in a particular field of science or technology are analysed, systematised and integrated to report the progress and the development tendencies. These documents include a careful bibliographic review.

*Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería* also accepts the following types of articles:

4. **Short article.** A brief text presenting the original, preliminary and/or partial results of a scientific or technological study, which normally need to be disseminated as quickly as possible.
5. **Case report.** A document that presents the results of a study on a specific situation in order to report the technical and methodological experiences considered in a particular case.
6. **Thematic review.** These documents are the product of a critical review of literature on a particular topic.

Our revista privilege articles as the highlight ones in numbers 1, 2 and 3.

*Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería* is a quarterly publication that only accepts unpublished articles. The revista submits all the papers to the verdict of two academic peers, who evaluate the article.

## Ruling for publication

The article must be sent by e-mail to [revista@escuelaing.edu.co](mailto:revista@escuelaing.edu.co) with 3 files attached: Author.doc, Classification.doc and Type.doc available in <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>. There is also a template guide for the structure of the article (template guide.doc).



**Confía en 4-72,**  
el servicio de envíos  
de Colombia

Línea de atención al cliente:  
**(57 - 1) 472 2000 en Bogotá**  
**01 8000 111 210 a nivel Nacional**

.....

[www.4-72.com.co](http://www.4-72.com.co)