

- **Coronavirus y desplome de la producción y el empleo.**
- **Algunas dificultades en la comprensión del concepto de espacio vectorial en estudiantes de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.**
- **Metodologías para la estimación de la huella de CO₂ en instituciones de educación superior: explorando un modelo para implementar en la Escuela.**
- **Las estatuas de ayer, hoy y mañana.**
- **Julio Garavito Armero: breve perfil de su vida y época en el contexto colombiano. Un doloroso episodio de nuestra historia: la Guerra de los Mil Días.**
- **Covid-19 en agua.**
- **Propuesta de diseño organizacional para una institución de educación superior.**

Abril - junio de 2020
ISSN 0121-5132
P.V.P. Colombia \$12.000.00



CONSEJO DIRECTIVO DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

PRESIDENTE RICARDO RINCÓN HERNÁNDEZ

VOCALES GERMÁN EDUARDO ACERO RIVEROS
SANDRA XIMENA CAMPAGNOLI MARTÍNEZ
ÁLVARO ANTONIO GONZÁLEZ FLÉTCHER
ARMANDO PALOMINO INFANTE
RICARDO QUINTANA SIGHINOLFI
ROBERTO RÍOS MARTÍNEZ
JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS
RICARDO SALAZAR FERRO
HENRY MORENO MOSQUERA
(representante de los profesores)
GINA NATHALIA LEÓN ACOSTA
(representante de los estudiantes)

RECTOR HÉCTOR ALFONSO RODRÍGUEZ DÍAZ

SECRETARIO RICARDO ALFREDO LÓPEZ CUALLA

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
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

Enseñanzas de la pandemia

Jairo Alberto Romero Rojas

7-24

Coronavirus y desplome de la producción y el empleo

Eduardo Sarmiento Palacio

Mientras las empresas no vean que el pico se aproxima y que no se van a dar posteriores confinamientos, no van a proceder a contratar trabajadores y a restaurar las plantas de producción.

25-42

Algunas dificultades en la comprensión del concepto de espacio vectorial en estudiantes de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

Juliana Serna Carrillo - Nora Yamile Rojas Cataño

En este artículo se presenta un estudio realizado con un grupo de catorce estudiantes de álgebra lineal de segundo semestre de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, con el cual se busca establecer si los estudiantes poseen los conocimientos previos que les permitan comprender la teoría sobre espacios vectoriales e identificar los posibles obstáculos que se presentan en el proceso de enseñanza-aprendizaje de éstos, así como de qué manera los textos utilizados influyen en dicho proceso.

43-52

Metodologías para la estimación de la huella de CO₂ en instituciones de educación superior: explorando un modelo para implementar en la Escuela

María Carolina Romero Pereira - Juan Sebastián Salazar Henao - Thomas Hoess

En este artículo se analiza cuál sería la mejor metodología para estimar la huella de CO₂ en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, con base en los supuestos de los propósitos de medición en esta institución de educación superior (IES).

53-57

Las estatuas de ayer, hoy y mañana

José Camilo Vásquez Caro

Cuando empecé a escribir este texto, veía a través de diversas fuentes (noticias, redes sociales, imágenes y textos) cómo en Popayán derribaban la estatua de Sebastián de Belalcázar y cómo se interpretaba este acontecimiento.

59-65

CONMEMORACIÓN CENTENARIA (1920-2020)

Julio Garavito Armero: breve perfil de su vida y época en el contexto colombiano. Un doloroso episodio de nuestra historia: la Guerra de los Mil Días

Gabriel Humberto Pulido Casas

La publicación de este artículo forma parte del conjunto de eventos con los cuales la Escuela Colombiana de Ingeniería se une a la conmemoración del centenario del fallecimiento de Julio Garavito Armero, ocurrido el 11 de marzo de 1920, y le rinde homenaje a su memoria.

67-72

Covid-19 en agua

Gladys Rocío González Leal

En el presente artículo se pretende dar a conocer si el covid-19 se transmite a través del agua residual y si su detección es útil para determinar su infectividad o capacidad de producir enfermedad, o si se puede usar como herramienta de vigilancia epidemiológica.

73-90

Propuesta de diseño organizacional para una institución de educación superior

Joan Paola Cruz González - Ricardo Salazar Ferro - Elba Martínez de Dueri - Vicente Albéniz Laclaustra - Jorge Enrique Bossa Silva

En este artículo se presenta una propuesta de diseño organizacional para una institución de educación superior (IES), desarrollada desde un enfoque cualitativo descriptivo que involucra los stakeholders de la IES del caso de estudio. La estructura permite integrar las funciones misionales de la IES, docencia, investigación y relación con el entorno, basándose en el conocimiento como elemento transformador de la sociedad.

91 / ALCANCE Y POLÍTICAS

Editorial

Enseñanzas de la pandemia

JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS

Profesor titular de la Escuela Colombiana de Ingeniería

jairo.romero@escuelaing.edu.co

A lo largo de esta cuarentena de casi un año a causa de la pandemia de la covid-19, hemos aprendido muchas cosas, entre las cuales se destacan las siguientes:

1. A no imponer políticas que atenten contra la economía familiar.
2. A no incrementar impuestos ni hacer descuentos de solidaridad que atentan contra la realidad económica.
3. A no crear desconfianza en la respuesta a los problemas de salud.
4. A no discriminar al ser humano por su edad ni por su condición física.
5. A no imponer miedo a vivir porque esto acaba con la paz y el bienestar personal.
6. A admitir que la prioridad básica del ser humano es tener salud, sobre todo en un mundo como el actual, lleno de impactantes tecnologías espaciales, de comunicación y de propaganda comercial.
7. A reconocer que tanto el respeto como el ejemplo son los pilares de la educación y de la convivencia ciudadana.
8. A no crear falsas prioridades, ante la carencia de recursos económicos.
9. A aceptar que la inversión en infraestructura y en servicios de atención en salud es prioritaria.
10. A reconocer nuestra incapacidad para visualizar el daño económico y de salud que la pandemia causará.
11. A admitir que lo principal es el trabajo que proporciona servicios y no solamente hacer discursos retóricos populistas.

12. A no seguir desconociendo irresponsablemente que los coronavirus son una familia de virus que se transmiten del animal al hombre.
13. A reconocer que en el mundo no se han creado todavía entidades especializadas, encargadas de estudiar pandemias de esta clase y establecer planes de contingencia para enfrentarlas con resultados exitosos.
14. A que es necesario mantener la búsqueda permanente de un efectivo control de las enfermedades comunicables, es decir, a trabajar sin descanso en el campo del saneamiento ambiental.

Antes de que se ordenara el cierre de los medios de transporte en Wuhan, se calculó que cerca de cinco millones de personas se habían ido de la ciudad por las vacaciones del Año Nuevo chino, poniendo en riesgo no sólo al resto del país, sino también al planeta entero.

Esta tragedia fue tan similar a la presentada en Chernóbil en cuanto a las decisiones equivocadas del gobierno local, la falta de transparencia, los errores cometidos a la hora de decir la verdad ante lo sucedido y poner el interés de la estabilidad política por encima de la seguridad de la ciudadanía, que muchos llamaron a lo ocurrido en Wuhan como el “Chernóbil de China”.

Por todo esto desilusiona, por decir lo menos, que hayan dejado salir el virus de Wuhan, pero lo que resulta inaceptable es aceptar que se le dejó salir de China para contaminar al mundo entero y causar la peor tragedia de este siglo.

Coronavirus y desplome de la producción y el empleo

Coronavirus and the fall of production and employment

EDUARDO SARMIENTO PALACIO

Director del Centro de Estudios Económicos de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

eduardo.sarmiento@escuelaing.edu.co

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista

CORONAVIRUS

1. Evidencia empírica

La reactivación y la reorganización administrativa no serán posibles sin una mayor claridad sobre la curva epidemiológica, y en particular, sobre la fecha del pico. Mientras las empresas no vean que el pico se aproxima y que no se van a dar posteriores confinamientos, no van a proceder a contratar trabajadores y a restaurar las plantas de producción.

En un principio se observó que el virus ha evolucionado dentro de las pandemias del siglo XX. La enfermedad aparece y aumenta en forma decreciente, alcanza el máximo y luego entra en un proceso de debilitamiento y disminución. El error grave de la región estuvo en las políticas adoptadas para aplanar la curva metodológica, con el fin de evitar el colapso de la salud y reducir los decesos. En el fondo, se pretendía modificar la relación de contagio dictada por la naturaleza y la ley probabilística, que establece que el grado de contaminación y la variación están inversamente relacionados, como ocurre en múltiples aspectos de la física, la química y la economía. El propósito se ha buscado por diferentes medios, y el más intenso estuvo en la cuarentena. El expediente bajó el grado de contagio del virus a cambio de reducir la tasa de crecimiento (tasa de contaminación). La ecuación matemática que representa y regula el virus se aplicó en forma inadecuada.

En el debate del coronavirus se culpaba a los matemáticos y a los economistas de entrometerse en áreas desconocidas. Se decía que el manejo debía dejarse a los epidemiólogos, que son quienes mejor conocen el proceso biológico; sin embargo, el comportamiento y las soluciones al virus están altamente relacionadas con las matemáticas y la economía. Es la típica materia que requiere un manejo y un enfoque interdisciplinario.

El comportamiento de los virus del siglo XX se puede representar en una curva que sube y, cuando llega a un pico, empieza a descender. La curva corresponde a múltiples aspectos físicos, químicos y económicos que cumplen con el adagio de que todo lo que sube baja.

En términos matemáticos, se puede representar en una ecuación matemática en que el grado está inversamente relacionado con la variación.

$$dx/dt = \theta x$$

Donde θ es la tasa creciente de contaminación, x es el nivel del virus y dx/dt es la variación.

La solución del sistema está dada por la ecuación $x = x_0 e^{\theta t}$.

En este punto aparece la discrepancia entre los epidemiólogos, como los del Imperial College London, que predicen que el virus crece indefinidamente y sólo se detiene cuando la mayoría de la población se contamina y genera la inmunidad para contenerla. Esta predicción

no tiene ninguna evidencia empírica. No pasa de ser una conjetura que puede causar daños inmensurables. Lo cierto es que fue la predicción científica que causó más pánico y condujo a las posiciones más radicales. Predecía que el virus generaría el contagio de 60 % de la población, lo que colapsaría el sistema hospitalario.

El error aritmético de la Facultad de Epidemiología del Imperial College está en suponer que la tasa de contagio θ es positiva y creciente. La predicción equivocada condujo a políticas desacertadas. El apocalipsis de que cada contagiado infecta a tres personas y produce un estado explosivo que se lleva a una parte notable de la población por delante causó pánico. El dilema entre la salud y la economía se inclinó en favor de la primera.

De acuerdo con la concepción de un grupo epidemiológico que tiene una línea contraria a la dominante y de científicos de distinta orientación, la ecuación está dada por un coeficiente descendiente de θ . El incremento del nivel de contaminación está acompañado de una reducción de la tasa de crecimiento hasta llegar al máximo grado y luego disminuye hasta desaparecer.

La solución de la ecuación diferencial establece que la tasa de contaminación θ determina el grado de contaminación x . El valor de θ no se conoce, pero existe una amplia evidencia empírica de que es decreciente, como sucede en la mayoría de los procesos de la naturaleza determinados por la misma expresión matemática. La misma evidencia empírica se observa en los virus dominantes del último siglo, que se puede representar en que el nivel sube y la pendiente disminuye. Los procesos exponenciales crecientes son la excepción.

En fin, la naturaleza y las matemáticas confirman que los virus están dados por una ecuación estable, en la que el grado y la variación están inversamente relacionados. El margen de discrecionalidad para afectarlo se limita a la tasa de contaminación, que no es fácil de controlar con medidas globales o improvisadas.

El aplanamiento con cuarentenas y protocolos orientados a bajar el grado de contaminación tornó irregular el sistema. La baja del nivel de contagio se consigue a cambio de elevar la tasa de crecimiento. La curva se mueve hacia la derecha (gráfico 1). El pico de la curva se desplaza hacia la derecha y la tasa de variación se incrementa. Si esta tasa supera la variación de θ el sistema se vuelve inestable. El grado y la variación aumentan en la misma dirección. El pico de la curva es indefinido e incierto.

El comportamiento se ilustra en el gráfico 1. La curva convencional se transforma en otra en la que el grado y la variación evolucionan en la misma dirección. El sistema pasa a ser determinado por una relación inestable. El nivel y la variación crecen indefinidamente. El pico de la curva se torna indefinido y los decesos resultan muy superiores a los de la curva original.

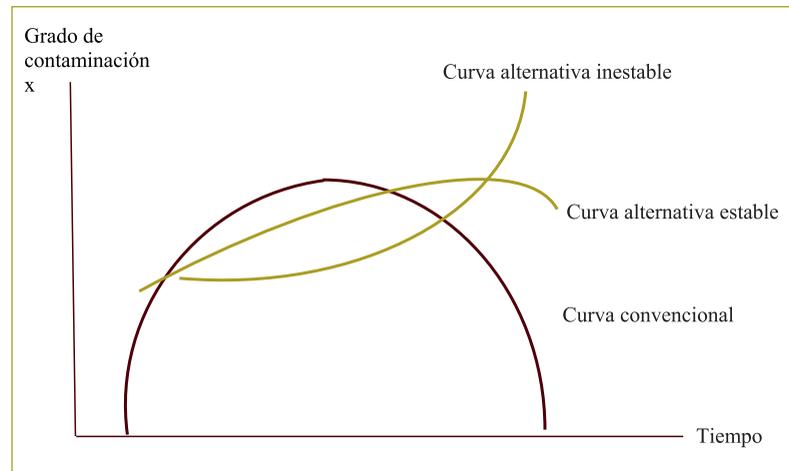


Gráfico 1

La verdad es que las cuarentenas y los protocolos aplicados en los países con bajo nivel de contaminación desatan un proceso irregular de elevación del grado y la variación de la pandemia. La participación de la población contaminada aumenta y no se sabe cuándo se puede detener. Por este camino de errores se configura un sistema artificial, en el que el contagio aumenta y abarca cada vez a una mayor parte de la población.

Es necesario advertir que la ecuación diferencial está representada por una variable causa que es la variación y una variable efecto que es el nivel. Las acciones para reducir el nivel tornan inestable el sistema. Se confirma que la relación sólo se puede controlar por medio de la tasa de crecimiento (tasa de contaminación).

En fin, la curva epidemiológica no puede aplicarse de cualquier manera. En la práctica, está regida por una relación matemática compleja. La moderación del proceso sólo se puede lograr en forma cierta por conducto de la tasa de contaminación mediante encuestas que separen los contaminados por procedimientos hospitalarios. De este modo, se logra reducir el grado del virus y, lo más importante, la tasa de contaminación.

Es claro que la ecuación diferencial no se aplicó adecuadamente. De acuerdo con la teoría de control y de matemáticas, la variable de control es la tasa de contaminación y la variable objetivo, el grado. Si la política se orienta a bajar el grado de contaminación, la tasa de crecimiento sube y surge una contradicción que desestabiliza el sistema. Como se muestra en la curva, el nivel de contaminación baja y la variación sube. El sistema se torna inestable. El país entra en un proceso de incremento en la tasa de contaminación que lo conduce al colapso.

Curiosamente, la ecuación diferencial del virus es igual a la que se empleó hace 40 años para enviar el cohete a la Luna. La distancia es x y la velocidad, dx/dt . La variable de control es la velocidad del cohete y la variable efecto es la distancia entre la Tierra y la Luna. El proceso llegó al final porque se controló mediante la velocidad del cohete. Si la regulación se hubiera hecho mediante la distancia, nunca se habría llegado a la Luna.

Las cosas evolucionaron bien al principio. Se partió de la evidencia científica del último siglo que muestra que los virus están dados por la ecuación diferencial en que el grado y la variación evolucionan en dirección contraria. La expresión se puede representar por la curva epidemiológica en que el flagelo se inicia en un momento y se dispara, luego aumenta con pendientes crecientes hasta alcanzar el máximo nivel y la pendiente cero, y finalmente desciende hasta desaparecer. Los países que han seguido esta línea han logrado alcanzar el pico de la curva y entrar en el descenso del número de contagiados. Los más sobresalientes son España e Italia, que son los mismos que llegaron a los niveles más altos de contaminación, y consiguieron detenerlos y reducirlos dentro de un plazo de un mes y medio. Se confirma la evidencia de un siglo que muestra que los virus aumentan en un momento, pero no tienen la fuerza para sostenerse.

2. Pánico

Sobre el apocalipsis que amenazaba al mundo y al país, tuve la oportunidad de advertir en varias columnas de prensa que el problema había quedado por cuenta del pánico. Alentados en el dilema de la salud y la economía, se abrió camino la solución de detener el virus a cualquier costo. El primer paso fue abandonar la curva epidemiológica, que había sido confirmada por

Sobre el apocalipsis que amenazaba al mundo y al país, tuve la oportunidad de advertir en varias columnas de prensa que el problema había quedado por cuenta del pánico. Alentados en el dilema de la salud y la economía, se abrió camino la solución de detener el virus a cualquier costo.

un siglo para evitar el colapso del sistema hospitalario y reducir el número de muertos. Sin ninguna evidencia científica, se abrió paso la propuesta de aplanar la curva epidemiológica.

Lamentablemente, los gobernantes procedieron a sustituir la curva que había sido confirmada de manera empírica durante un siglo, por una curva aplanada sin mayor evidencia empírica. Por lo demás, se dejó de lado el método científico. Los errores reiterados de proyección, como por ejemplo el mes en que se alcanza el pico de la curva, no condujeron a replantear la teoría ni las políticas; por el contrario, los errores de anticipación llevan a validar y acentuar las políticas que los causan. Los resultados fallidos se tratan de modificar haciendo lo mismo.

El resultado es dramático. El coronavirus sigue un proceso similar al de los virus observados en el siglo XX, los cuales son regidos por una ecuación diferencial en que el grado y la variación de la contaminación están inversamente relacionados y se pueden representar por una curva en que el grado de contaminación aumenta a tasas decrecientes, alcanza un máximo y luego pasa a decrecer. La trayectoria se puede impulsar por la naturaleza del mismo virus o por acciones bien concebidas de los gobiernos.

La solución de la ecuación diferencial muestra que el grado de contaminación es una variable efecto, en tanto que la variación es una variable causa. La reducción de la tasa de contaminación induce una disminución del crecimiento del grado de contaminación. El virus aparece, crece a tasas decrecientes, alcanza un máximo y luego se reduce hasta desaparecer. Estamos entonces ante un fenómeno conocido sistematizado que se puede contro-

lar dentro de plazos rápidos. Los países que siguieron la curva, incluso los de mayor contaminación, alcanzaron el pico antes de un mes y medio. De ninguna manera se trata de una epidemia incontrolable, que enferma a más de la mitad de la población y se lleva por delante al 2,4 % de ésta.

El error de América Latina estuvo en que siguió, sin beneficio de inventario, los procedimientos de Europa y Estados Unidos, sin advertir que su nivel estructural de contaminación era menor, y que sus condiciones y su discrecionalidad de manejo eran muy distintas por los altos índices de inequidad. El grave desacierto estuvo en el intento de aplanar la curva epidemiológica sin ninguna base científica. Pese a tener menores niveles de contaminación por factores de temperatura y condiciones iniciales, los países de la región terminaron con peores condiciones que Estados Unidos y Europa. Se invirtió la ecuación epidemiológica. Las acciones se orientaron a controlar las variables efecto. El mecanismo provoca una elevación del crecimiento de la contaminación que terminó en un proceso inestable que alejó el pico de la curva y aumentó el número de decesos (gráfico 1). De esta manera, la aplicación inadecuada de la ecuación epidemiológica terminó en periodos de duración de la pandemia más largos que en Europa. Mientras en Europa la duración del proceso entre la aparición de la pandemia y el pico de la curva fue de un mes y medio, los cuatro países de América Latina llevan cinco meses y todavía no se sabe cuándo se alcanzará.

Las cosas habrían sido muy distintas si se hubiera seguido la ecuación epidemiológica confirmada por la evidencia de siglos. La epidemia se habría podido superar con niveles muy inferiores de decesos y en periodos de tiempo mucho menores. Se incurrió en un serio

error científico. Una relación que se había confirmado gracias a la experiencia de los virus del último siglo y por procesos similares en otras áreas se sustituyó por un procedimiento que no tenía ninguna verificación científica.

3. Conclusiones

El gobierno se equivocó en materia grave. En virtud del decreto de emergencia social, montó una cuarentena para aplanar la curva epidemiológica que elevó en 30 veces el grado de contaminación medido en casos diarios y provocó la recesión y el desplome del empleo más grandes del siglo.

El error se incubó en el manejo inadecuado de la expresión matemática que rige el virus y puede representarse en la curva confirmada por las pandemias dominantes del último siglo. En aras de superar el pico para superar el colapso del sistema hospitalario y reducir el número de decesos, se procedió a bajar el nivel y subir el crecimiento del contagio. La enfermedad pasó a una curva en que el grado y la pendiente evolucionan en dirección contraria a otra que lo hace en la misma dirección.

La anterior ocurrió en Brasil, Perú, Chile y Colombia, países que iniciaron el proceso con grados de contaminación muy inferiores a los de Estados Unidos y Europa. En estas cuatro naciones de América Latina, la tasa de contaminación descendió en forma sistemática. Las cosas cambiaron drásticamente cuando los países adoptaron el aplanamiento de las curvas para evitar el colapso del sistema hospitalario y procedieron a materializarlo con cuarentenas y protocolos que ayudan a reducir la probabilidad de contagio. Como se muestra en la ecuación y la curva, el aplanamiento se consigue a cambio de aumentar el crecimiento, así como de incrementar el distanciamiento del pico y el número de decesos. Un virus que podía corregirse en un mes y medio se convirtió en una tragedia que lleva más de seis meses. El pico de la curva se alcanza a elevados niveles de contaminación de la población.

Uno de los grandes descubrimientos de las epidemias del siglo es que están regidas por una función exponencial decreciente. El virus aparece, alcanza el máximo y luego desciende hasta desaparecer; no tiene la fuerza para sostenerse. El mismo virus, con alguna acción bien concebida de los gobiernos, garantiza su desaparición.



El error de América Latina estuvo en que siguió, sin beneficio de inventario, los procedimientos de Europa y Estados Unidos, sin advertir que su nivel estructural de contaminación era menor, y que sus condiciones y su discrecionabilidad de manejo eran muy distintas por los altos índices de inequidad.

El fenómeno se observó en Estados Unidos y los países de Europa que experimentaron los niveles más altos de contaminación. Las condiciones resultaron distintas en América Latina, en particular en Brasil, Perú, Chile y Colombia. Simplemente, aplicaron en forma inadecuada la teoría descubierta en el último siglo y confirmada de manera científica. En términos concretos, como se muestra en la ecuación y en la curva, el aplanamiento de la curva se consigue a cambio de una elevación de la tasa de crecimiento, el distanciamiento del pico y la incertidumbre de los contagios y decesos. Se entra en un proceso anárquico e inestable.

Los responsables son los cuadros gubernamentales que aplican la política pública sin mayor experiencia, debate e información. El daño ha sido grande. La cuarentena, que se justificó como la solución radical a la epidemia, se convirtió en una tragedia que no resolvió el deterioro de la salud y precipitó la mayor recesión de producción y empleo del siglo. Los cuerpos asesores procedieron a bajar el grado de contaminación, sin advertir las limitaciones matemáticas del proceso ni las repercusiones económicas. La pandemia se trató de reducir a cualquier costo. Los hechos derrotaron al proceso. Se ha entrado en un estado de elevación sostenida de la tasa de crecimiento de los contagiados. El pico de la curva se aleja. La duración de la enfermedad lleva cinco meses y a estas alturas no se sabe qué sucederá al final.

LA CRISIS ECONÓMICA

4. El estado de la economía que viene de atrás

El mal desempeño de la economía proviene del modelo económico de bajo ahorro, déficit en cuenta corriente,

predominio de los recursos naturales y distanciamiento de la industria. Este modelo se ha mantenido durante tres décadas, con resultados muy inferiores a los 25 años anteriores. La economía no tiene mayor flexibilidad para mejorar la distribución del ingreso y para enfrentar caídas de la producción como la ocurrida con la covid-19 por errores en el manejo y aplicación de la cuarentena. La economía opera con exceso de demanda agregada (gasto) sobre la oferta agregada (producto nacional). El producto nacional aparente es determinado por el gasto estimado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), y la demanda de empleo crece por debajo de la oferta.

En cierta forma, las condiciones estructurales y los desaciertos para enfrentarlas han configurado una economía en la que la producción y el empleo crecen por debajo de su potencial y la distribución del ingreso se encuentra entre las más inequitativas del mundo. La solución sólo podrá lograrse a largo plazo, probablemente más de cinco años, para conformar una economía en que la producción y el gasto se emparejen, la producción y el empleo crezcan 5 y 3 % anual, respectivamente, y la distribución del ingreso mejore de manera sistemática.

El gobierno incurrió en dos graves errores: adoptó una estrategia de bajo ahorro, que reduce el crecimiento y acentúa el conflicto con la distribución del ingreso, a lo que se agregó una clara voluntad política de los gobernantes y líderes en favor de sus intereses individuales. Después de 30 años, los resultados están a la vista. El país está montado en un contexto macroeconómico insostenible de crecimiento de la demanda por encima de la producción nacional. La producción y el empleo crecen por debajo de cero. La diferencia tiene como secuela un creciente déficit de balanza de pagos, un cuantioso déficit fiscal —financiado parcialmente con emisión— y el disparo del desempleo. Los tres balances centrales se quebraron.

Luego del periodo 1967-1991, el de mayor progreso de la economía, Colombia adoptó el modelo del Consenso de Washington, dentro del más puro fundamentalismo de mercado. En primer lugar, se realizó una clásica apertura de baja de aranceles, eliminación de los subsidios a las exportaciones, tasa de cambio flexible y suspensión de las líneas especiales de crédito. En segundo término, se adoptó el banco central autónomo, en el cual la política monetaria se basa en las tasas de interés y el déficit fiscal financiado con títulos de ahorro. En

tercera instancia, los recursos de inversión se orientaron en forma prioritaria hacia las actividades intensivas en recursos naturales y se relegó la industria a un segundo plano. En cuarto lugar, el mercado laboral se dejó de lado como un ente independiente de la economía. Al final, emergió el modelo de déficit en cuenta corriente financiado con crédito externo.

El sistema gira en torno a teorías de libre comercio que predicen que los beneficios están sobre todo en la adquisición de los bienes a mejores precios en los mercados internacionales. Se esperaba que la especialización en las actividades de ventaja comparativa elevaría el ahorro y el crecimiento, reduciría el déficit en cuenta corriente y aumentaría la productividad del trabajo. En abierta contradicción con las teorías dominantes del comercio internacional, ocurrió todo lo contrario. La economía quedó abocada a una estructura de bajo ahorro, baja productividad del trabajo, déficit en cuenta corriente de la balanza de pagos y desempleo.

En cierta forma, la apertura económica borró los esfuerzos estructurales que el país hizo en el periodo 1967-1991. El crecimiento económico quedó a merced de las bonanzas de precios en bienes intensivos en recursos naturales, en particular la minería —con el petróleo a la cabeza—, y quedó expuesta a un serio conflicto con la distribución del ingreso. El bajo ahorro constituye una seria restricción para la construcción de un estado de bienestar con capacidad de hacer transferencias significativas a los sectores de menores ingresos.

El modelo de bajo ahorro con las características antes descritas entra en serias dificultades en los últimos cinco años por la caída de los precios del petróleo. La economía pasó a operar con un déficit registrado de la balanza de pagos del 5 % del PIB y otro no registrado del orden del 2 %.

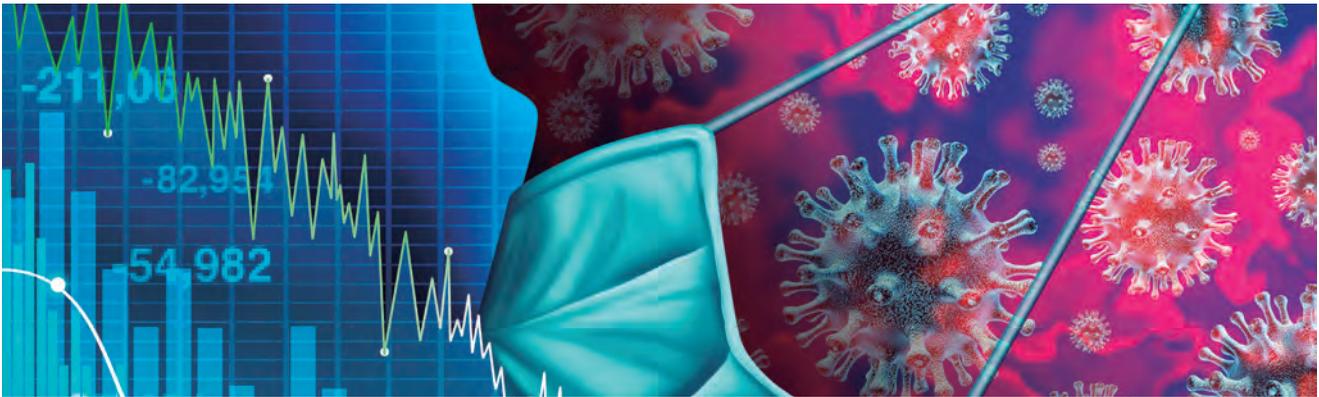
Posteriormente, los esfuerzos de la administración Duque-Carrasquilla para contrarrestar el déficit en cuenta corriente con la ampliación del endeudamiento dieron lugar a una estructura de gasto (demanda agregada) superior al producto interno bruto (PIB) (oferta agregada). El producto nacional se contrae y el empleo descende. El desempleo, definido como la diferencia entre la oferta y la demanda de trabajo, se desquició. La brecha entre la demanda agregada y la producción tiene como contraparte el desempleo, representado en la diferencia entre la oferta y demanda de empleo.

Como era totalmente previsible, la caída de la producción y el ahorro de la pandemia en una economía que adolecía de serias deficiencias de ahorro, abultado déficit en cuenta corriente y alto desempleo, hicieron aguas. La diferencia entre el gasto y el producto nacional se amplió y tuvo como contraparte el cuantioso aumento del desempleo. El crecimiento del producto y del empleo se desploma. En abril, el producto nacional descendió 20 % y el empleo bajó 27 %. Es posible que estos índices se aclaren en los próximos meses y terminen el año con caídas promedio de 10 y 15 %, respectivamente. Por lo demás, el déficit fiscal quebró la regla fiscal y alcanzará el 8,2 % del PIB.

En síntesis, estamos ante el colapso del modelo económico que se sostuvo contra viento y marea durante tres décadas. Lo grave es que la solución corre por cuenta de políticos y economistas que propiciaron y montaron el sistema y no están dispuestos a reconocer los errores. Las salidas a la crisis estructural de más de 30 años giran en torno a medidas de mercado que no tienen ninguna justificación científica, como sustituir el bajo ahorro y el cuantioso déficit en cuenta corriente por endeudamiento externo que nunca se paga. De mantenerse esta actitud, la economía se verá abocada a tasas de crecimiento cercanas a cero, elevado desempleo y deterioro ascendente de la distribución del ingreso. Si los gobiernos no acceden a introducir los ajustes dentro de un marco de consensos y acuerdos, la economía entrará en un severo deterioro que obligará a introducir los cambios por la vía del dictamen de los hechos.

5. Desequilibrio y distribución del ingreso

La característica sobresaliente de la economía en los últimos 30 años ha sido la baja tasa de ahorro y los déficits en cuenta corriente, conformados por la estructura económica basada en las actividades intensivas en recursos naturales y mano de obra de baja productividad, que se caracterizan por la baja demanda externa. La deficiencia se modera con el alza de los precios de los recursos naturales, en particular el petróleo, y las enormes diferencias de la distribución del ingreso. El conflicto entre el crecimiento y la equidad se resolvió por la vía de la inequidad, que se refleja en la política social, la regresividad fiscal, la baja productividad del trabajo y el elevado desempleo.



La solución del gobierno es incrementar el endeudamiento para sostener el gasto. La política contribuiría a elevar el gasto y no afectaría la producción y el empleo. A largo plazo, acentuaría el déficit en cuenta corriente y tendría como contraparte el aumento del desempleo.

El mejor medio que se tiene para corregir las deficiencias estructurales de la economía es el cambio de la estructura productiva hacia actividades de bienes de mayor complejidad, sustituir la prioridad de los recursos naturales por la industrialización y la expansión agrícola de bienes de demanda mundial —como los granos y la ganadería—, restituir el balance externo mediante la reducción del déficit en cuenta corriente y elevar el ahorro del capital por medio del freno a las salidas de capitales a los paraísos fiscales e inversiones ociosas en agricultura y activos urbanos.

La economía está expuesta a serias deficiencias estructurales en el comercio internacional, en el ahorro del capital, en el balance entre el ahorro y la inversión y en la composición sectorial, los cuales configuran un monumental conflicto con la distribución del ingreso. La armonización de los dos objetivos centrales de la economía, el crecimiento y la equidad, solamente se puede alcanzar con una abierta estrategia del Estado. Colombia, por el contrario, ha operado con un bajo ahorro y un cuantioso déficit en cuenta corriente, inducido por el libre comercio, que configuran un serio conflicto entre el crecimiento y la distribución del ingreso. El crecimiento y el ahorro se consiguen a cambio de las desigualdades. El país no tiene los medios para configurar una estructura fiscal en que reduzca el coeficiente de Gini después de impuestos, ni tampoco está en capacidad de conformar una estructura en que el empleo y la productividad del trabajo aumenten por encima del producto nacional.

El país adolece de dos grandes fallas: en primer lugar, la estructura productiva que viene de la apertura económica, la cual se caracteriza por el bajo ahorro, el cuantioso déficit en cuenta corriente y el elevado desempleo, y en segunda instancia, la política que busca resolver el conflicto a cambio de deteriorar la distribución del ingreso.

Una distribución del ingreso inequitativa hace que las crisis, como la pandemia, tengan una mayor disminución en el ahorro en los países en vías de desarrollo y, por lo tanto, mayores déficits fiscales; en Brasil, asciende a 16 % del PIB; en Chile, a 10 %, y en Perú, a 13 %. Por lo demás, existen serias presiones para sostener los apoyos por más tiempo y hacerlos permanentes, con el fin de reducir las desigualdades de riqueza e ingresos. El desajuste no podrá corregirse a corto plazo, como lo suponen las proyecciones optimistas. La verdad es que la reducción del ahorro ocasionada por la mala distribución del ingreso y la ineficacia de las políticas sociales lleva a ampliar los déficits fiscales.

La crisis tiene serias repercusiones a largo plazo porque disminuye la tasa de ahorro, al tiempo que incrementa el déficit fiscal y en cuenta corriente. La economía queda expuesta así a una mayor brecha entre el gasto y el producto nacional.

Los efectos de la pandemia en América Latina se verán agravados por la brecha entre el gasto y el ingreso nacional, al igual que por las necesidades de extender los subsidios y mejorar la distribución del ingreso. Por largo tiempo, la región operará con crecimiento del producto y el empleo por debajo de la tendencia y el deterioro de los indicadores de pobreza y de Gini de la distribución del ingreso.

La confinación es la medida económica de mayores traumatismos que se pueda imaginar. De entrada, quiebra el vínculo entre el empleo y el ingreso. La suspensión del trabajo merma el ingreso, que a su turno disminuye el empleo y no tiene cuándo terminar.

6. El confinamiento

Ante el pánico y el desconocimiento de causa, el gobierno acudió a la emergencia económica para enfrentar el agravamiento de la epidemia. La economía pasa a ser regulada por los comités oficiales de epidemiología. Sin razones claras, se dictamina el confinamiento total en el país. En la exposición de motivos, la determinación se justifica como una forma de aplanar la curva de contaminación, pero no se entra en detalles sobre el diagnóstico, los alcances de la enfermedad y las secuelas sobre la economía.

La confinación es la medida económica de mayores traumatismos que se pueda imaginar. De entrada, quiebra el vínculo entre el empleo y el ingreso. La suspensión del trabajo merma el ingreso, que a su turno disminuye el empleo y no tiene cuándo terminar.

En términos macroeconómicos, la reducción del producto nacional, o si se quiere, el ingreso nacional, baja el ahorro. El producto nacional resulta menor que el gasto (el ahorro es menor que la inversión menos el déficit en cuenta corriente). Ahora, el desajuste no se corrige con las políticas monetarias y fiscales tradicionales. La tasa de interés no baja porque la tasa de interés externa es cero y el gobierno no tiene recursos de ahorro para financiar el déficit fiscal. La única forma de mantener el bache entre el gasto y el ingreso nacional es con la emisión, ya sea en forma directa o por procedimientos ocultos del endeudamiento externo. Sin embargo, la operación no tendría ningún efecto sobre el deterioro en el mercado laboral. El gasto crecería por encima de la producción. El exceso de demanda sobre la oferta de bienes tendría como contraparte un exceso de oferta sobre la demanda de trabajo.

La modalidad no es nueva, pues se aplicó en el programa de reactivación de Carrasquilla en la primera parte de la administración Duque. El gasto creció por encima de la producción. Dicho en otros términos, la demanda creció más que la oferta de bienes y tuvo como contraparte un exceso de oferta sobre la demanda del empleo. Por eso, el producto nacional creció más que el crecimiento de la productividad del trabajo más el crecimiento del empleo. La primera creció entre 3 y 3,5 %, y la segunda, cerca de cero.

El endeudamiento y la emisión se orientaron para mantener un crecimiento del gasto por encima del crecimiento de la producción, y tuvo como contraparte el incremento de la oferta de trabajo por encima de la demanda.

No se ha entendido la macroeconomía de desequilibrio. En las concepciones de equilibrio se considera que el ingreso (el producto nacional) es igual al gasto, definido como la suma de la inversión menos el déficit en cuenta corriente. En un mundo de oferta igual a la demanda de dinero, como lo proclama la Universidad de Chicago y en general la ortodoxia, la igualdad se cumple en forma impecable. Las cosas son muy distintas cuando la oferta de dinero es mayor que la demanda. En ese caso, la inversión menos el déficit en cuenta corriente es mayor que el ahorro. La demanda agregada de bienes y servicios es mayor que la oferta, y tiene como contraparte un exceso de oferta sobre la demanda de trabajo.

El confinamiento es la medida más inequitativa y recesiva que se puede adoptar. El dispositivo provoca una caída drástica de la producción, el empleo y el gasto. La producción se lleva consigo el ahorro. El balance macroeconómico entre el ahorro y la inversión, o en otras palabras, entre el ingreso nacional y el gasto, se quiebra. La producción y el ahorro disminuyen. El producto nacional se reduce en relación con el gasto y la diferencia sólo se puede mantener con la ampliación del dinero o el endeudamiento externo, pero no evita la caída del producto nacional y el empleo. Así las cosas, el mecanismo provoca una fuerte caída del empleo y la producción. La financiación aumenta la demanda agregada, pero no afecta la producción y el empleo. La economía crece en la demanda agregada y disminuye en la producción y el empleo.

El financiamiento, ya sea de emisión o de otro tipo, incrementa el gasto, pero no crea la producción y el empleo. Por eso, en la mayoría de los países el confi-

namiento provocó una mayor caída del empleo que de la producción.

La evidencia anterior explica por qué el impacto del confinamiento es mayor en los países en vías de desarrollo que funcionan con menores niveles de ahorro y mayores déficits en cuenta corriente. En estos países, la secuela cae sobre el ahorro y la producción, que arrasan con la inversión; en cambio, en los países desarrollados recae en el ahorro sobrante, que no afecta mayormente la inversión y en el déficit en cuenta corriente.

La verdad es que los países desarrollados operaban con excesos de ahorro que mantenían el crecimiento por debajo del potencial. En términos simples, estaban en capacidad de derrochar el ahorro; en cambio, en los países en desarrollo la reducción del ahorro se llevó consigo la producción y el empleo. Los países de América Latina que funcionan con deficiencias de ahorro no se pueden dar semejantes excentricidades sin arrasar con el empleo.

Las medidas de confinamiento que disminuyen en mayor proporción la oferta que la demanda recaen en mayor medida en los países en desarrollo, y se manifiestan tanto en los índices de crecimiento como en la distribución del ingreso. Esta es una nueva prueba de que las dos principales variables de la economía están en abierto conflicto.

7. El choque estructural

En la práctica, se ha buscado subsanar el desajuste con el aumento de la emisión monetaria en forma directa o mediante la conversión del endeudamiento externo por procedimientos ocultos. Lo cierto es que el gasto se mantiene por encima del producto nacional, o en otros términos, la demanda agregada se mantiene por encima de la oferta. En el mercado laboral, la demanda de empleo es determinada por la producción (la oferta agregada). El empleo crece muy por debajo de la demanda agregada calculada por el DANE.

Esto fue, precisamente, lo que pretendieron hacer el presidente Duque y su ministro de Hacienda, Alberto Carrasquilla, en la primera parte de la administración. La demanda agregada se incrementó gracias a las argucias para elevar la inversión e ignorar el déficit en cuenta corriente. De esa manera, el consumo aparece creciendo 2,5 % por encima del producto nacional, impulsado por el endeudamiento externo y por la entrada oculta

de divisas. El gasto empujado por el endeudamiento crece por encima del producto nacional. En el fondo, la reactivación es un truco para aumentar la demanda agregada por encima de la oferta, lo que en la práctica se consigue incrementando la inversión y el consumo por encima del producto nacional.

El programa de reactivación de la administración Duque-Carrasquilla fue una forma para aumentar la demanda agregada. La tarea se realizó con la movilización del crédito externo y la emisión para lograr que el consumo, en particular, y la inversión crecieran por encima del producto nacional. La demanda agregada calculada por el DANE crece 3,2 % en el 2019. Por su parte, la oferta agregada en términos de la productividad del trabajo y el empleo crece cerca de cero.

En cierta manera, la economía se impulsa aumentando el gasto por encima del producto interno bruto. Como el crecimiento es determinado por la productividad del trabajo y por el crecimiento del empleo, avanza muy por debajo del gasto impulsado por el mercado interno.

Ahora se utiliza la misma operación para justificar la cuarentena. La producción y el empleo se buscan sustituir por un mayor endeudamiento que adquiere forma de emisión monetaria. En el fondo, es la multiplicación de los panes. La caída de la producción y el empleo se reemplaza por la emisión monetaria. El incremento de la demanda, o del gasto, si se quiere, no tiene una respuesta en la producción y el empleo. Tan sólo aumenta el cálculo del DANE de la demanda agregada.

Así, en las economías con exceso de demanda sobre la oferta inducida por la emisión monetaria y el endeudamiento, la reducción de la producción y el empleo no tienen ningún efecto sobre la demanda agregada. El gasto queda inmune. La política no tiene ningún efecto sobre la demanda agregada medida por los departamentos de estadística.

Las cosas son distintas por el lado de la oferta. La merma de la producción y la disminución del empleo disparan las tasas de desempleo y bajan los ingresos de los trabajadores. La brecha entre la oferta y la demanda se amplía. La demanda se mantiene con la emisión y la oferta se reduce. La estructura no es sostenible. La demanda agregada termina igualando la oferta.

En fin, el esquema de suspender la producción y el empleo no se compensó con el aumento de la emisión monetaria. No se evitó el desplome del empleo y, por

el contrario, se disparó el desempleo. La realidad es al revés. A largo plazo, la caída de la producción y el empleo terminará contrayendo la demanda agregada.

Lo que queda en claro es que el control o la causa de la economía pasó a estar en el empleo. No existe otra variable que tenga más influencia en la oferta. Es posible que en la medida en que se modere la pandemia, los empleos regresen a las empresas, pero lenta y gradualmente. Por lo demás, los incentivos de la pandemia llevan a las empresas a no comprometerse con más trabajadores. La recuperación del empleo tenderá a evolucionar lentamente. Lo que se interpreta como un fenómeno pasajero que se contrarresta con emisión monetaria resulta falso por completo en un mundo de demanda por encima de la oferta.

La solución a la nueva forma de crisis se busca dentro del marco de las economías que operan con exceso de demanda, sin suficiente conocimiento de causa. La producción y la actividad se impulsan con aumentos en la demanda agregada que corresponden al cálculo del producto nacional realizado por los departamentos de estadística. Por lo demás, las economías no pueden incrementar el crecimiento económico con determinaciones que aumentan el endeudamiento y la emisión monetaria. El exceso de oferta sobre la demanda de dinero da lugar a un exceso de gasto sobre el producto nacional y al incremento del desempleo.

En el caso de las cuarentenas por la covid-19, se llegó a esperar que la caída de la producción y el empleo se podrían compensar con la ampliación del crédito externo o la emisión monetaria directa. La idea fracasa porque los estados de exceso de demanda agregada no son sostenibles. Los esfuerzos para subir la demanda agregada son contrarrestados por fuerzas de distinta naturaleza que tienden a retornarla a la posición original. Los incrementos del endeudamiento para contrarrestar la caída del producto nacional causada por el confinamiento se contrarrestan con el aumento del déficit en cuenta corriente.

Fue lo que ocurrió con la estrategia de Duque-Carrasquilla. El incremento de la demanda agregada para reactivar la economía se contrarrestó con el déficit en cuenta corriente y la adquisición de los bienes transables en el exterior. Como el empleo es determinado por la producción, el exceso de demanda agregada tiene como contraparte un exceso de oferta sobre la demanda del empleo. En la práctica, se torna en el mecanismo más

aterrador para reducir la participación del trabajo en el producto y la ampliación de la desigualdad de los ingresos.

La operación de las economías con exceso de demanda le abrió camino a la audacia de sustituir el bajo ahorro interno, que es el principal determinante del crecimiento económico, por endeudamiento contratado a tasas de interés inferiores al crecimiento, o simplemente que no se pagan. Pues bien, el endeudamiento aumentó la demanda agregada, el gasto, y no alteró la producción y el empleo. El bache aparece claro en las cifras disponibles. En 2019, la demanda agregada medida por el DANE creció 3,2 % y la oferta estimada como el crecimiento de la productividad del trabajo y el crecimiento del empleo avanzó cerca de cero.

La pregunta inmediata es qué se puede hacer en una economía que opera con exceso de demanda para compatibilizarla con la oferta. Tal es el estado actual del confinamiento que contrajo la producción y el empleo. Todo lo que se haga por el lado de la demanda resulta inefectivo. El incremento del endeudamiento se convierte, a la larga, en un mayor déficit en cuenta corriente que reduce el empleo. No hay muchas otras opciones que la aplicación de políticas de oferta para agilizar la contratación directa de trabajadores que contribuyan a la producción futura.

8. Política macroeconómica inefectiva

La ciencia económica da por hecho la presencia de fuerzas incontrolables que mantienen el balance interno entre el ahorro y la inversión. La función de la política es mantener el balance entre el déficit en cuenta corriente y el endeudamiento externo. Su problema gira en torno a la tasa de cambio y el acceso a la banca internacional. No obstante, los hechos se han encargado de demostrar que el balance interno no se puede alcanzar con grandes desequilibrios de la balanza de pagos; no son independientes. Así mismo, se observa que las autoridades económicas no están en capacidad de establecer por periodos indefinidos el gasto por encima del producto, con propósitos contables o políticos. En cualquier caso, el resultado artificial se consigue a cambio de ampliar la brecha con el producto nacional e incrementar el desempleo. Las acciones para aumentar el gasto (demanda agregada), en condiciones de exceso de demanda sobre la oferta, no tienen ninguna incidencia sobre la producción y el empleo.

La cuarentena acentúa la caída del ahorro que venía de atrás por la ineficiencia del modelo económico y la caída de los precios del petróleo. La economía pasó a operar con un mayor exceso de demanda con respecto a la producción. La diferencia se trata de mantener con un aumento del gasto público, orientado a moderar el impacto hacia los sectores más vulnerables y financiado con emisión. Sin embargo, la política no evitó la caída del producto nacional. En el presente año (2020), el déficit fiscal ascenderá a 8,3 % del PIB y el producto estimado por la demanda descenderá 10 %, pero no tuvo ningún efecto sobre la oferta. El empleo descenderá 15 %.

Es claro que la política oficial se ha limitado a impulsar la demanda agregada. El plan fiscal a mediano plazo se orienta a elevar el gasto, que es lo mismo que elevar la demanda agregada, con un déficit fiscal de 8,2 % en 2020. Ni siquiera se hace referencia en forma explícita a los estímulos a la producción y el empleo. No se advierte que en condiciones de exceso de demanda sobre la oferta agregada las acciones de demanda son inefectivas para alterar la producción y el empleo. Los resultados están a la vista. La política fiscal de déficit más grande de la historia registrada en el país no le hizo mella a la producción y no evitó el cuantioso desplome de la demanda. Se confirma que la política fiscal no era más que un juego para aumentar la demanda agregada, con miras a mejorar las cifras de gestión de la política fiscal.

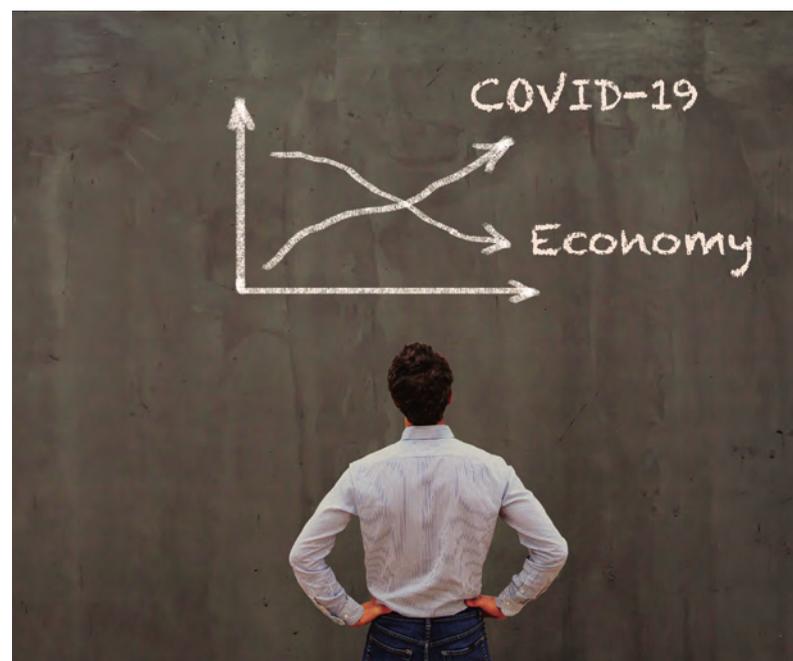
Las condiciones no se superarán en el año 2021. En el Marco Fiscal de Mediano Plazo (MFMP) se supone que las condiciones que llevaron a deprimir el ahorro en el 2020 desaparecerán. No es tan cierto. El ahorro se verá reducido por la caída del producto nacional del año anterior, por la extensión de las ayudas a los sectores más vulnerables y por las necesidades para mejorar las instituciones sociales y contrarrestar los daños en la distribución del ingreso y en el empleo. La ración se repite. De nuevo se requiere ampliar el gasto público para sostener la demanda.

No sobra repetir que la cuarentena suspendió el empleo y la producción, que de inmediato redujeron la tasa de ahorro. La demanda pasó a ser mayor que la producción y se sostiene con gasto público financiado con emisión; oferta de dinero por encima de la demanda. A mediano plazo, el exceso de oferta de dinero tiende a diluirse y convertirse con mayor déficit en cuenta corriente. El gasto público financiado con

emisión tiene que repetirse para sostener la demanda. Simplemente, la reducción del ahorro que se presentó en 2020 tiende a trasladarse en forma parcial al 2021. No se trata de un efecto por una sola vez. Parte del remedio se repetirá. De nuevo, el déficit fiscal aumenta y tiene que cubrirse con emisiones. La economía entra en un proceso creciente de incremento del déficit fiscal y en cuenta corriente, y de aumento del desempleo.

Lo que se plantea es pasar a superávit de la balanza de pagos. De esa manera se eleva el gasto, al tiempo que se incrementan la producción y el ahorro. El cambio de régimen comercial aumentaría tanto la demanda como la producción y el empleo.

El proceso es simple. La caída del ahorro y de la producción tiende a contrarrestarse con el incremento del déficit fiscal financiado con emisión. La situación no es sostenible; el exceso de emisión tiende a convertirse en mayor déficit en cuenta corriente y desempleo. La demanda se mantiene en forma artificial por encima de la oferta. Lo que se requiere, más bien, es una política que impida la caída de la producción y la demanda. La tarea se puede hacer con un cambio de la estructura de comercio internacional hacia actividades de más complejidad y demanda, y más productividad del trabajo, mediante el fortalecimiento de la producción nacional. De ese modo, se mantendrían tanto la producción como el gasto. El balance interno no se corregiría con emisión sino con producción y empleo.



En el 2021, el plan fiscal repite el error. En dicho plan se contempla un déficit fiscal de 5,1 % del PIB, que probablemente se procederá a incrementarlo. Al mismo tiempo, se plantea un programa de privatizaciones para incrementar los ingresos del gobierno en 1 % del PIB, que es claramente insuficiente. La verdad es que el gobierno no dispone de recursos de emisión para sostener la demanda agregada. Se repite parte de la historia del presente año. La producción y el empleo continuarán en caída, y la demanda agregada no compensará la caída del año anterior.

La nueva ortodoxia plantea un modelo que quiebra el balance interno con el desbalance externo entre importaciones, exportaciones y crédito externo. Los resultados de la fórmula fueron muy distintos de los previstos en los tanques de pensamiento y los organismos internacionales. El impacto de la cuarentena no se compensó con las políticas fiscales y los déficits en cuenta corriente. Los cuantiosos déficits fiscales no afectaron la producción y el empleo; apenas morigeraron la caída de la demanda agregada. El intento de resolver la crisis con la quiebra del balance interno resultó totalmente irregular. Se fundamenta en la idea peregrina de la reactivación económica con déficits fiscales financiados con emisión, que por lo demás se convierten, a mediano plazo, en déficits en cuenta corriente. El sistema conduce a un estado de déficits fiscales y desempleo insostenibles. La economía se mantiene en estado de desbalance interno.

Las cosas serían diferentes dentro de un marco de protección comercial que se orienta a conformar una estructura externa superavitaria. La economía experimentaría una fuerte expansión de la producción y el empleo, una reducción del déficit en cuenta corriente y una recuperación del balance interno de la economía.

El error de la cuarentena es que se fundamentó en una teoría económica equivocada. Ni más ni menos, se basó en el quiebre de la igualdad macroeconómica entre la producción y el gasto. El incremento del gasto, impulsado por el endeudamiento externo y la emisión, contrarresta la caída del empleo y la producción, ocasionada por la suspensión administrativa de la producción y el empleo, valga la redundancia. La realidad es distinta. El aumento del gasto no les hace mella a la producción y el empleo, y configura un estado de ampliación del déficit fiscal, déficit en cuenta corriente y desempleo, que no son sostenibles. La opción es el cambio del modelo: el déficit en cuenta corriente financiado con crédito

externo, por un modelo de superávit de la balanza de pagos y balance interno.

9. Cambio de modelo

Las repercusiones de la cuarentena, las restricciones y los protocolos sobre la economía no se han estudiado adecuadamente. En Colombia, las soluciones giran en torno de decisiones que trasladan los poderes al gobierno. En las exposiciones de motivos de las emergencias económicas no se cuantifican y proyectan las repercusiones, ni se profundiza sobre las formas de regularlas, y no existe mayor control político y debate. Por lo demás, no se ha entendido que los efectos de las medidas son muy diferentes de los observados en los países desarrollados. Así, el impacto de la cuarentena sobre el déficit fiscal, el déficit de balanza de pagos y el desempleo, que constituyen los principales indicadores de estabilidad, varía notablemente entre los países. En general, se encuentra que las alteraciones de los tres indicadores son mucho mayores en Colombia que en Europa, Estados Unidos y el Sureste Asiático.

Los países desarrollados operan dentro de comportamientos e instituciones que permiten absorber más fácilmente los choques. De este modo, la cuarentena no afecta la estructura económica. Las caídas del crecimiento económico, la balanza de pagos y el déficit fiscal se dan por una sola vez y se corrigen rápidamente; en contraste, en los países en desarrollo causan daños estructurales en la balanza de pagos, el déficit fiscal y el desempleo, que tienden a mantenerse por el bajo ahorro. Las economías experimentan caídas en el ahorro, deterioro de la balanza de pagos y empleo, que se convierten en permanentes por la inequitativa distribución del ingreso y las deficiencias institucionales de la política social.

Las repercusiones de la cuarentena, las restricciones y los protocolos sobre la economía no se han estudiado adecuadamente. En Colombia, las soluciones giran en torno de decisiones que trasladan los poderes al gobierno.

La verdad es que Colombia está expuesta a rupturas mucho mayores que en los países desarrollados e incluso que otras economías de América Latina. La explicación está en el modelo que viene de atrás y en las enormes inequidades. En el presente año se experimentarán caídas en los crecimientos de la producción y el empleo cercanas a 10 % y 15 %, y en los próximos años se repetirán en tasas cero o decrecientes.

La confluencia del modelo de déficit en cuenta corriente financiado con crédito externo y la reducción del ahorro causado por la cuarentena de la covid-19 colapsó la economía. Se quebró el balance interno entre el producto nacional y el gasto. El país quedó expuesto a déficit en cuenta corriente, déficit fiscal y desempleo insostenibles. Los hechos terminarían imponiendo lo que los dirigentes y políticos se negaron a corregir durante 30 años.

De ninguna manera, se trata de un panorama que se pueda enfrentar con endeudamiento externo nacional e internacional. Lo que se plantea es un cambio en el modelo de apertura mediante la intervención en el tipo de cambio, elevación de los aranceles, subsidios a la exportación y el empleo para conformar una estructura comercial compleja de alta productividad del trabajo. La fórmula elevaría el ahorro, reduciría el déficit en cuenta corriente e incrementaría el empleo. Se restituiría el balance interno entre la producción y el gasto. En un año y medio se recuperarían las tasas de crecimiento históricas del producto y el empleo.

El país mantuvo durante tres décadas el modelo de déficit en cuenta corriente financiado con crédito externo que terminó en bajo crecimiento del producto y el empleo y ampliación de las desigualdades. Sin duda, el país está abocado a un cambio del modelo económico que, por diferentes razones, el gobierno no está en capacidad de realizar en forma aislada. La solución debe provenir de un amplio debate nacional, con participación de los diversos estamentos políticos, académicos y gremiales.

La falla reiterada de la gestión macroeconómica reside en el intento de conciliar los dos balances con la sola política de déficit fiscal. El buen propósito no es posible sin algún tipo de intervención en la organización comercial y cambiaria.

10. Desempleo y retroceso económico

Las cifras de abril y mayo revelan una crisis en el mercado laboral inimaginada. En abril, mayo y junio

se registran caídas del empleo cercanas a 22 % con respecto al año anterior. Si se agregan los trabajadores inactivos, que han dejado de buscar empleo porque no lo encuentran, resulta que el país perdió siete millones de empleos en el último año. Sin duda, estamos ante una emergencia humana que no ha recibido el tratamiento debido por parte del gobierno. De ninguna manera se trata de un fenómeno casuístico, que apareció en forma intempestiva.

El drama del empleo se gestó en el modelo de apertura de déficit de balanza de pagos financiado con crédito externo. La reforma no solamente propició que los productos se adquirieran en condiciones más favorables en el exterior, sino que permitió que los pagos se hicieran cada vez más con crédito externo.

La economía ha operado con bajos niveles de ahorro y elevado déficit en cuenta corriente que resultan en el quiebre del balance interno entre la producción y el gasto, o en otras palabras, entre oferta y demanda agregada; aún más dicente, su contraparte es un exceso de oferta sobre la demanda de empleo, que no es otra cosa que el desempleo. En el presente año, la caída del empleo estará acompañada de una caída de 10 % del producto nacional estimada por el DANE y de los índices de los principales sectores de la economía.

Este comportamiento constituye una fuerte crítica a las formulaciones convencionales del libro de texto, según las cuales el empleo se trata independientemente de la economía, y más concretamente, de la producción. Lo que estamos viendo es que el comportamiento del empleo va de la mano de la economía y la producción.

El proceso se acentuó en los últimos cinco años por la caída de los precios del petróleo, el fracaso de la política de reactivación de Carrasquilla —orientada a elevar el consumo por encima de la producción— y ahora por la covid-19. La economía pasó a operar con un desbalance interno creciente. Aún más dicente, tiene como contraparte un exceso de oferta sobre la demanda de empleo, que es la descripción más clara del desempleo. Así, el aumento del desempleo entre el 2015 y la fecha está claramente relacionado con la ampliación del déficit en cuenta corriente.

¿Qué más se quería? El desplome no es un fenómeno intempestivo. Revela que la economía venía mal de tiempo atrás y que no se tomaron las precauciones debidas con la cuarentena. Los desplomes de la producción y el empleo son los mayores del mundo.

El manejo de la cuarentena es punto aparte. La medida provocó la suspensión del empleo y de la producción, que amplió en forma desorbitada el desbalance interno. El desajuste se intentó rectificar con un déficit fiscal de 8,2 % del producto nacional, financiado en parte con emisión. Lamentablemente, la política no tuvo mayor efecto sobre la producción y el empleo. En el 2020, la producción caerá 10 % y el empleo, 15 %.

Las condiciones no cambiarán en el próximo año. Las reducciones en el ahorro durante el presente año se trasladarán por la prolongación de las ayudas, así como por las necesidades de los sectores más vulnerables para compensar el deterioro de la distribución del ingreso y el empleo. La política fiscal no evitará la caída de la producción y el empleo; apenas morigerará la caída de la demanda. Lo cierto es que la recuperación de la producción y el empleo no logrará compensar la caída del presente año. El elevado desempleo tenderá a sostenerse.



La covid-19, en cierta forma, ha venido a acentuar las deficiencias del modelo económico dominante. La política fiscal mejora la distribución del ingreso a cambio de reducir el ahorro, el crecimiento económico y el empleo. La conciliación de los dos propósitos no es posible mientras persista el desbalance interno.

Los efectos estructurales originados por la caída de los precios del petróleo, la ampliación de la política fiscal y el coronavirus, que adquieren la forma de desbalance interno, se intentan remover con el déficit fiscal financiado con emisión y el déficit en cuenta corriente cubierto con deuda externa. El expediente no afecta la producción y el empleo; apenas morigerará la caída de la demanda agregada. La solución es ineficiente. La producción y el empleo evolucionan por debajo de su potencial. A mediano plazo, el exceso de oferta sobre

la demanda tiende a convertirse en un déficit en cuenta corriente. Se configura un estado de déficit fiscal y de déficit en cuenta corriente crecientes.

La cuarentena es un error más inducido por las imperfecciones del modelo económico y el desbalance interno. Los daños estructurales que resultan de múltiples aspectos y se manifiestan en una reducción del ahorro interno y una ampliación del déficit en cuenta corriente se tratan de superar con el aumento del gasto público financiado con emisión y déficit en cuenta corriente con crédito externo. La criatura resultó en un modelo de bajo crecimiento de la producción y el empleo, así como en el deterioro de la distribución del ingreso por la vía del gasto social, la baja de los ingresos del trabajo y el desempleo.

De cierta manera, la deficiencia de ahorro ocasionada por el modelo económico y las deficiencias estructurales conformaron un sistema de desbalance interno. La política fiscal no aumenta la producción y el empleo; apenas morigerará la caída de la demanda agregada. La solución es ineficiente. Tanto la producción como el empleo crecen por debajo de su potencial, en tanto que la distribución del ingreso retrocede por la baja cobertura de la política social y la reducción de los ingresos del trabajo. El elevado desempleo es la consecuencia tanto del modelo como del manejo macroeconómico, que pretenden contrarrestar el desbalance interno con déficits fiscales.

La solución no puede ser otra que la suspensión del desbalance interno. El propósito se podría conseguir con un cambio en la estructura de comercio internacional y la composición industrial, y con una política macroeconómica orientada a conformar un superávit de balanza de pagos. La fórmula aumentaría el ingreso, elevaría el ahorro, reduciría el déficit en cuenta corriente y pasaría a operar con un balance interno. El desempleo desaparecería gradualmente por la exclusión de materia.

La covid-19 ha venido a confirmar, en cierta manera, las deficiencias del modelo económico dominante. La economía funciona dentro de un abierto conflicto entre el crecimiento económico y la distribución del ingreso, que se resuelve en favor del primero. Así, la orientación de la política fiscal se inclina a operar con el desbalance interno y un déficit en cuenta corriente financiado con crédito externo y emisión monetaria. La caída de los precios del petróleo configura un desbalance interno que se lleva por delante la inversión y el empleo, y

luego se acentúa con las transferencias para sostener el consumo y mejorar la distribución del ingreso.

En síntesis, el déficit en cuenta corriente financiado con crédito externo y el déficit fiscal financiado con emisión no afectan la producción y el empleo; apenas morigeran la caída de la demanda agregada. Por lo demás, no es sostenible. Termina en un estado de déficit fiscal, déficit en cuenta corriente y desempleo creciente.

El desbalance interno acentúa el conflicto entre la distribución del ingreso y el crecimiento. La política fiscal eleva el ingreso de los más vulnerables, a cambio de aumentar el desempleo y ampliar la brecha entre el consumo y los ingresos del trabajo. Lo mismo se puede decir de las políticas de crecimiento que deterioran la distribución del ingreso. La conciliación de los dos objetivos está condicionada a la reducción del desbalance interno.

El modelo de ventaja comparativa y el desbalance interno son los responsables del mal funcionamiento del modelo de libre mercado. Se presumía que la competencia conducía a los mayores beneficios en crecimiento económico y neutralidad en la distribución del ingreso. Se esperaba que las estructuras de comercio internacional se mantuvieran inmodificadas y que los beneficios de intercambio superaran los de la estructura. Igualmente, se daba por hecho que la tasa de interés, o en su defecto la política fiscal, mantendría la igualdad entre el gasto y el producto nacional dentro de las directrices del modelo IS-LM. Así, la economía tendía a un estado de máxima producción y neutralidad en la distribución del ingreso. La realidad es totalmente distinta en los países que tienen déficit de la balanza de pagos y discrepancia entre el producto nacional y el gasto. En tal caso, el mercado no propicia el crecimiento y deteriora la distribución del ingreso.

El modelo de apertura con déficit fiscal financiado con crédito externo es la estructura económica más inequitativa que se pueda imaginar. El efecto intercambio de comprar los bienes a menores precios en el exterior aumenta, en tanto que el efecto estructura se reduce. En contraste, el modelo de superávit de balanza de pagos aminora el efecto intercambio e incrementa el efecto estructura. De hecho, se avanzaría hacia un sistema arancelario selectivo, que contrarrestaría las diferencias de productividad con los socios comerciales. Lo que los países pierden por el intercambio lo compensan con la estructura, y esto se manifestaría en menores brechas

salariales con los países desarrollados. Por lo demás, significaría una elevación del ahorro y una reducción en el déficit de balanza de pagos que acortaría el desbalance externo. Se elevarían el crecimiento, la producción y el empleo con respecto al promedio, y se extinguiría el desempleo. Tanto el crecimiento de la producción como la distribución del ingreso aumentarían.

Estamos, sin duda, en la mejor ilustración de que el máximo crecimiento y la equidad se consiguen cuando los propósitos se concilian, ya que alcanzar un propósito a cambio del deterioro de los otros es lo peor del mundo. La intervención del Estado para conformar una estructura exportable de superávit en la balanza de pagos eleva el crecimiento y mejora la distribución del ingreso. Se confirma que el Estado está en capacidad de conciliar el crecimiento y la distribución del ingreso en las mejores posibilidades de ambos objetivos.

La especialización en los bienes de ventaja comparativa y el cumplimiento del modelo IS-LM, que presupone la igualdad entre el gasto y el producto nacional, es decir, el balance interno, que son la base del consenso macroeconómico, son controvertidos totalmente por los hechos. Los países están expuestos a limitaciones de demanda que impiden la especialización en los bienes de ventaja comparativa. En condiciones de bajo ahorro y elevado déficit en cuenta corriente se quiebra el balance macroeconómico. La curva IS-LM se torna en una ficción. La política macroeconómica guiada por la tasa de interés, e incluso la política fiscal financiada con emisión, son inefectivas. La producción es inferior a la demanda y tiene como contraprestación un exceso de oferta sobre la demanda de empleo, cuya descripción más clara es el desempleo. El crecimiento y la distribución del ingreso están en abierto conflicto.

La solución es una drástica reforma estructural en el comercio internacional, la composición sectorial y la organización del Banco de la República para conformar una balanza de pagos con superávit o igualdad.

11. Conclusiones

Las políticas para conciliar la salud y la economía no se podían implementar dentro de la visión neoliberal que le da una abierta prioridad a la economía con respecto a la salud. La prioridad de la salud significa una abierta transferencia de los sectores de altos ingresos a los de menores ingresos. La viabilidad estaba condicionada a

la reducción del ahorro de los grupos de altos ingresos y el aumento del consumo de los sectores de menores ingresos, pero no se dio porque el mercado busca la solución más fácil, que es elevar el ahorro de los pobres; en contraste, los gobiernos sociales buscan hacerlo con transferencias provenientes de los sectores altos a los sectores menos afortunados. En cualquier caso, se presenta una disminución de la inversión y la capitalización que baja el crecimiento y afecta la distribución del ingreso. Así, el avance de los servicios de salud solamente es viable si se prioriza la distribución del ingreso.

No hay ninguna razón para que la salud y la economía se encuentren ante un dilema irremediable, pues los dos aspectos son determinados por variables diferentes. Existen múltiples caminos para avanzar en la misma dirección. Las soluciones muy conflictivas se tornan inviables. Una de las evidencias más llamativas es la incapacidad de las soluciones de mercado para interpretar la realidad y avanzar en soluciones prácticas. La realidad parece cada día más distante de las soluciones idealistas y regulares. En general, se tienen relaciones en desequilibrio, en las que las ofertas y las demandas no se igualan en todos los mercados.

Las áreas dominantes de la economía están estrechamente relacionadas. Las soluciones de equilibrio son simples puntos de referencia y simplificaciones. Por lo regular, se tiene que las principales variables, como el crecimiento, la distribución y la balanza de pagos, dependen de todo el sistema económico y están interrelacionadas. Así, la versión del crecimiento económico como función del ahorro y la tecnología no es más que un punto de partida para formulaciones más realistas en desequilibrio.

No obstante las deficiencias del sistema de mercado, en la práctica de América Latina se advierte el intento de intensificarla. En la realidad, Colombia está montada en aperturas comerciales financiadas con crédito externo. Se va más allá de las concepciones de libre mercado que propician la especialización en las actividades de ventaja comparativa y desconocen los beneficios del comercio en la estructura económica y en la productividad del trabajo y los salarios.

El deterioro de la balanza de pagos, causado por la caída de los precios del petróleo, se buscó compensar con la ampliación del endeudamiento, que induce un incremento del consumo por encima del producto nacional. El gasto de la economía crece por encima

del producto nacional y tiene como efecto colateral un aumento de la demanda de empleo con respecto a la oferta, cuya representación más tangible es el desempleo. Entre 2015 y 2019, el empleo pasó de crecer 2,3 % a decrecer 1,5 %.

El modelo de déficit en cuenta corriente financiado con deuda externa y déficit fiscal con recursos de ahorro, y en algunos casos con emisión monetaria, no funcionó. La reducción del ahorro ocasionada por el confinamiento y el cuantioso déficit en cuenta corriente quebraron el balance interno. El producto nacional es menor que el gasto. El déficit fiscal aumenta la demanda, pero no tiene ningún efecto sobre la producción y el empleo. La ampliación de la brecha tiene como contraparte un exceso de demanda sobre la oferta de mano de obra, cuya descripción más clara es el disparo del desempleo. En Colombia, el expediente provocó un déficit fiscal de 8,2 % del PIB, que coincidió con una caída en la producción de 10 % y una baja en el empleo de 15 % en el año en curso. En dos meses, provocó la destrucción de siete millones de empleos.

El comportamiento descrito desvirtúa el consenso clásico keynesiano que predice que el desplazamiento de la curva IS-LM, alentado por la ampliación del déficit fiscal, eleva la producción y estimula el empleo. Como el aumento del ahorro no está acompañado por un incremento de la liquidez que aumenta la inversión, la curva retorna a su posición inicial. Simplemente, la confinación provocó una ampliación del desbalance interno que impidió la entrada del déficit fiscal en la economía. El dispositivo incrementó la demanda, pero no tuvo ningún efecto sobre la producción y el empleo. El país quedó asediado por un desempleo que se mantendrá alrededor de 20 %.

El ahorro se lleva consigo la inversión. La política convencional en su conjunto aumenta la demanda en forma incierta y no tiene ningún efecto sobre la producción y el empleo. La brecha entre la demanda y la producción es cada vez más grande y tiene como contraparte un exceso de la oferta sobre la demanda de empleo, cuya representación es el desempleo.

Estamos ante un fuerte retroceso de la equidad. La participación del trabajo en el producto nacional disminuye y los ingresos del trabajo crecen muy por debajo del gasto en consumo. De hecho, el país se verá abocado a la elevación de la pobreza y la ampliación de las desigualdades en todos los niveles.

Es indudable que la crisis del desempleo se debe a la conjunción de la cuarentena, la apertura financiada con crédito externo y la política macroeconómica de tasa de interés y déficit fiscal financiado con títulos de ahorro. A causa del desbalance interno, el cuantioso déficit fiscal no contrarrestó la caída del ahorro ocasionada por la suspensión de la producción. La liquidez no entró a la economía. El sistema quedó abocado a un exceso de gasto sobre el producto nacional que tiene como contraparte el disparo del desempleo. La caída del ahorro, causada por la suspensión de la producción y por las transferencias fiscales, no se pudo compensar y se manifestó, en consecuencia, en un cuantioso desbalance interno entre el gasto y el producto nacional que tiene como contraparte el disparo del desempleo. La política fiscal incrementa la demanda, pero no tiene ningún efecto sobre la producción y el empleo.

El drama de América Latina en los últimos 30 años es que le dio carta abierta al mercado para que ampliara las desigualdades. La situación más extrema se observa en el déficit de balanza de pagos financiado con deuda externa. El esquema sólo se ha mantenido en países desarrollados, como Alemania, Estados Unidos y Japón, pues su aplicación en los países del sur de Europa fue un total desastre. Este grupo de países lleva 20 años operando con bajas tasas de crecimiento, elevado desempleo, déficit de balanza de pagos y atraso en la distribución del ingreso. En América Latina, significó la reducción del crecimiento económico en relación con la tendencia histórica, altos niveles de desempleo, y ampliación de los índices de pobreza y desigualdad medidos con el coeficiente de Gini. La gran diferencia de Colombia con los países asiáticos está en que éstos se apartaron de la apertura del comercio desde 1985.

La operación tenía cierto sentido en los países con exceso de ahorro, esto es, con ahorro sobrante. En Colombia y América Latina, la caída del ahorro afectó la inversión en una excesiva proporción; en cambio, en los países de elevado ahorro provocó una caída en la inversión menos que proporcional. Las crisis estructurales tienen una mayor incidencia en los países en desarrollo. La razón es simple: debido a la inadecuada distribución del ingreso, operan con menores niveles de ahorro que acentúan el conflicto entre el crecimiento y la distribución del ingreso.

Las condiciones de crisis contribuyeron a aclarar varios de los aspectos de la distribución del ingreso



encontrados y analizados en el libro *Teorías del crecimiento y la distribución para una nueva era* (Sarmiento, 2020). Es claro que las alteraciones de la economía, como sucede en las crisis estructurales, tienden a acentuar el vínculo entre el crecimiento y la distribución del ingreso, al tiempo que el mercado inclina la balanza en contra de la distribución. Se confirma que el mercado, al igual que ocurre con la energía, que tiende a ir del calor al frío, contribuya a favorecer a los grupos más poderosos.

En este sentido, la presencia del Estado es indispensable para evitar que las desigualdades se acentúen. En condiciones de crisis, los gobiernos no sólo tienen que evitar sus efectos directos, sino también las secuelas sobre la equidad. Así como los países obtienen tasas de crecimiento positivas, en el futuro deberán organizarse y cambiar sus estructuras para garantizar una mejoría persistente del coeficiente de Gini y la reducción de la pobreza.

El conflicto entre el crecimiento y la equidad tendría que inclinarse en favor de la equidad. Los países se verán obligados a avanzar en nuevas formas de conciliación para conseguir que los dos propósitos se alcancen simultáneamente. En Colombia se podría lograr con una elevación del ahorro del capital mediante el freno de las salidas de capitales, la disminución de los activos improductivos en el campo y la ciudad, la conformación de una estructura de comercio superavitario y una composición sectorial liderada por la industria.

Hace 30 años, el país resolvió el conflicto entre el crecimiento y la equidad con un modelo de crecimiento inequitativo. La economía crecía a tasas aceptables dentro de una enorme desigualdad de ingresos que situaba a Colombia entre las naciones más inequitativas del

mundo. En el último lustro, el mal funcionamiento del modelo de libre comercio condujo a un debilitamiento de las tasas de crecimiento, lo que se buscó contrarrestar con más mercado y deterioro de las condiciones de la equidad. Hoy en día, la economía crece por debajo de las tendencias históricas y la distribución del ingreso se deteriora aceleradamente. No es necesario volver al debate del mercado y regulación. El dictamen de los hechos pide un modelo que reduzca en forma pronta y drástica las desigualdades y sostenga el crecimiento. El primer paso es un cambio del modelo de comercio internacional, para propiciar una estructura de balanza de pagos con superávit que cierre la brecha de productividad y salarios con los países desarrollados y amplíe las oportunidades de empleo.

Adicionalmente, se requiere elevar el ahorro del capital, modificar la concepción del Banco de la República y fortalecer la política social de transferencias. Al final, la economía entraría a una senda de máximo crecimiento, con mejoría persistente de la distribución del ingreso.

Referencias

- Lee, E. B. & Markus, L. (1967). *Foundations of optimal control theory*. Nueva York: Wiley.
- Sarmiento Palacio, E. (2020). *Teorías del crecimiento y la distribución para una nueva era*. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Sarmiento Palacio, E. (9 de agosto de 2020). El manejo de la crisis. *El Espectador*.
- Temin, P. & Vines, D. (2014). *Keynes: useful economics for the world*. Cambridge, MA: The MIT Press.

Algunas dificultades en la comprensión del concepto de espacio vectorial en estudiantes de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

Some difficulties at understanding the concept of vector spaces in students from Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

JULIANA SERNA CARRILLO¹ - NORA YAMILE ROJAS CATAÑO²

1. Departamento de Matemáticas, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

2. Departamento de Matemáticas, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

juliana.serna@mail.escuelaing.edu.co - nora.rojas@escuelaing.edu.co

Recibido: 20/03/2020 Aceptado: 31/03/2020

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

Uno de los conceptos más abstractos del álgebra lineal es el de espacios vectoriales. Quizás su falta de aplicaciones sencillas y la inexistente conexión con objetos más cotidianos para los estudiantes de álgebra lineal hacen de este concepto uno de los más difíciles de asimilar para ellos. En este artículo se presenta un estudio realizado con un grupo de catorce estudiantes de álgebra lineal de segundo semestre de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, con el cual se busca establecer si los estudiantes poseen los conocimientos previos que les permitan comprender la teoría sobre espacios vectoriales e identificar los posibles obstáculos que se presentan en el proceso de enseñanza-aprendizaje de éstos, así como de qué manera los textos utilizados influyen en dicho proceso.

Palabras claves: obstáculos, espacios vectoriales, álgebra lineal.

Abstract

One of the most abstract concepts of linear algebra is that of vector spaces; perhaps its lack of simple applications and non-existent connection with more everyday objects for linear algebra students make this concept one of the most difficult to assimilate for them. This paper presents a study carried out with second semester linear algebra students at Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, which seeks to establish whether the students have the previous knowledge that allows them to understand the theory of vector spaces and identify the possible obstacles that arise in the teaching-learning process and how the texts used influence this process

Keywords: obstacles, vector spaces, linear algebra.

1. INTRODUCCIÓN

Según Luzardo y Peña (2006), y Sánchez (2011), el origen de los espacios vectoriales se atribuye a los matemáticos Arthur Cayley y Hermann Grassmann, quienes a mediados del siglo XIX, en un intento por axiomatizar la idea de vector que se tiene en la mecánica clásica, realizan las primeras publicaciones en las que se mencionan los espacios. Pero sólo hasta finales del siglo XIX el matemático italiano Giuseppe Peano, quien gracias al lenguaje conjuntivo logra comprender el complejo trabajo de Grassmann, crea la primera definición axiomática de los espacios vectoriales, definición que no tuvo mucha importancia en aquella época y apenas hasta 1918 fue aceptada (Villarroya, 1997).

El primer obstáculo en la enseñanza y el aprendizaje de los espacios vectoriales surge desde la aparición de éstos con su complejo y abstracto concepto, el cual requiere tener un buen manejo y una gran comprensión de conceptos anteriores, para así poder aplicarlos a los nuevos y unificados conocimientos sobre espacios vectoriales (Dorier y Sierpinska, 2001, citado por Parraguez, 2009). Por otro lado, como señala Parraguez (2009), el formalismo de las nuevas definiciones y la inexistente conexión de éstas con los conocimientos que se tienen previamente son otra de las dificultades que se deben afrontar a la hora de construir de manera adecuada el concepto de espacio vectorial.

Dorier hizo un análisis epistemológico entre 1990 y 1995, del que concluyó que los espacios vectoriales no son una noción matemática creada para resolver problemas y aplicarse directamente, sino que, por el contrario, son un concepto “unificador y generalizador”; esto significa que la función de los espacios vectoriales consiste en generalizar en un nivel abstracto diversos conceptos, métodos y herramientas de diferentes áreas de las matemáticas que ya existían. Sobre esto, Dorier (citado por Parraguez, 2009) menciona:

Por lo tanto, puede sugerirse que el éxito de la axiomatización [del concepto de espacio vectorial] no provino de la posibilidad de llegar a resolver problemas matemáticos no resueltos, sino de su poder de generalización y unificación y, consecuentemente, de la simplificación en la búsqueda de métodos para resolver problemas en matemáticas. Como una consecuencia, este acercamiento marcó un nuevo nivel en la abstracción, el concepto de espacio vectorial es una

abstracción de objetos ya abstractos, como los vectores geométricos, n -uplas, polinomios, series o funciones.

En resumen, Parraguez (2009) menciona que los espacios vectoriales:

- “No fueron creados para resolver nuevos problemas”.
- “Unifican conceptos y métodos ya existentes”.
- “Reorganizan en una nueva teoría los resultados dispersos”.

Los objetivos de la presente investigación son identificar cuáles son los conceptos previos que los estudiantes deberían manejar para entender el concepto de espacio vectorial e identificar algunos obstáculos del álgebra lineal que les impiden comprender el concepto de espacio vectorial, así como la relación con los textos guía utilizados.

El estudio se aplicó en un grupo de catorce alumnos del curso de álgebra lineal de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, dirigido a estudiantes de diversas ingenierías, ciencias, economía y administración. Este curso tiene como eje central los espacios vectoriales, con lo que se complementan los temas anteriores de sistemas de ecuaciones lineales, matrices, determinantes y vectores, además de que permite desarrollar los temas posteriores, como las transformaciones lineales (justificación del curso realizada por la universidad).

2. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

2.1 “Espacios vectoriales desde la realidad a la abstracción” (Humberto Madrid, Josefina M. Cribeiro y Martha L. Sánchez [2006]. Universidad Autónoma de Coahuila; Instituto Tecnológico de Sabinas)

Esta investigación surgió a partir de la posibilidad de eliminar el tema de espacios vectoriales del programa de álgebra lineal de la universidad debido a la dificultad de asimilación que tienen los estudiantes con el concepto, por no tener aplicaciones y no estar vinculado con el resto del contenido de la materia (Madrid, Cribeiro y Martha, 2006, p. 1). La investigación se hizo con la teoría de Dorier y Sierpinska (2001), y Sierpinska, Nnadozie y Okaç (2002), citado en Madrid, Cribeiro y Martha (2006), donde se establece que las dificultades en la enseñanza y el aprendizaje del concepto de espacio

vectorial se encuentran (enumeradas como 1D, 2D y así sucesivamente) en:

- 1D. Sus notaciones matemáticas.
- 2.D El lenguaje matemático muy lejano al lenguaje natural de los estudiantes.
- 3D La distancia existente entre pensamiento práctico de acción inmediata de los estudiantes.
- 4D El pensamiento teórico basado en la reflexión del concepto.

Otras dificultades que añadió Madrid (1981), citado en Madrid, Cribeiro y Martha (2006), fueron:

- 5D Ver a los vectores desde ópticas diferentes en física, en cálculo y en álgebra, lo cual confunde a los estudiantes y los hace pensar que son tres conceptos distintos con el mismo nombre.
- 6D No ver nada en su entorno que tenga relación con vectores y mucho menos asociar el concepto de vector con el de espacio vectorial.

Finalmente, Madrid, Cribeiro y Martha (2006) agregan en esta parte:

- 7D La falta de referencias contextuales hace que los estudiantes sientan que pasan súbitamente de la Tierra a un planeta desconocido.

En cuanto al formalismo de la teoría de espacios vectoriales, Dorier et al. (2000b), citado en Madrid, Cribeiro y Martha (2006), menciona la casi inexistente familiaridad con el lenguaje formal matemático que tienen los estudiantes, debido a que tras la influencia de Bourbaki se quitó todo lo relacionado con el álgebra lineal de los colegios. Como consecuencia de esto, la enseñanza del álgebra lineal en los primeros años de universidad debió debilitarse, ya que los estudiantes presentan no sólo falta de conocimiento previo en la lógica y la teoría elemental de conjuntos, sino también de habilidades elementales de la geometría cartesiana, temas que permiten utilizar la intuición para efectuar una construcción geométrica de los conceptos básicos de la teoría de espacios vectoriales (Madrid, Cribeiro y Martha, 2006, p. 3).

Ahora, sobre las dificultades que se encuentran en la enseñanza de los espacios vectoriales, Cihan et al.

(2003), citado en Madrid, Cribeiro y Martha (2006), menciona que la teoría de espacios vectoriales se presenta por lo general de manera muy formal, lo cual provoca graves dificultades en muchos de los estudiantes. Por esto propone hacer un estudio de los espacios vectoriales desde el punto de vista geométrico, que les permita establecer la relación entre el conocimiento, la intuición acerca de las estructuras concretas y la naturaleza abstracta del lenguaje axiomático. Esta propuesta permitirá que aumente no sólo la motivación de los alumnos al estudiar este tema, sino que también se dé un aprendizaje significativo. La enseñanza de los vectores tiene tres puntos de vista:

- En física, se estudian desde el punto de vista de fuerzas con magnitud, dirección y sentido.
- Se introducen en cálculo con un sentido geométrico y algebraico.
- En álgebra lineal, los vectores son los elementos de un espacio vectorial, estructura algebraica que se introduce como un conjunto de axiomas.

El hecho de establecer varias representaciones y definiciones hace que los estudiantes consideren que tienen definiciones distintas de acuerdo con la asignatura, lo cual los hace pensar que se trata de conceptos diferentes. Para establecer la relación entre estos puntos de vista se puede decir que *un vector es un elemento de un conjunto para el cual está definida la suma y el producto por un escalar y donde se cumplen los axiomas de espacio vectorial, no importa la representación que se utilice ni el tipo de elemento que sea* (Madrid, Cribeiro y Martha, 2006, pp. 5 y 6).

Como resultado de esta investigación se creó una hoja de trabajo, con la cual se busca la comprensión del concepto de espacio vectorial. Está basada en *las etapas de aprendizaje planteadas por Galperin, las ideas de Piaget de manipular el objeto de estudio para conocerlo y de Vigotsky de trabajar en la zona de desarrollo próximo* (Madrid, Cribeiro y Martha, 2006, p. 9).

2.2 “¿Cómo se aprenden los conceptos de álgebra lineal?” (Asuman Oktaç y María Trigueros [2010]. Revista Relime)

En este proyecto, Oktaç y Trigueros buscan dar respuesta a las siguientes preguntas: ¿qué construcciones mentales son necesarias para que los estudiantes uni-

versitarios construyan los conceptos de álgebra lineal? ¿Cuáles son los principales obstáculos que enfrentan? (Oktaç y Trigueros, 2010, p. 375). El trabajo responde estas preguntas para diversos temas de la materia, como los espacios vectoriales –en el cual nos centraremos en este caso–, las transformaciones lineales, concepto de base y la solución de sistemas de ecuaciones lineales.

En cuanto a la construcción de espacios vectoriales, uno de los principales obstáculos que tienen que superar los estudiantes es la naturaleza del tema, ya que es algo diferente de todo lo que habían aprendido hasta el momento; es la primera vez que se encuentran con un objeto abstracto y formal, lo cual requiere que tengan claridad en conceptos vistos antes, como axioma, operación binaria, función y conjunto, que después servirán para definir formalmente, de manera clara, un espacio vectorial.

El trabajo se realizó con una entrevista reestructurada a estudiantes de ingeniería y matemáticas, los cuales ya habían visto la materia; se les hacían algunas preguntas acerca de este tema, con lo cual los autores llegaron a la conclusión de que entienden el tema como un proceso (repetitivo), y en otras ocasiones confunden los elementos de los conjuntos o el modo como se deben operar. Por ejemplo, encontramos la siguiente pregunta:

¿Es R un espacio vectorial sobre Q (con las operaciones usuales)? A la cual respondieron que R no es un espacio vectorial sobre Q .

Porque, si tomo cualesquiera dos números reales, su suma no necesariamente resulta un número racional (Oktaç y Trigueros, 2010, p. 377).

En general, se vio que los estudiantes no poseen la habilidad para relacionarlos todos en un solo proceso de demostración, a pesar de que comprenden algunos de los axiomas que definen un espacio vectorial.

2.3 “Una propuesta didáctica para el estudio del tema de espacios vectoriales en un curso de álgebra lineal” (Bolívar Alonso Ramírez Santamaría [2015]. Universidad de Costa Rica)

El objetivo general de esta investigación fue realizar, validar e implementar una propuesta didáctica empleando *software* educativo y aplicaciones la ingeniería, para

fortalecer la enseñanza y el aprendizaje de los espacios vectoriales para estudiantes de diversas ingenierías.

Ramírez inicia su investigación haciendo énfasis en que enseñar matemáticas en una universidad hoy en día no se centra simplemente en transmitir los conocimientos teóricos a los estudiantes, sino que, por el contrario, los docentes deben utilizar las tecnologías y crear relaciones con las aplicaciones reales de los contenidos; esto supone un reto para los docentes a la hora de buscar nuevas metodologías en las que se puedan ver estas relaciones y crear una relevancia en los temas para el estudiante, pero sin dejar de lado el formalismo que requiere el álgebra lineal (Ramírez, 2015, pp. 1 y 2).

A manera de conclusión de esta investigación, se pudo evidenciar cómo la utilización de las aplicaciones a la ingeniería fortaleció el proceso de enseñanza y aprendizaje de los espacios vectoriales que hubo entre los docentes y estudiantes, haciendo que los segundos también ampliaran su motivación al mantener siempre un interés positivo sobre el tema (Ramírez, 2006, pp. 10 y 11).

2.4 “Una taxonomía de errores en el aprendizaje de los espacios vectoriales” (Ana Roso y Julio Barrios [s.f.]. Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina, mediante una actividad basada en la teoría de situaciones didácticas propuesta por Brousseau [1997], citada en Roso y Barrios [2013])

En este trabajo los alumnos construyen sus conocimientos a partir de la intersección generada con los maestros, poniendo en juego sus conocimientos previos, con los cuales dan respuesta a las situaciones problemáticas y crean una clasificación de los errores en el aprendizaje de los espacios vectoriales. Además de esta teoría, se utilizaron también los tipos de error según Socas (1997) y Radatz (1979), citados por los autores. A continuación se presentan las cuatro categorías de errores hechas por Roso y Barrios (2013), según Socas (1997) y Radatz (1979), enumeradas de 1C a 4C:

1C **Lenguaje.** Aquellos errores que son producto del mal uso del lenguaje aritmético, geométrico o algebraico, junto con los que surgen de la necesidad de pasar de una representación a la otra.

- El uso de diferentes representaciones para las definiciones de los espacios impide la identificación de los elementos.
 - El lenguaje algebraico interfiere en el lenguaje aritmético.
 - Paso del lenguaje cotidiano a un lenguaje más rígido y formal.
 - Falta de relación entre el lenguaje geométrico y el lenguaje aritmético.
- 2C **Terminología y notación.** Errores provenientes del uso erróneo de la terminología y la notación del álgebra lineal. Conceptos, símbolos y vocabulario.
- Definición y manejo de la ley de composición (operación binaria) interna y externa. Se confunde siempre con las operaciones en \mathbb{R}^n .
 - Confusiones en la notación y operaciones entre conjuntos.
 - Los alumnos se quedan con la definición formal y no logran aplicarla a un ejemplo en concreto.
- 3C **Uso de técnicas.** Contiene los errores producidos por el empleo de técnicas propias del álgebra lineal, es decir, aquellas en las que se ve la caracterización de los elementos de los espacios vectoriales.
- No se utilizan elementos de los espacios para las demostraciones.
 - No se pueden identificar de manera adecuada los elementos de los espacios vectoriales.
 - Falta de conocimientos en el manejo de operaciones entre conjuntos.
 - La notación condiciona lo que interpretan.
- 4C **Errores de transferencia.** Errores con origen proveniente de otras asignaturas, en las cuales se utilizan tanto los conceptos de espacios vectoriales como los conocimientos previos.
- No se diferencia entre conjunto y elementos de los conjuntos.
 - No se conoce el significado de la simbología utilizada.
 - Fallas en la secuencia de las demostraciones, es decir, confusión entre los antecedentes y las consecuencias.
 - Falta de conocimientos previos que les permitan demostrar las proposiciones.
- Roso y Barrios (2013), además de las categorías de errores mostradas previamente, presentan en su trabajo una clasificación de los tipos de errores según Brousseau (2001), Socas (1997) y Radatz (1979), enumerados de 1T a 3T:
- 1T Según Brousseau (2001): errores clasificados por los profesores como:
- La notación condiciona lo que interpretan.
 - Error a un nivel práctico.
 - Error en la tarea.
 - Error de la técnica.
 - Error de la tecnología.
 - Error de niveles teóricos.
- 2T Según Socas (1997):
- Asociados a la complejidad de los objetos matemáticos.
 - Asociados a los procesos del pensamiento matemático.
 - Asociados a los procesos de enseñanza desarrollados para el aprendizaje de las matemáticas.
 - Asociados a los procesos de desarrollo cognitivo de los alumnos y dificultades asociadas a las actitudes afectadas y emocionales de las matemáticas.
- 3T Según Radatz (1979):
- Errores producidos por las dificultades del lenguaje.
 - Errores debidos a la dificultad de obtener información espacial.
 - Errores debidos a un aprendizaje de hechos, destrezas y conceptos previos.
 - Errores de rigidez del pensamiento.
 - Errores debidos a la aplicación de reglas o estrategias irrelevantes.

2.5 “Historia del concepto de espacio vectorial con consideraciones sobre la enseñanza del álgebra lineal en la licenciatura en Matemáticas de la Universidad del Valle” (Sandra Lorena Chavarría Bueno [2019]. Trabajo de grado para optar al título de magíster en Educación con énfasis en Educación Matemática)

Este trabajo es motivado por los altos niveles de deserción y reprobación que encuentra la autora en la asignatura de Álgebra Lineal ofrecida por el Departamento

de Matemáticas en la Universidad del Valle, el cual es de alrededor del 50 % para los estudiantes que ven la materia por primera vez. La investigación se enfoca en los espacios vectoriales, ya que este es de gran importancia dentro del contenido del curso, y también es un tema en el que se pueden evidenciar muchas de las dificultades sobre la enseñanza de esta asignatura, tales como la abstracción de los conceptos, la formalidad del lenguaje y el hecho de que sea la primera vez que los estudiantes se encuentran con conceptos diferentes de todos los que conocían en sus clases (Chavarría, 2019, pp. 14 y 15).

Esta investigación se centra en el estudio y el análisis de la historia y epistemología del concepto de espacio vectorial, con el propósito de hacer una propuesta didáctica que sirva a estudiantes y profesores como material de consulta en didáctica e historia de las matemáticas (Chavarría, 2019, p. 9).

La metodología de este trabajo se centra en la investigación realizada por Jean-Luc Dorier en su obra *Sobre la enseñanza del álgebra lineal* (2000) y en sus estudios, en los cuales plantea una metodología que relaciona la didáctica matemática con la epistemología y la historia de las matemáticas, relación que establece que es posible estudiar la historia de las matemáticas para obtener aspectos epistemológicos que se puedan aprovechar en el diseño de nuevas estrategias didácticas en matemáticas (Dorier, 2000, citado por Chavarría, 2019).

Tras desarrollar su investigación basada en la historia y la epistemología, Chavarría presenta una propuesta para abordar los conceptos de dependencia e independencia lineal, enfocada en el curso y en los profesores encargados de orientarlo en la Universidad del Valle.

2.6 “Propuesta didáctica para la enseñanza del concepto espacio vectorial” (Ángela Mercedes Martín Sánchez, Olga Lidia Pérez González y Yoan Martínez-López [2017]. Revista Electrónica Formación y Calidad Educativa)

A lo largo de la investigación se desarrolla una propuesta didáctica basada en la relación entre la representación analítica, la representación geométrica y la representación estructural del concepto de *espacio vectorial*, con la cual se busca que los estudiantes comprendan en forma lógica y coherente el tema, conservando el significado de cada una de las representaciones, pero manteniendo la relación entre éstas.

La propuesta hecha se centra en preparar a los estudiantes para el concepto de espacio vectorial mediante tres etapas. La primera etapa estaba dirigida a que los estudiantes caracterizaran el concepto como un conjunto formado por conjuntos ordenados, que cumplen ciertos axiomas propios de la estructura de espacio vectorial. Durante la segunda etapa, se realiza una caracterización geométrica de los espacios vectoriales como un conjunto de vectores, ya sea en el plano cartesiano o en el espacio tridimensional, para verificar que cumplen los axiomas propios de espacio vectorial. Finalmente, en la tercera etapa se buscó que los estudiantes caracterizaran este concepto como una estructura algebraica (Martín, Pérez y Martínez, 2017, p. 198).

Para cada uno de los tres tipos de representaciones (analíticas, geométricas y estructurales), desde donde se introdujo el concepto, se implementaron una serie de acciones didácticas que conducían a los estudiantes a reflexionar sobre el concepto de espacio vectorial con los tres elementos que los construyen: conjunto, operaciones binarias y axiomas.

Esta propuesta se aplicó a estudiantes de álgebra lineal durante los años 2015 y 2016. Al final de la investigación, se clasificó a los estudiantes en tres niveles de conocimiento que los investigadores determinaron según los resultados obtenidos en las acciones didácticas; esto permitió establecer que había un mayor porcentaje de estudiantes en los niveles 2 y 3, en comparación con los estudiantes de los mismos cursos durante los años 2012 al 2014. Gracias a estos resultados, los autores concluyeron que más que el hecho de que los estudiantes describan el concepto de espacio vectorial, lo realmente importante es que comprendan la relación que existe entre los registros o representaciones analíticas, geométricas y estructurales de los espacios vectoriales.

3. DEFINICIONES UTILIZADAS EN ESTE ARTÍCULO

A continuación, se definen los principales conceptos utilizados en este artículo:

Axiomas. Principios asumidos como una verdad irrefutable y evidente, utilizados como la base para sustentar toda teoría científica.

Conjunto. Objeto matemático que consta de una colección de elementos con una propiedad o algunas

características en común. Para definirlo de manera correcta, se puede decir que en un conjunto se utiliza la propiedad común que todos sus elementos posean (Uzcátegui, 2011). En matemáticas existen conjuntos finitos e infinitos, los cuales pueden ser numerables o no; estos conjuntos se pueden nombrar por extensión, es decir, enumerando todos sus elementos, o por comprensión, esto es, utilizando la propiedad común a todos los elementos. Generalmente, los conjuntos se denotan por una letra mayúscula, por ejemplo:

- El conjunto de colores: $A = \{\text{amarillo, azul, rojo, verde}\}$.
- El conjunto de todos los números reales: \mathbf{R} .
- El conjunto de todos los números reales mayores que 1 o iguales a 1: $B = \{x \in \mathbf{R} \mid x > 1\}$, donde \in significa el hecho de pertenecer a un conjunto (en este caso, el de los números reales).
- El conjunto más pequeño que existe es aquel que no tiene elementos, se llama vacío y se denota por \emptyset .

Si A y B son dos conjuntos, denominaremos la intersección de A y B que se denota $A \cap B$, como el conjunto de todos los elementos que están en A y en B . La unión de A y B denotada por $A \cup B$, como el conjunto de los elementos que están en A o en B .

Operación binaria. Una operación binaria o ley de composición es una operación matemática que necesita un operador y dos elementos para ser operados.

Estas operaciones pueden ser internas (los operadores y el resultado están en el mismo conjunto) o externas (el resultado pertenece a un conjunto diferente de los elementos que se están operando); en este caso, para los espacios vectoriales nos centraremos solamente en las operaciones binarias internas.

Espacio vectorial. Apoyado en las definiciones de Kolman (2006) y Grossman (2012), se define para este trabajo un espacio vectorial V como un conjunto de objetos (llamados vectores), con dos operaciones binarias (suma con el signo $+$ y multiplicación por un escalar con el signo \bullet) que satisfacen los diez axiomas enumerados a continuación.

1. Si u y v son elementos cualesquiera de V , entonces $u + v$ está en V . **V es cerrado bajo la suma.**
 - a. $u + v = v + u$, para u y v en V . **Propiedad conmutativa.**
 - b. $u + (v + w) = (u + v) + w$, para u, v y w en V . **Propiedad asociativa.**

- c. Existe un elemento 0 en V , tal que $u + 0 = 0 + u = u$ para toda u en V . **Neutro para la suma.**
 - d. Para cada u en V existe un elemento $-u$ en V , tal que $u + (-u) = (-u) + u = 0$. **Inverso para la suma.**
2. Si u es cualquier elemento de V y c es cualquier número real, entonces $c \bullet u$ está en V . **V es cerrado bajo la multiplicación por escalar.**
 - e. $c \bullet (u + v) = c \bullet u + c \bullet v$, para todo número real c y todos u y v en V . **Propiedad distributiva.**
 - f. $(c + d) \bullet u = c \bullet u + d \bullet u$, para todo número real c y d y todo u en V . **Propiedad distributiva.**
 - g. $c(d \bullet u) = (cd) \bullet u$, para todo número real c y d y todo u en V . **Propiedad asociativa.**
 - h. $1 \bullet u = u \bullet 1 = u$, para todo u en V . **Neutro para el producto por escalar.**

Notas

- Un espacio vectorial se puede denotar como una terna $(V, +, *)$.
- Los elementos de un espacio vectorial se llaman vectores, pero no necesariamente son vectores en \mathbf{R}^n o *n-tuplas*.
- Hacemos uso de las negrillas para denotar los vectores o las operaciones del espacio que se pueden definir según el conjunto.

4. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para alcanzar los objetivos se describe enseguida.

4.1 Estado del arte

Se realiza la búsqueda de la historia y evolución del concepto de espacios vectoriales, además del análisis de los artículos mencionados en el estado del arte a partir de los cuales se clasificaron los obstáculos que se han identificado en dichas investigaciones durante el proceso de aprendizaje y enseñanza del concepto de espacios vectoriales (discutido en la sección “Antecedentes”).

4.2 Diseño de actividades y trabajo de campo

Se realizó la caracterización de la unidad de trabajo, la cual se llevó a cabo durante el análisis de los posibles métodos de recolección de datos, para escoger los tres

más apropiados. Estos métodos fueron una entrevista semiestructurada que se hizo a profesores de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, la comparación del texto guía utilizado en la materia con otros dos textos usados ocasionalmente por los estudiantes y la actividad diseñada para un grupo de estudiantes de un curso de álgebra lineal de la misma universidad, las cuales se describen enseguida:

4.2.1 Entrevista semiestructurada

La entrevista se hizo a cuatro profesores de álgebra lineal de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, cada uno de ellos con diferente tiempo en experiencia como docente de la asignatura. Las preguntas formuladas fueron:

- ¿Cuáles cree usted que sean los principales obstáculos a los que se enfrentan los estudiantes al momento de comprender el concepto de espacio vectorial?
- ¿Cuáles son los errores más frecuentes que encuentra usted como docente en sus estudiantes cuando no han comprendido correctamente el concepto de espacio vectorial?
- Según su experiencia docente, ¿cuáles cree usted que deberían ser los conceptos previos que necesitan tener claros los estudiantes para lograr comprender de manera correcta la teoría sobre espacios vectoriales?
- ¿Cree usted que los textos guía puedan generar confusiones en los alumnos al momento de leerlos para comprender el tema? ¿Por qué?

4.2.2 Análisis de textos

Se tomaron varios libros de texto y se analizó la forma como están presentados los conceptos previos a la introducción del concepto de espacio vectorial, su definición y ejemplos, con el ánimo de identificar los posibles obstáculos que éstos pudieran presentar en el proceso de enseñanza-aprendizaje de este concepto.

4.2.3 Grupo muestra

Se diseñó una actividad para realizar con un grupo de catorce estudiantes de un curso de álgebra lineal de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, con

el propósito de identificar los conceptos previos que debería tener un estudiante para comprender la teoría sobre espacios vectoriales y los obstáculos que debería superar durante el proceso de comprensión de éstos. El grupo de estudiantes se dividió a su vez en siete parejas para hacer el trabajo.

4.2.4 Actividad para identificación de conceptos previos en estudiantes de álgebra lineal

La actividad se divide en tres partes, cada una de las cuales tiene un propósito diferente, como se muestra a continuación:

4.2.4.1 Primera parte: Conocimientos previos

Con esta parte de la actividad se quiere establecer cuántos conocimientos previos tienen los estudiantes sobre la definición de espacios vectoriales. Para ello se formularon dos preguntas a los participantes en el estudio:

- ¿Qué es un espacio vectorial? Descríbalo con sus propias palabras.
- Dé un ejemplo de “algo” que NO sea un espacio vectorial. Justifique su respuesta.

4.2.4.2 Segunda parte: Definición de espacio vectorial

En esta parte se proporcionan a los estudiantes algunos de los conceptos previos necesarios para poder construir la definición de espacio vectorial. Se suministran las definiciones de conjunto, se describen qué es un subconjunto, un axioma y una operación binaria, y luego se hace un taller para que lo resuelvan los participantes:

En matemáticas, un conjunto es una colección de elementos con una propiedad o característica en común, la cual se utiliza para definir de manera correcta el conjunto.

Si queremos mencionar que u es un elemento de un conjunto S , decimos que u pertenece a S o simbólicamente $u \in S$. Sean M y N dos conjuntos tales que todo elemento de M está también en N ; por eso diremos que M es subconjunto de N o $N \subset M$, y que $M = N$ cuando M es subconjunto de N y N es subconjunto de M .

Finalmente, si A y B son dos conjuntos, denominaremos la intersección de A y B (que se denota $A \cap B$)

como el conjunto de todos los elementos que están en A y en B . La unión de A y B (que se denota $A \cup B$) es el conjunto de los elementos que están en A o en B .
Cuestiones del taller:

- Mencione dos conjuntos con sus propias palabras.
- Enuncie en el lenguaje matemático los dos conjuntos que mencionó anteriormente.
- De los conjuntos que mencionó en la parte anterior, ¿alguno de ellos es subconjunto del otro? Justifique su respuesta.
- Encuentre la intersección y la unión de dichos conjuntos.

Por otro lado, los axiomas en matemáticas son principios asumidos como una verdad irrefutable y evidente que se utilizan como la base para sustentar toda teoría científica. Se formulan las siguientes preguntas:

- ¿Qué diferencias existen entre los axiomas y los teoremas?
- Mencione dos axiomas que conozca.

Una **operación binaria** o ley de composición es una operación matemática que necesita un operador y dos elementos para su realización.

- Nombre dos operaciones binarias.

Así podemos definir un **espacio vectorial** como un conjunto V de objetos (llamados vectores), con dos *operaciones binarias* (suma “+” y multiplicación por un escalar “•”) que satisfacen los diez *axiomas* enumerados a continuación:

- Si u y v son elementos cualesquiera de V , entonces $u + v$ está en V .
 - $u + v = v + u$, para u y v en V .
 - $u + (v + w) = (u + v) + w$, para u, v y w en V .
 - Existe un elemento 0 en V , tal que $u + 0 = 0 + u = u$ para toda u en V .
 - Para cada u en V existe un elemento $-u$ en V , tal que $u + (-u) = (-u) + u = 0$.
- Si u es cualquier elemento de V y c es cualquier número real, entonces $c \cdot u$ está en V .

- $c \cdot (u + v) = c \cdot u + c \cdot v$, para todo número real c y todos u y v en V .
- $(c + d) \cdot u = c \cdot u + d \cdot u$, para todo número real c y d y todo u en V .
- $c(d \cdot u) = (cd) \cdot u$, para todo número real c y d y todo u en V .
- $1 \cdot u = u \cdot 1 = u$, para todo u en V .

Una nota importante para tener en cuenta sobre los espacios vectoriales es que sus elementos son llamados vectores, pero esto no implica que necesariamente sean vectores en R^n o *n-tuplas*.

4.2.3 Tercera parte: Apropiación del concepto de espacio vectorial

El objetivo de esta parte es analizar el nivel de comprensión de los estudiantes después de tener mayor claridad en los conceptos previos. Para esto, se planteó el siguiente taller:

- Formule un ejemplo de espacio vectorial.
- Sea C el conjunto de los números imaginarios; los elementos de C son de la forma $a + bi$, donde i es la solución a la ecuación $x^2 + 1 = 0$ y a, b son números reales. En C se definen las operaciones:
Sean $a + bi$ y $c + di$ números complejos, r un número real.

$$(a + bi)^\circ(c + di) = (ac - db) + (ad + bc)i$$

$$r^*(a + bi) = ra + (rb)i$$
 ¿Es C con las operaciones $^\circ$ y $*$ un espacio vectorial? Justifique su respuesta

Ayuda:

- ¿Cómo son los elementos de C ?
- ¿Cuáles son los escalares?
- Identificación de la suma y multiplicación por escalar.
- Verificación de las propiedades.
- ¿Es C con las operaciones $^\circ$ y $*$ un espacio vectorial?

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Sobre la entrevista semiestructurada a docentes

Según las respuestas de las entrevistas hechas a varios profesores de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, se tiene que:

- a. Los principales obstáculos a los cuales se enfrentan los estudiantes en el momento de estudiar los espacios vectoriales son:
- La abstracción del concepto, que se puede clarificar como un obstáculo epistemológico según Brousseau (1989), debido a que como se mencionó en el marco histórico, solo fue hasta finales del siglo XIX, gracias al lenguaje conjuntista, cuando se logró comprender y formalizar la teoría sobre espacios vectoriales.
 - Falta de conocimientos y de comprensión de conceptos previos en teoría de conjuntos básica (operaciones entre conjuntos, caracterización y propiedades de los elementos de un conjunto, entre otras) y operaciones.
 - Adicionalmente, como en este curso se estudian los espacios vectoriales reales, los estudiantes deberían conocer la estructura de los números reales y las operaciones entre éstos, no sólo realizar operaciones por medio de procesos mecánicos para encontrar una respuesta, pues no saben realmente qué significa.
 - Otro obstáculo, como algo transversal al conocimiento, es que los estudiantes tienen un bajo nivel en el desarrollo de la competencia de comprensión de lectura, por lo que en muchas ocasiones no entienden qué es lo que se les está preguntando.
- b. Los errores más frecuentes de los estudiantes, con los que se puede dar fe de que se enfrentan a los obstáculos anteriores, son:
- Mantenerse siempre en el contexto de las operaciones con números reales y no comprender que se pueden definir nuevas “sumas y multiplicaciones”.
 - Pretender memorizar el procedimiento y hacerlo de manera mecánica, en lugar de comprender, visualizar y abstraer.
 - Cometer errores en teoría de conjuntos, como determinar cuándo un elemento pertenece o no a un conjunto dado.
 - No comprender cuándo una suma está dentro del mismo conjunto.
 - Tener falencias en comprensión de lectura.
- c. Los conocimientos previos que deberían tener los estudiantes antes del curso de álgebra lineal

mencionados por los profesores en las entrevistas fueron:

- Teoría básica de conjuntos y algunos fundamentos de lógica.
- Operaciones binarias en contextos diferentes de los números reales.
- Estructura algebraica de los números reales.

5.2 Sobre el análisis de textos

Los profesores entrevistados están de acuerdo con que los textos sí pueden generar confusiones en el proceso de aprendizaje individual de los estudiantes, debido a diversos motivos, tales como (en el anexo se registran las observaciones hechas por los profesores):

- Algunos libros presentan una notación confusa o muy elaborada para explicar el tema. Como veremos en el análisis de textos, al comparar la forma en la que se escriben los axiomas de la definición de espacio vectorial en los tres libros se puede apreciar cómo el texto *Álgebra lineal* (Kolman & Hill, 2013) posee una notación mucho más elaborada que el libro *Introducción al álgebra lineal* (Lang, 1970).
- Se utilizan las palabras indistintamente, sin tener cuidado de su verdadero significado (axioma, teorema, proposición).
- Falta de ejemplos concisos y que den cuenta, verdaderamente, de los conceptos que se han definido. Por ejemplo, en los tres textos analizados se puede ver cómo los ejemplos son pocos y hacen mención de actividades anteriores para llevar a cabo rápidamente las demostraciones, por lo que no se afianzan los conocimientos mediante las pruebas paso a paso que necesitan los estudiantes que se encuentran frente a este concepto por primera vez.
- Los textos en general están enfocados en un procedimiento mecánico para calcular respuestas y no en una explicación que permita realmente comprender los conceptos. Esto sucede, por ejemplo, en el caso de los inversos, en el cual se enfatiza en un procedimiento que deje calcular el inverso de un elemento de un espacio vectorial y no en el concepto de inverso.

A continuación, se describen los hallazgos encontrados en diferentes textos, en relación con la forma como se presentan los conceptos previos a la introducción del concepto de espacio vectorial, la definición de espacio

vectorial, sus propiedades y ejemplos, todo con el ánimo de identificar los posibles obstáculos que éstos pudieran presentar en el proceso de enseñanza- aprendizaje del concepto de espacio vectorial (tabla 1):

Tabla 1
Análisis de libros de texto

Concepto investigado	Álgebra lineal (Kolman & Hill)	Álgebra lineal (Grossman & Flores Godoy)	Introducción al álgebra lineal (Lang)
Conocimientos previos e introducción al tema	Menciona tanto la estructura de \mathbb{R}^n como las propiedades que se han estudiado en secciones anteriores del libro para después hablar de los espacios vectoriales como una generalización de la estructura de \mathbb{R}^n . Estudiar las propiedades de éstos les permitirá hablar de otros espacios vectoriales mucho más generales.	Primero menciona los espacios vectoriales de \mathbb{R}^2 y \mathbb{R}^3 , de los cuales se han estudiado las propiedades en el capítulo anterior. Para después hablar de la generalización de éstos a infinidad de espacios vectoriales y del mundo de las soluciones de un sistema de ecuaciones.	Se hace una breve mención a conjuntos, cuando un elemento está en un conjunto, subconjuntos y las dos operaciones básicas, la unión y la intersección de conjuntos. Para esto se usan como ejemplo \mathbb{R} y \mathbb{R}^n .
Definición	Un espacio vectorial real es una terna formada por un conjunto V y dos operaciones, \oplus y \odot , que satisfacen las siguientes propiedades:	Un espacio vectorial real V es un conjunto de objetos, denominados vectores, junto con dos operaciones binarias llamadas suma y multiplicación por un escalar, y que satisfacen los diez axiomas enumerados en el siguiente recuadro.	Un espacio vectorial V es un conjunto de objetos que se pueden sumar y multiplicar por números, de tal manera que la suma de dos elementos de V es de nuevo un elemento de V , el producto de un elemento de V por un número es un elemento de V , y satisfacen las siguientes propiedades:
Propiedades principales	(α) Si u y v son elementos cualesquiera de V , entonces $u \oplus v$ está en V (es decir, V es cerrado bajo la operación \oplus). (β) Si u es cualquier elemento de V y c es cualquier número real, entonces $c \odot u$ está en V (es decir, V es cerrado bajo la operación \odot).		
Propiedades	(a) $u \oplus v = v \oplus u$, para u y v en V . (b) $u \oplus (v \oplus w) = (u \oplus v) \oplus w$, para u, v y w en V . (c) Existe un elemento 0 en V tal que $u \oplus 0 = 0 \oplus u = u$ para toda u en V . (d) Para cada u en V existe un elemento $-u$ en V tal que $u \oplus -u = 0$.	i) Si $x \in V$ y $y \in V$, entonces $x + y \in V$ (cerradura bajo la suma). ii) Para todo x, y y z en V , $(x + y) + z = x + (y + z)$ (ley asociativa de la suma de vectores). iii) Existe un vector $0 \in V$ tal que para todo $x \in V$, $x + 0 = 0 + x = x$ (el 0 se llama vector cero o idéntico aditivo). iv) Si $x \in V$, existe un vector $-x \in V$ tal que $x + (-x) = 0$ ($-x$ se llama inverso aditivo de x).	EV 1. Dados los elementos u, v y w de V , tenemos $(u + v) + w = u + (v + w)$. EV 2. Existe un elemento de V que se denota como 0 , tal que $0 + u = u + 0 = u$ Para todos los elementos u de V . EV 3. Dado un elemento u de V , el elemento $(-1)u$ es tal que $u + (-1)u = 0$. EV 4. Para todos los elementos u y v de V , tenemos $u + v = v + u$.

Concepto investigado	Álgebra lineal (Kolman & Hill)	Álgebra lineal (Grossman & Flores Godoy)	Introducción al álgebra lineal (Lang)
Propiedades	(e) $c \circ (u \oplus v) = c \circ u \oplus c \circ v$, para todo número real c y toda u y v en V .	v) Si x y y están en V , entonces $x + y = y + x$ (ley conmutativa de la suma de vectores).	EV 5. Si c es un número, entonces $c(u + v) = cu + cv$.
	(f) $(c + d) \circ u = c \circ u \oplus d \circ u$ para todo número real c y d y toda u en V .	vi) Si $x \in V$ y α es un escalar, entonces $\alpha x \in V$ (cerradura bajo la multiplicación por un escalar).	EV 6. Si a y b son dos números, entonces $(a + b)v = av + bv$.
	(g) $c \circ (d u) = (cd) \circ u$, para todo número real c y d y toda u en V .	vii) Si x y y están en V y α es un escalar, entonces $\alpha(x + y) = \alpha x + \alpha y$ (primera ley distributiva).	EV 7. Si a y b son dos números, entonces $(ab)v = a(bv)$.
	(h) $1 \circ u = u$, para toda u en V .	viii) Si $x \in V$ y α y β son escalares, entonces $(\alpha + \beta)x = \alpha x + \beta x$ (segunda ley distributiva).	EV 8. Para todos los elementos u de V , tenemos que $1 \cdot u = u$ (en este caso, 1 es el número uno).
			ix) Si $x \in V$ y α y β son escalares, entonces $\alpha(\beta x) = (\alpha\beta)x$ (ley asociativa de la multiplicación por escalares). x) Para cada vector $x \in V$, $1x = x$.
Mención a otras estructuras matemáticas, como grupos y cuerpo	Si permitimos que los escalares mencionados en la definición 1* sean números complejos, obtenemos un espacio vectorial complejo. De manera más general, los escalares pueden ser elementos de un campo F , con lo que obtenemos un espacio vectorial sobre F . Tales espacios son importantes en muchas aplicaciones de matemáticas y ciencias físicas.	1. Los primeros cinco axiomas se utilizan para definir a un grupo abeliano, y en los axiomas vi) al x) se describen la interacción de los escalares y los vectores mediante la operación binaria de un escalar y un vector. 2. Los escalares tienen una estructura denominada campo, la cual consiste en un conjunto de elementos y dos operaciones binarias. Los números reales con la operación de suma cumplen con los axiomas del grupo abeliano. Además, la multiplicación es asociativa y distributiva por la derecha e izquierda. Existe un elemento neutro llamado unidad, y todo número real diferente de cero tiene un elemento inverso.	En su libro <i>Introducción al álgebra lineal</i> , Lang no hace mención de otras estructuras algebraicas. Define un cuerpo y posteriormente un espacio vectorial sobre un cuerpo.

Algunos ejemplos de libros de texto sobre espacios vectoriales

El espacio vectorial de las matrices	<p>Considere el conjunto $M_{2 \times 3}$ de todas las matrices de 2×3 en las operaciones usuales de suma matricial y multiplicación por un escalar. En la sección 1.4 (teoremas 1.1 y 1.3) establecimos que las propiedades de la definición 1 son válidas, lo cual hace de $M_{2 \times 3}$ un espacio vectorial. De manera análoga, el conjunto de todas las matrices de $m \times n$ en las operaciones usuales de suma matricial y multiplicación por un escalar es un espacio vectorial. Este espacio vectorial se denota $M_{m \times n}$.</p>	<p>Si $V = M_{m \times n}$ denota el conjunto de matrices de $m \times n$ con componentes reales, entonces con la suma de matrices y multiplicación por un escalar usuales se puede verificar que $M_{m \times n}$ es un espacio vectorial cuyo neutro aditivo es la matriz de ceros de dimensiones $m \times n$.</p>	<p>Fijemos dos enteros positivos m y n. Sea V el conjunto de todas las matrices $m \times n$. También denotamos V como $Mat(m \times n)$. Entonces V es un espacio vectorial. Es fácil verificar que mediante nuestras reglas para la adición de matrices y para la multiplicación de matrices por números se satisfacen las propiedades de la EV1 a la EV8. La adición de matrices está definida por números. El hecho principal que hay que observar en este caso es que la adición de matrices está definida en términos de los componentes, y que para la adición de componentes se satisfacen las condiciones análogas de las EV1 a EV4. Son propiedades estándar de los números. Del mismo modo, las propiedades EV5 a EV8 son ciertas para la multiplicación de matrices por números, debido a que son ciertas las correspondientes propiedades para la multiplicación de números.</p>
El espacio vectorial de las funciones continuas definidas en un intervalo cerrado	<p>Sea $F[a, b]$ el conjunto de todas las funciones con valores reales, definidas en el intervalo $[a, b]$. Si f y g están en V, definimos $f \oplus g$ como $(f \oplus g)(t) = f(t) + g(t)$. Si f está en $F[a, b]$ y c es un escalar, definimos $c \circ f$ como $(c \circ f)(t) = cf(t)$. Entonces, $F[a, b]$ es un espacio vectorial (ejercicio 9). De manera similar, el conjunto de todas las funciones con valores reales definidas para todos los números reales, denotado mediante $F(-\infty, \infty)$, es un espacio vectorial.</p>	<p>Sea $V = C[0, 1]$ el conjunto de funciones continuas de valores reales definidas en el intervalo $[0, 1]$. Se define $(f + g)(x) = f(x) + g(x)$ y $(\alpha f)(x) = \alpha[f(x)]$ como la suma de funciones continuas es continua, el axioma i) se cumple y los otros axiomas se verifican fácilmente con $\mathbf{0}$ = la función cero y $(-f)(x) = -f(x)$. Del mismo modo, $C[a, b]$, el conjunto de funciones de valores reales definidas y continuas en $[a, b]$ constituye un espacio vectorial.</p>	<p>Sea V el conjunto de todas las funciones definidas para todos los números. Si f y g son dos funciones, entonces sabemos cómo formar su suma $f + g$. Es la función cuyo valor en un número t es $f(t) + g(t)$. También sabemos cómo multiplicar f por un número c. Es la función cf cuyo valor en un número t es $cf(t)$. Al trabajar con funciones, hemos usado repetidas veces las propiedades EV1 a EV 8. ahora nos hemos dado cuenta de que el conjunto de funciones es un espacio vectorial.</p>

En general, la distribución de los ejemplos sobre la definición de espacios vectoriales, en cada uno de los libros se muestra en la tabla 2.

5.3 Sobre la actividad para identificación de conceptos previos en los estudiantes

La actividad se realizó a lo largo del primer semestre del año 2019, durante el horario de clase. Se observan los siguientes aspectos, de los cuales se destacan los que se pueden triangular con la información obtenida de los otros métodos de recolección de datos (en el anexo se adjuntan las pruebas obtenidas):

- a. La mayoría de los estudiantes presentan graves falencias en la teoría de conjuntos. Confunden las operaciones entre conjuntos, no son capaces de identificar los elementos de un conjunto o reconocer sus propiedades.
- b. La transición del lenguaje cotidiano a un lenguaje matemático produce en ellos dificultades, puesto que no saben cómo utilizar correctamente un lenguaje simbólico, geométrico o gráfico que les permita expresar de manera correcta sus ideas; confunden el significado de la simbología de conjuntos y lógica y las utilizan indistintamente tanto en el lenguaje verbal como escrito.
- c. El estudiante confunde la noción de teorema con una proposición que puede ser verdadera o falsa; por tanto, según lo encontrado en las respuestas, para ellos un teorema puede ser falso o se puede refutar en cualquier momento por otro más fuerte. Igual-

mente, se puede ver que confunde un axioma con una definición, o con cosas evidentes en el mundo físico. Todo lo anterior concuerda con lo dicho por algunos de los profesores en la entrevista, cuando mencionaron que en algunos textos las palabras axioma, proposición o teorema son usadas indistintamente, sin poner real importancia en su verdadero significado.

- d. No logran salir de las operaciones usuales en los reales o los complejos, por lo que es difícil para ellos aceptar la definición de unas nuevas operaciones y hacer una demostración con **éstas**. Lo anterior podría ser consecuencia, como vemos en la segunda tabla del análisis de textos realizados, de que **éstos** en muy pocas ocasiones, o incluso en ninguna, da ejemplos con operaciones diferentes de las conocidas por los estudiantes.
- e. Las definiciones que han visto de un vector en otra asignatura, como Física, donde son las magnitudes físicas que poseen módulo, dirección y sentido, o en la asignatura de Cálculo, en la cual se estudian desde el punto de vista geométrico y algebraico, generan en ellos confusiones al momento de estudiar espacios vectoriales que no sean en \mathbf{R}^n . Todo esto, junto con la abstracción del concepto, los lleva a no poder determinar cuándo un conjunto es un espacio vectorial o no.
- f. Las falencias que tienen en comprensión de lectura se hicieron evidentes cuando en algunas ocasiones respondieron cosas diferentes de las que realmente se les estaban preguntando e incluso en varias oportunidades no respondieron las preguntas formuladas.

Tabla 2
Distribución de ejemplos de espacios vectoriales en los libros de texto

Libro de texto	Álgebra lineal (Kolman & Hill)	Álgebra lineal (Grossman & Flores Godoy)	Introducción al álgebra lineal (Lang)
Número total de ejemplos.	9	12	2
Ejemplos que definen operaciones diferentes de las usuales en los conjuntos utilizados.	2	0	0
Ejemplos de conjuntos con operaciones que no forman espacios vectoriales.	2	3	0

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- a. Los principales obstáculos identificados durante la realización del estudio fueron el alto nivel de abstracción que tiene el concepto de espacio vectorial, como lo mencionaron Oktaç & Trigueros, (2010), al igual que el poco conocimiento de los estudiantes de primer semestre sobre teoría básica de conjuntos, y las confusiones que presentan en la definición de axiomas y correspondientes a lógica básica, errores que podrían incluirse dentro de la categoría de terminología y notación establecida por Rosso & Barros (2013).
- b. En la formulación del punto 5 de la actividad, se creó un obstáculo didáctico al momento de mencionar el conjunto como el de los números imaginarios y no el de los complejos; una forma de haber evitado este obstáculo pudo consistir en definir el conjunto R^2 con dos nuevas operaciones; esto pudo haber limitado el trabajo de los estudiantes en la actividad, situación que se tendrá en cuenta para el diseño de otra actividad en el futuro. Un obstáculo didáctico está relacionado con las decisiones que toma el docente al momento de diseñar situaciones de enseñanza-aprendizaje (Brousseau, 1989).
- c. Por otro lado, cuando se les hizo hincapié a los estudiantes en que se trataba del conjunto de los números complejos con dos nuevas operaciones y no las operaciones habituales definidas en este conjunto, se pudo evidenciar la rigidez en el pensamiento de los estudiantes, los cuales **rehúsan** aceptar la definición de nuevas operaciones en un conjunto y se mantienen inmersos en las que ya conocen, en este caso, las operaciones usuales de números complejos, lo cual podría ser consecuencia de los ejemplos que los estudiantes han visto en los libros de texto. Como observamos en el análisis de textos, el número de ejemplos en los que se definen operaciones distintas de las comunes en los conjuntos utilizados son muy pocos o incluso inexistentes en algunos casos.
- d. La forma en la que se abordan algunas definiciones en los textos guía puede generar confusiones en los estudiantes, ya sea por su densa notación o por ejemplos inconclusos y que no dan fe de los temas explicados, o ya sea por la falta de mención de conceptos previos y la alusión a otros temas más avanzados, que, aunque son claves, no son relevantes en este momento del aprendizaje. Se podrían presentar más aplicaciones a la ingeniería que incluyan el uso de *software* para contextualizar y motivar a los estudiantes, como lo menciona Ramírez (2015).
- e. Aparte de todas estas conclusiones referentes a lo propuesto en este artículo y que es pertinente mencionar, dado que se relaciona con la competencia de comunicación en matemáticas (modelo de aprendizaje adoptado por la universidad), en la que se plantea que los estudiantes posean la capacidad de interpretar, comprender, construir y comunicar el conocimiento matemático a través del lenguaje oral y escrito (Rico, 2006); se encontró que la principal dificultad que influencia el proceso de aprendizaje de los estudiantes es la baja comprensión de lectura que tienen, lo cual, cuando estudian de manera autónoma, no les permite comprender a cabalidad los temas, y en el momento de los exámenes o actividades como la que se les realizó en este trabajo, los lleva a responder cosas diferentes de las que se les están preguntando.
- f. Como recomendación, antes de abordar la teoría de espacios vectoriales se debería incluir un pequeño estudio o repaso de los temas previos mencionados, tales como la teoría básica de conjuntos, operaciones binarias, axiomas y la estructura algebraica de los números reales, lo cual facilitaría la comprensión de éstos, dado que, como se menciona en los resultados obtenidos, muchos de los problemas de los estudiantes vienen de su falta de conocimientos previos y no de la misma asignatura.
- g. Es importante hacer énfasis en la naturaleza abstracta de los “vectores” como elemento de un espacio vectorial y aclarar que no necesariamente se está hablando de los elementos de R^n con representación básica que conocen de otras asignaturas, como **Física y Cálculo**.
- h. Sería interesante hacer una propuesta didáctica con estudiantes del curso de **Álgebra Lineal**, que incluyera el análisis de todos los tipos de representaciones del concepto de espacio vectorial (analíticos, geométricos y estructurales) para introducir el concepto e implementar una propuesta de acciones didácticas, tal como ya lo hicieron algunos estudiosos del tema (Martín, Pérez & Martínez, 2017). Esto ayudaría no sólo a la comprensión del concepto de espacio vectorial, sino también a motivar a los estudiantes para que reflexionaran sobre sus elementos y características.

Referencias

Brousseau, G. (1989). Les obstacles épistémologiques et la didactique des mathématiques. En N. Bednarz & C. Garnier (eds.), *Construction des savoirs, obstacles et conflits* (pp. 41-63). Montreal: Cirade Les Éditions Agence d'Arc Inc.

Chavarría, S. (2019). *Historia del concepto de espacio vectorial, con consideraciones sobre la enseñanza del álgebra lineal en la licenciatura en Matemáticas de la Universidad del Valle*. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/xmlui/bitstream/handle/10893/14091/7412-0525931.pdf?sequence=1>.

Grossman, S. & Flores Godoy, J. (2012). *Álgebra lineal* (7ª ed.). México, D.F.: McGraw-Hill Educación.

Kolman, B. & Hill, D. (2006). *Álgebra lineal* (8ª ed.). México, D.F.: Pearson Educación.

Lang, S. (1966). *Linear algebra* (2ª ed.). Nueva York: Addison-Wesley Publishing Company Inc.

Lang, S. (1970). *Introduction to linear algebra* (2ª ed.). Nueva York: Addison-Wesley Publishing Company Inc.

Luzardo, D. & Peña, S. (2006). Historia del álgebra lineal hasta los albores del siglo XX. *Divulgaciones Matemáticas*, 14, 153-170. <https://www.emis.de/journals/DM/v14-2/art6.pdf>.

Madrid, H., Cribeiro, J. & Sánchez, M. (2015). Espacios vectoriales desde la realidad a la abstracción. *Revista El Cálculo y su Enseñanza*, 7. https://mattec.matedu.cinvestav.mx/el_calculo/data/docs/fee279c6e17cd74c22e562c0b2bb16a3.pdf.

Martín, A., Pérez, O. & Martínez, Y. (2017). Propuesta didáctica para la enseñanza del concepto espacio vectorial. *Revista Electrónica Formación y Calidad Educativa (REFCaE)*, 5 (2) (mayo-agosto). https://www.researchgate.net/publication/319913567_propuesta_didactica_para_la_enseñanza_del_concepto_espacio_vectorial.

Oktaç, A. & Trigueros, M. (2010). ¿Cómo se aprenden los conceptos de álgebra lineal? *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa (Relime)*, 13 (4-1), 373-385. <https://www.redalyc.org/pdf/335/33529137022.pdf>.

Parraguez, M. (2009). *Evolución cognitiva del concepto espacio vectorial* [tesis para obtener el grado de doctor en Matemática Educativa, Instituto Politécnico Nacional, México, D.F.]. https://repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/11419/1/parraguez_2009.pdf.

Ramírez, B. (2015). Una propuesta didáctica para el estudio del tema de espacios vectoriales en un curso de Álgebra Lineal. Chiapas, México: XIV Ciaem-lacme. http://xiv.ciaem-redumate.org/index.php/xiv_ciaem/xiv_ciaem/paper/viewFile/187/25.

Rico, L. (2006). La competencia matemática en PISA. *PNA*, 1(2), 47-66.

Rosso, A., & Barros, J. (2013). Una taxonomía de errores en el aprendizaje de espacios vectoriales. *Revista Iberoamericana de Educación*, 63(2), 1. <https://rieoei.org/RIE/article/view/638>.

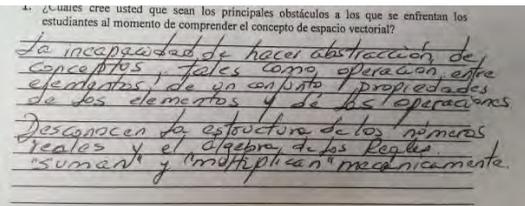
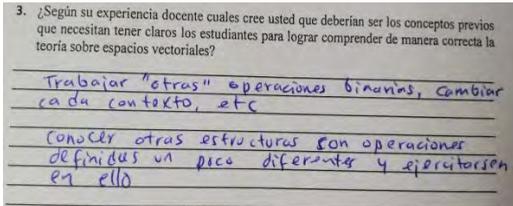
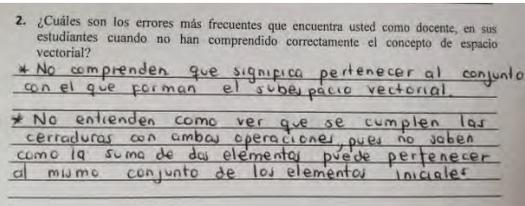
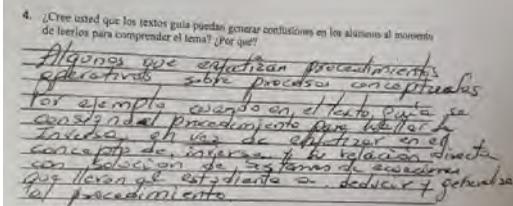
Sánchez, J. (2011). *Historias de matemáticas: Hamilton y el descubrimiento de los cuaterniones*. *Revista Pensamiento Matemático* (1). http://www2.caminos.upm.es/Departamentos/matemáticas/revistapm/revista_impresa/numero_1/hamilton_y_el_descubrimiento_de_los_cuaterniones.pdf.

Uzcátegui, C. (2011). Lógica, conjuntos y números. Departamento de Matemáticas, Facultad de Ciencias, Universidad de los Andes. http://www.matematica.ciens.ucv.ve/materias/files_materias/Elemento/01%20-%20L%F3gica%2C%20Conjuntos%20y%20N%FAmeros_Carlos%20Uzc%EAtegui%20%28ULA%202011%29.pdf.

Villarroya, F. (1997). ¿Caben los espacios vectoriales en los nuevos bachilleratos? *Revista Números*, 31, 32-46. <http://www.sinewton.org/numeros/numeros/31/Articulo03.pdf>.

ANEXOS

Pruebas de lo manifestado por los profesores entrevistados.

<p>Profesor 4</p> 	<p>Profesor 3</p> 
<p>Profesor 2</p> 	<p>Profesor 4</p> 

Pruebas de lo manifestado por los estudiantes durante la realización de la actividad.

Grupo 6	
	<p>En esta imagen se puede identificar cómo, a pesar de que los estudiantes muestran conocimientos básicos de la teoría de espacios vectoriales, la carencia que tienen de un manejo adecuado de conjuntos y lenguaje simbólico les impide enunciar de manera correcta el ejemplo que se les pide. Esto se podría clasificar como un error 2D (el lenguaje matemático es muy lejano al lenguaje diario de los estudiantes) y un error 1C (paso del lenguaje cotidiano al lenguaje formal).</p>

Grupo 3	
	<p>En estas respuestas podemos identificar varios de los errores clasificados anteriormente como 1D (notación matemática), 2D (el lenguaje matemático es muy lejano al lenguaje diario de los estudiantes), 1C (paso del lenguaje cotidiano a un lenguaje formal), 2C (confusión en la notación y operaciones entre conjuntos), 3C (falta en el manejo de operaciones entre conjuntos), 4C (no diferencia entre conjuntos y elementos de los conjuntos), 3T (producidos por las dificultades del lenguaje), y que también mencionaron los profesores entrevistados, como la carencia de conocimientos previos en teoría de conjuntos básica. En las imágenes se puede ver cómo los estudiantes confunden “pertener” con “ser subconjunto de” y cómo hacen uso del lenguaje indistintamente.</p>

Grupo 3	
	<p>Además de lo dicho anteriormente, en esta parte de la actividad se evidencia, tal como lo mencionaron los profesores entrevistados, que los estudiantes poseen pocos conocimientos sobre la estructura de los números reales, ya que los representan como un conjunto discreto, números enteros y positivos.</p>

Grupos 5, 6 y 7

e) ¿Qué diferencias existen entre los axiomas y los teoremas?
 Que los axiomas no pueden tener cambios, en cambio, los teoremas si se pueden cambiar.

e) ¿Qué diferencias existen entre los axiomas y los teoremas?
 Los axiomas son una verdad inflexible, en cambio, los teoremas son teorías que se consideran válidas pero en algún momento pueden ser refutadas por falta de evidencia o por su desestabilidad.

f) Mencione dos axiomas que conozca.
 i. \mathbb{Z} es un número par. $11 = 11 + 0$
 ii. 0 es un elemento neutro

g) Mencione dos axiomas que conozca.
 i. Un círculo es redondo.
 ii. Un cuadrilátero tiene 4 lados

Aquí se puede observar lo dicho anteriormente sobre la confusión que tienen los estudiantes entre las definiciones de axiomas y teoremas.

Grupo 1

No se cumple la propiedad iii) para la suma, luego no es espacio vectorial.

$$(ac - bd) + (ad + bc)i = a + bi$$

$$ac - bd = a \rightarrow$$

$$ad + bci = bi$$

$$a(c+d) + b(c-d) = a + b$$

Así $a(c+d) + b(c-d) = a + b$
 necesariamente nos da a
 $(c+d) = 1$ y $(c-d) = 1$
 luego el sistema no tiene solución
 y no se cumple la propiedad distributiva

En este caso identificamos un error 1T (error de tipo práctico) en la clasificación de Brousseau (2001). Vemos que es un error de nivel práctico, dado que el procedimiento que utilizan para resolver el sistema de ecuaciones no es el adecuado y los conduce a una respuesta errónea.

Metodologías para la estimación de la huella de CO₂ en instituciones de educación superior: explorando un modelo para implementar en la Escuela

Methodologies for estimating carbon footprint in higher education institutions: Exploring models for implementation at Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

MARÍA CAROLINA ROMERO PEREIRA¹ - JUAN SEBASTIÁN SALAZAR HENAO² - THOMAS HOESS³

1. Ingeniera civil, Pontificia Universidad Javeriana. M.Sc. (E) en Ingeniería Ambiental y Gerencia de Proyectos, University of Leeds. Profesora de planta de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
2. Ingeniero ambiental y M.Sc. (E) en Ingeniería Ambiental, Universidad de los Andes.
3. Estudiante de Ingeniería Ambiental, Instituto Técnico de Múnich.

maria.romerop@escuelaing.edu.co - juan.salazar-h@escuelaing.edu.co - thomashoess@hotmail.com

Recibido: 24/10/2019 Aceptado: 15/03/2020

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

La estimación de la huella de CO₂ de una actividad, producto o servicio permite reconocer cuáles son las actividades susceptibles de cambios por su potencial de reducción del impacto ambiental (Phansalkar, 2017). Hacer esta estimación en una institución permite identificar estrategias de reducción del impacto ambiental con la mejor relación costo-beneficio (Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 2009).

En este artículo se analiza cuál sería la mejor metodología para estimar la huella de CO₂ en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, con base en los supuestos de los propósitos de medición en esta institución de educación superior (IES). Para esto, se analizaron las metodologías empleadas actualmente en 40 IES de todo el mundo, estableciendo criterios de comparación y contrastando ventajas y desventajas de cada una.

En este orden de ideas, se recomienda adoptar una metodología basada en los principios del GHG Protocol, a través de una herramienta propia de cálculo ajustada a las particularidades de la institución, partiendo del propósito de estimar la huella de CO₂ en la Escuela para obtener resultados comparables con los de otras IES, soportar la toma de decisiones para reducir las emisiones de manera efectiva y orientar el desarrollo de esta medición con fines académicos e investigativos.

Palabras claves: huella de CO₂/carbono, estimación de la huella de carbono, métodos de contabilidad de carbono.

Abstract

Estimating carbon footprint (CF) for an activity, product or service allows recognizing the most impacting activities and, thus, those activities can be subject to changes for effectively reducing an organization's environmental impacts (Phansalkar, 2017). Estimating CF for higher education institutions (HEI) allows identifying strategies for reducing environmental impact with a good cost-benefit ratio (Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 2009).

This article analyzes the best methodology for estimating the carbon footprint at Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, starting from assuming the purposes of this measure for the university. Methodologies currently used in 40 HEIs around the world were analyzed, contrasting their advantages and disadvantages.

Starting from the purposes of: i) estimating the carbon footprint to obtain results comparable to those of other HEIs; ii) supporting decision-making to reduce emissions effectively; and iii) guiding the development of this measurement for academic and research purposes; it was predicted that the best option is to adopt a methodology based on the principles of the GHG Protocol, using a spreadsheet tailored to the particularities of the institution.

Keywords: carbon footprint, estimating carbon footprint, carbon accounting methods.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático es una de las preocupaciones que más inquietan a las naciones. De acuerdo con el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por su sigla en inglés), para poder mitigar sus efectos debe producirse una drástica reducción de gases de efecto invernadero (GEI), especialmente en las naciones industrializadas. El punto de partida para el establecimiento de medidas eficientes de mitigación del cambio climático es la estimación de sus aportes de GEI. Dicha estimación al nivel de análisis de ciclo de vida (ACV) se conoce como cálculo de la huella de CO₂, o huella de carbono.

Conocer la contribución de GEI por parte de los países y organizaciones en general permite tomar decisiones orientadas a reducir sus emisiones y, en consecuencia, a mitigar el cambio climático (Fabián Chavarría-Solera, 2016). La estimación de la huella de CO₂ en el plano sectorial y de organizaciones favorece la formulación de medidas de mitigación más pertinentes.

En materia organizacional, la estimación de la huella de CO₂ permite identificar estrategias específicas de reducción con la mejor relación costo-beneficio (Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 2009). Es así como numerosas instituciones de educación superior (IES) estiman su huella de CO₂ como punto de partida para la toma de acciones encaminadas a lograr la sostenibilidad ambiental institucional.

En este artículo se busca determinar cuál podría ser la mejor manera de estimar la huella de CO₂ en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, partiendo del supuesto de los siguientes objetivos:

- Propiciar un espacio académico e investigativo en materia de estimación y mitigación de la huella de CO₂.
- Realizar la estimación de la huella de CO₂ institucional con periodicidad anual.
- Comparar los resultados con los de otras IES en los ámbitos nacional e internacional.
- Brindar soporte para la toma de decisiones en materia de mitigación del impacto ambiental de la institución.

Para esto, se revisaron y compararon las características de los estándares internacionales que permiten el reconocimiento de la medición de la huella de CO₂

a escala institucional y se identificaron los estándares y herramientas de cálculo implementados por 40 IES que miden su huella de CO₂ en los ámbitos nacional e internacional.

HUELLA DE CO₂ Y ACV

En 1993, la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental (Setac, por su sigla en inglés) estableció la primera definición oficial del ACV, entendido como el “proceso objetivo que permite evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad”, a través de la identificación y estimación del uso de materia y energía, y los vertidos al entorno durante todo su ciclo de vida, es decir, desde la extracción de materiales hasta su disposición final (ICONTEC, 2007). En la actualidad, la norma ISO 14040 define el ACV como “la recopilación y evaluación de las entradas y salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema o producto a través de su ciclo de vida” (Organización Internacional de Normalización - ISO, 2006).

El cálculo de la huella de CO₂ es un ACV centrado en la evaluación de la carga ambiental de GEI, contabilizado en términos de CO₂, asociado a un producto o actividad. Una de las definiciones más aceptadas de la huella de CO₂ es la propuesta por Thomas Wiedmann y Jan Minx, según la cual se trata de “una medida de la cantidad total de emisiones de dióxido de carbono que es causada directa o indirectamente por una actividad, o que surge a través de las etapas de la vida de un producto o actividad” (Thomas Wiedmann y Jan Minx, 2007)

ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CO₂

Existe una metodología general para la estimación de la huella de CO₂, que es acogida y profundizada por los estándares internacionales, según la cual para estimar la huella de CO₂ se deben desarrollar tres etapas fundamentales (Spannagle, 2003) (Wintergreen & Delaney, 2006).

1. Establecimiento de los límites o fronteras de la estimación

Los límites de la estimación de la huella de CO₂ deben considerar los límites físicos y operacionales de la medición.

Los límites físicos hacen referencia a las instalaciones donde existe un control por parte de la organización, bien sea como autoridad para ejercer políticas financieras y operacionales o como accionista de capital.

Los límites operacionales se refieren a las actividades realizadas en las instalaciones de la organización que se tomarán en cuenta para la estimación de la huella de CO₂. Se contemplan aquellas actividades que producen emisiones directas de GEI, tales como la combustión de combustibles fósiles para generación de energía o calor. A su vez, se incluyen actividades que emiten GEI de manera

indirecta, pero que se desarrollan en las instalaciones de la organización, como el consumo de energía eléctrica. Según el alcance del análisis, pueden incluirse actividades que generan emisiones de GEI fuera de los límites físicos de la instalación, como el transporte de los empleados (por ejemplo, uso de vehículos particulares, transporte público y viajes aéreos).

2. Cuantificación de las emisiones de GEI

El primer paso en la cuantificación de las emisiones de GEI consiste en identificar las principales fuentes de emisión a partir de los límites físicos y operacionales establecidos. Posteriormente, se debe seleccionar el mejor método de cálculo, en consonancia con las fuentes identificadas. Los estándares internacionales para la estimación de la huella de CO₂ reconocen varios métodos para el cálculo de las emisiones de GEI: la medición directa por medio de un monitoreo de concentraciones y tasas de flujo; el cálculo de las emisiones a partir de balances de masa y cálculos estequiométricos para procesos específicos ejecutados en las instalaciones de la organización. El método más utilizado consiste en la aplicación de factores de emisión documentados y estandarizados. Los factores de emisión son razones que relacionan la cantidad de emisiones de GEI por actividad específica (por ejemplo, kg de CO₂ por kW/h de energía eléctrica consumida) (World Resources Institute; WBCSD, 2018) (Kristin Stechemesser, 2012).

Una vez reunida la información necesaria (factores de actividad e identificación de los factores de emisión), se calculan las emisiones para cada fuente de emisión. Todas las emisiones de GEI se deben llevar a unidades conmensurables, que se expresan como unidades equivalentes de CO₂ (tCO₂-e o kgCO₂-e). La cantidad

de CO₂-e se calcula multiplicando las emisiones de cada GEI por su potencial de calentamiento global en cien años (GWP, por su sigla en inglés). A continuación se presentan las equivalencias de los GEI en términos de CO₂-e. Al consolidado de la información de emisiones de CO₂ se le conoce como **inventario de emisiones**.

Tabla 1

Equivalencias en términos de CO₂-e de los gases de efecto invernadero

Gases de efecto invernadero (GEI)	Fórmula química	GWP (100 años)
Dióxido de carbono	CO ₂	1
Metano	CH ₄	28
Óxido nitroso	N ₂ O	265
Fluorocarbonos	HFC	4-12400
Perfluorocarbonos	PFC	6630-23500
Hexafluoruro de azufre	SF ₆	23500

Fuente: Elaboración propia (2018), a partir de Global Warming Potentials (United Nations, 2013).

3. Reporte de la estimación de la huella de CO₂

Para reportar la huella de CO₂, los estándares internacionales coinciden en que es necesario expresar de manera clara los límites organizacionales, operativos y temporales empleados para la estimación, junto con el método seleccionado para la cuantificación de las emisiones de GEI. En los reportes hay que especificar el alcance de la medición. Así mismo, es importante indicar si la estimación se hizo considerando alguno de los estándares internacionales y si se efectuó algún proceso de verificación. En el reporte se debe brindar a los tomadores de decisiones la información necesaria para adoptar medidas o implementar programas destinados a la reducción de la huella de CO₂.

ESTÁNDARES PARA LA ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CO₂ EN EL PLANO CORPORATIVO

La confiabilidad, comparabilidad, trazabilidad y aplicabilidad de los resultados de la estimación de la huella de CO₂ dependen de la adherencia de la metodología utilizada a estándares internacionales, en los que el alcance y las limitaciones del cálculo de la huella de CO₂ se encuentren claramente establecidos.

A continuación se presenta una revisión de los principales estándares de reconocimiento internacional, donde los principios de relevancia, integridad, consistencia, exactitud y transparencia son comunes. Así mismo, la secuencia lógica para el desarrollo de la medición es similar en todos los estándares.

Greenhouse Gas - GHG Protocol

El GHG Protocol es un estándar normativo y una *guía de buenas prácticas* para la estimación de la huella de CO₂. Propone lineamientos para su cálculo, así como actividades voluntarias que se pueden tomar en cuenta para mejorar el desempeño en términos de emisiones de CO₂.

La fase de definición de límites organizacionales y operacionales en el GHG Protocol se define como “Planeación y alcance del inventario” (Schneider & Samaniego, 2010). En esta fase se establece el concepto de *alcance* de la estimación. Se determinan tres alcances:

- **Alcance 1.** Son emisiones de GEI que surgen directamente de fuentes que están bajo el control de la organización, tales como las emisiones provenientes de los combustibles que se usan en calderas o vehículos.
- **Alcance 2.** Son las emisiones indirectas de GEI asociadas a los consumos energéticos de la organización dentro de sus instalaciones, como por ejemplo las emisiones asociadas al consumo de energía eléctrica para la calefacción o refrigeración de las instalaciones.
- **Alcance 3.** Son las emisiones de GEI que no son controladas directamente por la organización (como aquellas asociadas al abastecimiento de agua, consumo de papel, generación y gestión de residuos sólidos, transporte de la comunidad o viajes aéreos corporativos) (World Resources Institute; WBCSD, 2011).

Según el GHG Protocol, la cuantificación de las emisiones de GEI se denomina “Identificación y cálculo de emisiones” (Schneider & Samaniego, 2010). Los métodos de cálculo reconocidos por este estándar incluyen la medición directa, los balances de masa estequiométricos y la estimación por factores de emisión. El GHG Protocol destaca la jerarquía de estimación planteada por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) para los métodos de cuantificación y hace referencia a algunas herramientas propias de su organización. Este estándar no es restrictivo en cuanto

al método de cálculo seleccionado y sugiere aplicar el más acorde con las fuentes de emisión identificadas.

El GHG Protocol cuenta con un estándar corporativo para compañías y organizaciones tales como ONG, agencias gubernamentales y universidades. Para estos casos, se incluye el análisis hasta los alcances 1 y 2, y no se contemplan los requerimientos de verificación del cálculo de la huella. Adicionalmente, existe un estándar de cadena de valor corporativa (alcance 3) del GHG Protocol, dirigido a empresas que requieren evaluar las emisiones de toda su cadena de valor, incluidas aquellas actividades que trascienden su control organizacional y, por lo tanto, necesitan estimar su huella de CO₂ (World Resources Institute; WBCSD, 2011).

El estándar corporativo del GHG Protocol sigue la secuencia de pasos ilustrada en la figura siguiente (figura 3).

ISO 14064

Estándar de verificación basado en el GHG Protocol, que establece los mínimos normativos que se deben considerar para la estimación de la huella de CO₂; no incluye una guía de buenas prácticas, como el GHG Protocol. El estándar ISO cuenta con tres apartes, incluyendo:

ISO 14064-1

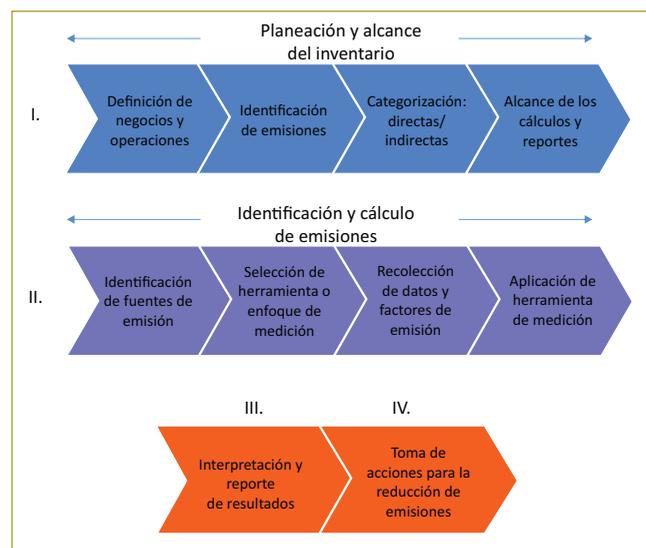


Figura 3. Secuencia de pasos para el cálculo de la huella de CO₂ en el plano organizacional, de acuerdo con el GHG Protocol.

Fuente: Elaboración propia a partir de (World Resources Institute, 2001).

Requerimientos normativos en el plano organizacional, para la cuantificación, reporte de las emisiones y remociones de GEI.

ISO 14064-2

Requisitos exigidos para los proyectos de reducción y remoción de emisiones, para la cuantificación de sus emisiones, seguimiento y reporte.

ISO 14064-3

Determina los requisitos para la validación y verificación de declaraciones y reportes de inventarios de GEI y los parámetros de validación para proyectos de reducción de emisiones.

El estándar ISO 14064 clasifica las emisiones de la siguiente manera (Spannagle, 2003):

- **Directas.** Emisiones derivadas de la combustión directa de combustibles fósiles; es un análogo del alcance 1 del GHG Protocol.
- **Indirectas de energía.** Emisiones derivadas de la producción de la energía eléctrica consumida en la organización, limitadas al consumo de funcionamiento y de calefacción o aire acondicionado. Es un análogo del alcance 2 del GHG Protocol, pero limitado a las actividades mencionadas.
- **Otras indirectas.** Emisiones indirectas diferentes del consumo de energía eléctrica en la organización; son comparables con el alcance 3 del GHG Protocol.

El estándar ISO 14064 es compatible con los requerimientos del GHG Protocol, por lo que una organización que siga los lineamientos de este estándar podría reportar su huella de CO₂ bajo los parámetros del GHG con menores modificaciones y viceversa.

ISO 14069

Constituye una guía para la aplicación del estándar ISO14064-1 (Ihobe S.A., 2012), en la que se describen los pasos necesarios para:

- Fijar límites organizacionales, de acuerdo con un enfoque de control (financiero u operativo) o un enfoque de participación de capital.

- Establecer los límites operacionales, identificando las emisiones directas e indirectas de energía para ser cuantificadas e informadas; para cada categoría de emisión, se brinda orientación sobre el establecimiento de límites y metodologías específicas para la cuantificación de las emisiones y absorciones de GEI.
- Generar informes de GEI garantizando la transparencia y la veracidad de los resultados (ISO, 2018).

Bilan Carbon®

Estándar francés basado en la ISO 14064 y el GHG Protocol, creado por Jean-Marc Jancovici para la firma consultora Manicore. El Bilan Carbon toma como método de cuantificación de las emisiones de GEI el cálculo a partir de factores de emisión y ofrece una plataforma digital para realizar todo el proceso de estimación de la huella de carbono en organizaciones.

Dentro de su programa plantea los mínimos requeridos para la estimación de la huella de CO₂ y se centra en el cálculo de factores de emisión para diferentes actividades. Cuenta con una base de datos disponible con información sobre factores de emisión normalizados para Francia, aunque permite hacer modificaciones y ajustes a los factores de emisión registrados. Es aplicable a todas las etapas del ACV y contempla en su alcance las fuentes de energía, transportes, producción de materiales, sistemas y gestión de residuos sólidos. Requiere licencia para ser implementado, aunque el acceso a la información sobre factores de emisión es libre (World Resources Institute; WBCSD, 2018).

PAS 2060:2020

Es un estándar creado por el British Standard Institution, dirigido al cálculo de emisiones en el plano institucional; se centra en brindar herramientas para alcanzar el objetivo de carbono neutro, mediante la cuantificación, reducción y compensación de las emisiones de GEI. La aplicación de este estándar supone el compromiso de la organización, bien sea en lograr su declaración de alcanzar la neutralidad.

Este estándar cuenta con etapas de evaluación de las actividades organizacionales o ACV, el cual debe hacerse con los lineamientos de la PAS 2050. Se sugiere hacer la cuantificación de las emisiones de GEI con lo

establecido bien sea por el GHG Protocol o por la ISO 14064-1, lo que quiere decir que no cuenta con parámetros propios o diferenciables para la cuantificación de la huella de CO₂.

Plantea adicionalmente planes de gestión y reducción de las emisiones y cuenta con procedimientos para llevar a cabo la validación y verificación del cálculo de la huella de CO₂. Es un estándar de orden corporativo y con la facultad de ser aplicado para el cálculo de emisiones de eventos específicos (ADD Work system, s.f.).

MÉTODOS PARA LA CUANTIFICACIÓN DE LAS EMISIONES

Los estándares de estimación de la huella de CO₂ dentro de sus fases de estimación de las emisiones de GEI establecen la necesidad de seleccionar un método que se acople a las fuentes de emisión identificadas (Vanderbilt University, 2018) (World Resources Institute, 2001). Se destacan tres métodos de cuantificación, a saber: (World Resources Institute, 2001) (Organización Internacional de Normalización - ISO, 2006).

Medición directa de emisiones de GEI

Para la medición directa es necesario contar con equipos capaces de medir niveles de emisiones, es decir, flujos y concentraciones de salida de los gases de fuentes específicas. Esta forma de calcular las emisiones de GEI sólo resulta útil para las emisiones directas (chimenea de una caldera). Los niveles de emisiones se calculan como:

$$\text{Emisión} \left[\frac{\text{M}}{\text{t}} \right] = \text{Concentración} \left[\frac{\text{M}}{\text{L}^3} \right] \cdot \text{Flujo} \left[\frac{\text{L}^3}{\text{t}} \right]$$

Donde:

M = masa de GEI.

T = tiempo.

L³ = volumen combustible.

Cálculos estequiométricos por balance de masa

Se utiliza en procesos industriales en los que no necesariamente se presenta combustión de combustibles fósiles, pero sí reacciones químicas que generan GEI. Es posible establecer relaciones estequiométricas entre algunas actividades o insumos utilizados en los procesos

industriales y la generación de GEI (generación de dióxido de carbono y metano por la descomposición de la materia orgánica en una planta de tratamiento de aguas).

Uso de factores de emisión documentados

Las mediciones directas son costosas y no siempre se cuenta con la información suficiente para hacer cálculos estequiométricos. Esta metodología permite estimar la cantidad de emisiones de GEI asociadas a diferentes actividades, a través del establecimiento de factores de emisión en términos de CO₂, ajustados al contexto local o nacional. Este es el método más común, debido a su practicidad y reconocimiento en los estándares internacionales. La calidad de los resultados depende de la asertividad de los factores de emisión, que idealmente se deben ajustar al contexto de cada ciudad o región (Fundación Natura; CAEM; Bolsa Mercantil, 2106).

$$\text{Emisión} \left[\frac{\text{M}}{\text{t}} \right] = F \cdot \text{Emisión} \left[\frac{\text{M}}{\text{E}} \right] \cdot F \cdot \text{Actividad} \left[\frac{\text{E}}{\text{t}} \right]$$

Donde:

M = masa de GEI.

T = tiempo.

E = energía consumida.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE ESTÁNDARES INTERNACIONALES

Los estándares analizados plantean una serie de pasos similares que se deben surtir para la estimación de la huella de CO₂, iniciando con la delimitación de los límites organizacionales y operacionales; la principal diferencia radica en que el GHG Protocol plantea actividades obligatorias y opcionales para ser consideradas en el cálculo, mientras los demás estándares se limitan a establecer los mínimos normativos.

Todos los estándares analizados plantean lineamientos para la cuantificación de las emisiones y reconocen la existencia de diferentes métodos de cuantificación, siendo el GHG Protocol el estándar que más información provee sobre cada método. El estándar ISO 14064 es el más explícito frente a la incertidumbre asociada a cada método de cálculo (Spannagle, 2003). Por su parte, el estándar PAS 2060 indica que la estimación

debe hacerse de acuerdo con lo establecido por la ISO 14064 o el GHG Protocol.

Las principales diferencias encontradas se deben al carácter de guía de buenas prácticas que presenta el GHG Protocol, frente a estándares como el ISO 14064 y el Bilan Carbon, que tienen un carácter normativo. El GHG contempla recomendaciones e indicaciones necesarias para estimar una huella de CO₂ más acertada, mientras que la ISO 14064 establece los mínimos necesarios para estimar una huella certificable.

El Bilan Carbone no resulta compatible frente a procesos de validación y verificación de la medición. Los estándares ISO 14064 y PAS 2060 no sólo son compatibles con los procesos de validación y verificación, sino que cuentan con lineamientos para el desarrollo de este tipo de procesos.

ESTÁNDARES Y MÉTODOS DE CUANTIFICACIÓN IMPLEMENTADOS POR IES EN EL MUNDO Y EN COLOMBIA

Entre las IES analizadas en el ámbito internacional, se encontró que un 43 % estima su huella de CO₂ siguiendo los lineamientos establecidos por el GHG Protocol. Otro 30 % se ciñe a la ISO 14064, Bilan Carbone u otros estándares internacionales, y el 27 % restante no reportan ceñirse a algún estándar internacional.

Para el caso de las IES en Colombia se encuentra una alta heterogeneidad de estándares implementados (Robinson, Tewkesbury, Kemp, & Williams, 2017). El 90 % de la muestra analizada se ciñe a diversos estándares disponibles y tan sólo un 10 % hace referencia al GHG Protocol (figura 5).

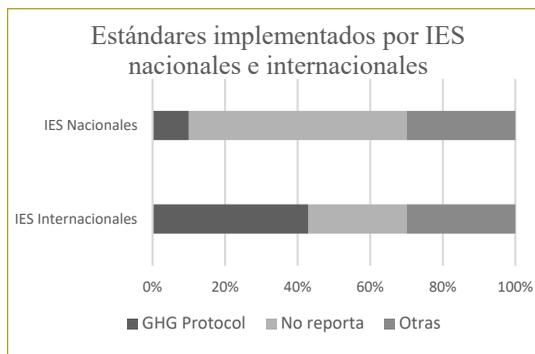


Figura 5. Estándares implementados por IES nacionales y universidades internacionales, para la estimación de su huella de CO₂. Fuente: Elaboración propia.

A escala internacional, el 13 % de las instituciones referencia los factores de medición suministrados por el GHG Protocol. Las demás instituciones analizadas no refieren el método utilizado para la cuantificación de sus emisiones y, en la mayoría de los casos, no cuentan con procesos de validación y verificación.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al analizar los diferentes estándares a la luz de los propósitos planteados para la medición de la huella de CO₂ en la Escuela, se encuentra que todas propician un ámbito de aplicación investigativo.

Ahora bien, el objetivo propuesto de esta medición en la Escuela no incluye su incorporación a los mercados voluntarios de carbono; esto, sumado a la necesidad de contar con una metodología que permita apoyar la toma de decisiones en materia de mitigación del impacto ambiental, sugiere la necesidad de implementar un estándar con aplicación en el ámbito organizacional, de producto y de servicio, necesidad que atiende el GHG Protocol. Este último ofrece también guías para hacerlo verificable, lo que no elimina la posibilidad de incluir en el futuro el propósito de su incorporación en los mercados voluntarios de carbono.

- **Estándar de referencia.** Se recomienda adoptar una metodología propia de cálculo de la huella de CO₂, basada en los principios del GHG Protocol. Como referencia, se recomienda utilizar la *Guía para el cálculo y reporte de la huella corporativa de la Secretaría Distrital de Ambiente* (SDA, 2015), basada en el GHG Protocol.
- **Método de cuantificación de las emisiones de GEI.** Como punto de partida se recomienda implementar el método de los factores de emisión, debido a su practicidad, bajo costo y baja demanda de información primaria para las emisiones indirectas.
- **Año base y periodicidad.** Se recomienda establecer un escenario de referencia de GEI que permita conocer las emisiones en ausencia de estrategias de mitigación, lo cual puede hacerse mediante la realización de un trabajo de grado. Como año de referencia se recomienda el 2014, año de referencia en el documento *Guía para el cálculo y reporte de la huella corporativa*, de la SDA.

- **Límite organizacional.** Se recomienda concertar con la Vicerrectoría Administrativa (VA) los límites para la estimación de la huella de CO₂. Se sugiere incluir únicamente las actividades académicas (incluyendo clases, prácticas de laboratorio, asistencia a congresos y otros espacios académicos) y las actividades administrativas realizadas dentro del campus de la Escuela (incluyendo además actividades *off-campus*, tales como visitas a otras IES y reuniones con entidades). Para iniciar, se recomienda no incluir actividades tales como nuevas construcciones o actividades específicas de mantenimiento.
- **Unidad funcional de la medición.** Es necesario concertar con la VA la unidad funcional para la medición de la huella de CO₂ en la Escuela, la cual se sugiere que se realice en términos de t-CO₂-e por número de estudiantes activos, por año.
- **Límite operacional.** Se recomienda hacer el cálculo de la huella de CO₂ siguiendo las recomendaciones del GHG Protocol. Como mínimo, se recomienda considerar en el cálculo esta información:

Alcance 3

Fuente de emisión	Información suministrada por Vicerrectoría Adm.	Información investigación
Residuos sólidos	Cantidad y tipo de residuos generados, anual (en kg o t) % de residuos reciclados y compostados.	Factores de emisión asociados a RS dispuestos en relleno sanitario, reciclados y compostados.
Viajes nacionales e internacionales	Número de viajes nacionales e internacionales anuales (personal académico y administrativo), modo de transporte, km recorridos	Factores de emisión asociados a cada modo de transporte.
Consumo de papel	Kg/año de papel, según información de compras. Incluye papel blanco, papel reciclado, papel higiénico, toallas secado manos.	Factores de emisión asociados a cada uno de los tipos de papel utilizado.

Alcance 1

Fuente de emisión	Información suministrada por Vicerrectoría Adm.	Información investigación
Vehículos propiedad de la Escuela	Combustible adquirido, por tipo (total anual, en litros o galones)	Factores de emisión asociados a gasolina y diésel
Combustible utilizado para maquinaria y equipos dentro de la Escuela	Combustible adquirido, por tipo (total anual, en litros o galones)	Factores de emisión asociados a gasolina y diésel
Emisiones de procesos	Emisiones anuales de fuentes fijas en el campus. Fuentes generadoras. Tipos y flujos de emisiones.	Factores de conversión a CO ₂ para cada GEI registrado.

Alcance 2

Fuente de emisión	Información suministrada por Vicerrectoría Adm.	Información investigación
Electricidad adquirida	Facturas de electricidad, cantidad total consumida anual, en kW-h	Factores de conversión para la ciudad de Bogotá
Energía generada	Generación anual de energía con paneles solares, kW/h	Factores de conversión para la ciudad de Bogotá

ANEXOS

Anexo 1

Metodologías utilizadas para el cálculo de la huella de CO₂ en IES internacionales y nacionales

Universidades internacionales	Metodología	Método /herramienta
Ohio State University	GHG Protocol	N/R
Yale University	GHG Protocol	N/R
University of California Davis	GHG Protocol	N/R
University of Connecticut	GHG Protocol	N/R
Harvard University	GHG Protocol	N/R
Columbia University	GHG Protocol	N/R
Universidad de Pennsylvania	Propia	N/R
University of British Columbia (Canada)	Propia	N/R
Simon Fraser University (Canada)	Propia	N/R
Universidad de Santiago de Chile	GHG Protocol	N/R
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (Mexico)	GHG Protocol	N/R
Universidad Nacional de Costa Rica	Otras	N/R
Universidade de S.ape Town University s. Incluye:ão Paulo (USP)	Propia	N/R

Universidades internacionales	Metodología	Método /herramienta
Erasmus university	Propia	N/R
University College Cork	GHG Protocol	N/R
The Lynn University	GHG Protocol	Clean Air Cool Planet Campus
University of Texas	Otras	Clean Air Cool Planet Campus
University of Cambridge	GHG Protocol	N/R
University of Vanderbilt	GHG Protocol	Clean Air Cool Planet Campus
Cape Town University	Propia	N/R
York University	Otras	N/R
Geona University	Propia	N/R
University of Bristol	Otras	N/R
Delaware University	Propia	N/R
University of Leicester	Otras	N/R
Minnesota State University	GHG Protocol	Clean Air Cool Planet Campus
University of Winchester	Otras	N/R
University of Salford	Otras	N/R
Charles Sturt University	Otras	N/R
University of Birmingham	Otras	N/R
Universidades Colombia	Metodología	Método/ herramienta
Universidad de Santander	Propia	N/R
Universidad de los Andes Colombia	Otras	N/R
Universidad Autónoma de Occidente	Propia	N/R
Universidad Nacional de Colombia	Otras	N/R
Universidad del Rosario	Propia	N/R
Fundación Universidad del Norte Barranquilla	Otras	N/R
Universidad de Caldas	GHG Protocol	N/R
Universidad El Bosque	Propia	N/R
Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira	Propia	N/R
Escuela de Administración de Negocios (EAN)	Propia	N/R

Fuente: Elaboración propia, a partir de información institucional de las IES.

REFERENCIAS

- Organización Internacional de Normalización - ISO (2006). *ISO*. Obtenido de <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es>.
- Barnett, A. et al. (2012). *A comparison of methods for calculating the carbon footprint of a product*. Reading: University of Reading.
- Hoekstra, A. C. (2006). *Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern*. Springer. ADD Work system. (s.f.). *Add Work System*. Recuperado el 25 de julio de 2019, de *Cálculo, compensación y neutralización de la huella de carbono en eventos*. <http://www.addworksystems.com/wp-content/uploads/2016/12/FICHA-PAS2050-PAS2060-en-Eventos.pdf>.
- Alcaraz, A. H. (2014). *Huella de carbono en la Universidad Politécnica de Cartagena: en busca de la ecoeficiencia*. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.
- Bauforumstahl. (2018). Duesseldorf.
- Cape Town University (30 de noviembre de 2018). *Cape Town University*. Obtenido de <http://www.scielo.org.za/pdf/jesa/v22n2/01.pdf>.
- Carbon Trust (2008). *Product carbon footprinting: the new business opportunity*.
- Chapela, F. (2008). *Acción ambiental para mejores formas de vida*. Oaxaca: Estudios Rurales y Asesoría.
- Charles Sturt University (30 de 11 de 2018). *Charles Sturt University*. Obtenido de <http://news.csu.edu.au/latest-news/business-and-commerce/australias-first-and-only-carbon-neutral-university>.
- Christopher, M., & Jones, D. M. (2011). *Quantifying Carbon Footprint Reduction Opportunities for U.S. Households and Communities*. Berkeley: American Chemical Society.
- Delaware University (30 de noviembre de 2018). *Delaware University*. Obtenido de <https://cpb-us-w2.wpmucdn.com/sites.udel.edu/dist/e/763/files/2017/02/University-of-Delaware-Greenhouse-Gas-Emission-Inventory-2009-2fuwsah.pdf>.
- Departamento Nacional de Planeación (3 de julio de 2019). *MRV de financiamiento climático*. Obtenido de <https://mrvapp.dnp.gov.co/DescargarPublico/>.
- Chavarría-Solera, F., Ó. M.-L.-V.-F. (2016). Medición de la huella de carbono de la Universidad Nacional de Costa Rica para el periodo, 2012-2014. Rumbo a la carbono neutralidad. Fundación Natura; CAEM; Bolsa Mercantil (2106). *Factores de emisión considerados en la herramienta de cálculo de la huella de carbono corporativa Colombia*. Bogotá. Recuperado el 15 de enero de 2019 de https://www.mvccolombia.co/images/Factores_de_Emisi%C3%B3n_Huella_de_Carbono_Corporativa_V6.pdf.
- Geona University (30 de noviembre de 2018). *Geona University*. Obtenido de http://unigesostenibile.unige.it/en/carbon_footprint.
- Global Footprint Network (2018). *footprintnetwork*. Obtenido de <https://www.footprintnetwork.org>.
- Icontec (2007). *Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 14040*. Bogotá.
- IHK Nuremberg (29 de septiembre de 2015). *Lexikon der Nachhaltigkeit*. Obtenido de <https://www.nachhaltigkeit.info>.
- Ihobe (2013). *Siete metodologías para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero*. Obtenido de http://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/7metodologias_gei/es_def/adjuntos/7METODOLOGIAS.pdf.
- Ihobe S.A. (2012). *Guía metodológica para la aplicación de la norma UNE-ISO 14064-1: 2006 para el desarrollo de inventarios de gases efecto invernadero en organizaciones*. Bilbao: Ihobe,

- Sociedad Pública de Gestión Ambiental. Obtenido de http://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/uneiso14064/es_def/adjuntos/PUB-2012-019-f-C-001.pdf.
- Katharina Schaechtele, H. H. (2007). *Die CO₂ Bilanz des Buergers*. Heidelberg: Oficina Federal Alemana de Medio Ambiente.
- Klockenhoff, J. (2009). Product Carbon Footprinting und der Kohlendioxidbewusste Konsument. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit*, pp. 199-201.
- Kristin Stechemesser, E. G. (2012). Carbon accounting: a systematic literature review. *Journal of Cleaner Production* (Elsevier), 17-38.
- Laurent, A., Olse, S., & Hauschild, M. (2012). Limitations of carbon footprint as indicator of environmental. *Environmental Science and Technology*, 4100-4108.
- MADS (2019). *RED+. Conozca qué es el mercado voluntario de carbono*. Obtenido de Conozca qué es el mercado voluntario de carbono.
- Minesota State University . (30 de 11 de 2018). *Minesota State University* . Obtenido de https://www.mnsu.edu/greencampus/carbonfootprint/MSU_Mankato_Carbon_Footprint_Final012014.pdf.
- Ministerio de Relaciones Exteriores (3 de julio de 2019). *Cambio climático*. Obtenido de <https://www.cancilleria.gov.co/cambio-climatico-0>.
- Ministerio Federal de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza, Construcción y Seguridad Nuclear (BMUB) (2016). *Klimaschutzplan 2050*. Berlín.
- Pandey, D., Agrawal, M., & Pandey, J. S. (2011). Carbon footprint: current methods of estimation. *Environmental Monitoring and Assessment*.
- Presidencia de la República (30 de noviembre de 2018). *Presidencia de la República*. Obtenido de Normativa: <http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%20926%20DEL%2001%20DE%20JUNIO%20DE%202017.pdf>.
- Robinson, O., Tewkesbury, A., Kemp, S., & Williams, I. (2017). Towards a universal carbon footprint standard: a case study of carbon management at universities. *Journal of Cleaner Production*, 172, 4435-4455. doi:10.1016.
- Schneider, H., & Samaniego, J. (2010). *La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios*. Santiago de Chile: Cepal. Obtenido de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3753/S2009834_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Spannagle, M. (diciembre de 2003). *Ecologia.org*. Recuperado el 22 de julio de 2019 de *A Comparison of ISO 14064, Part 1, and the GHG Protocol Corporate Module*: <https://www.ecologia.org/ems/ghg/news/cop9/comparison.html>.
- Sprangers, S. (2011). *Calculating the carbon footprint of universities*. Rotterdam: Erasmus University.
- The Lynn University (30 de noviembre de 2018). *The Lynn University*. Obtenido de https://my.lynn.edu/ICS/icsfs/Carbon_Footprint_Report_12_17_12.pdf?target=e3d140fa-a913-45f3-889c-5c26995d24c8.
- United Nations (2013). *Global Warming Potentials*. United Nation Framework Convention on Climate Change.
- Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne (2009). *Rapport Bilan Carbone*. París.
- University College Cork (30 de noviembre de 2018). *University College Cork*. Obtenido de <https://www.ucc.ie/en/media/support/buildingsandestates/energy/reports/UCCCarbonFootprint2011>.
- University of Birmingham (30 de noviembre de 2018). *University of Birmingham*. Obtenido de <https://www.birmingham.ac.uk/university/about/environment/what-we-do/carbon-and-energy/index.aspx>.
- University of Bristol (30 de noviembre de 2018). *University of Bristol*. Obtenido de <http://www.bris.ac.uk/green/doing/energy-carbon-water/>.
- University of Cambridge (30 de noviembre de 2018). *University of Cambridge*. Obtenido de <https://www.environment.admin.cam.ac.uk/what-are-we-doing/carbon/scope-1-2-and-3-emissions>.
- University of Leicester (30 de noviembre de 2018). *University of Leicester*. Obtenido de <https://www2.le.ac.uk/offices/estates/environment/environmental-management/energy/carbon-saver-standard-2016>.
- University of Salford (30 de noviembre de 2018). *University of Salford*. Obtenido de <https://www.salford.ac.uk/estates/environmental-sustainability/environmental-management>.
- University of Texas (30 de noviembre de 2018). *University of Texas*. Obtenido de <https://sites.utexas.edu/carbonroadshow/2016/04/15/how-does-ut-determine-its-carbon-footprint/>.
- University of Vanderbilt (30 de noviembre de 2018). *University of Vanderbilt*. Obtenido de <https://www.vanderbilt.edu/sustainvu/2009/04/how-will-vanderbilts-carbon-footprint-be-calculated-2/>.
- University of Winchester (30 de noviembre de 2018). *University of Winchester*. Obtenido de <https://www.winchester.ac.uk/about-us/sustainability-and-ethics/green-campus/carbon-management-and-reduction-energy-and-water/>.
- Vanderbilt University (30 de noviembre de 2018). *Vanderbilt University*. Obtenido de Growing responsibly: <https://www.vanderbilt.edu/sustainvu/2009/04/how-will-vanderbilts-carbon-footprint-be-calculated-2/>.
- Wintergreen, J., & Delaney, T. (2006). *EPA*. Recuperado el 22 de julio de 2019 de ISO 14064, International Standard for GHG Emissions Inventories and Verification: <https://www3.epa.gov/ttn/chief/conference/ei16/session13/wintergreen.pdf>.
- World Resources Institute (2001). *Green House Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard*. Washington, D.C.: WRI. Obtenido de <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>.
- Wiedmann, T., & Minx, J. (junio de 2007). *A definition of "carbon footprint"*. Obtenido de https://info.ornl.gov/sites/rams09/k_fernandez/Documents/carbon_footprinting.pdf.
- World Resources Institute; WBCSD (2011). *Greenhouse Gas Protocol: Technical Guidance for Calculation Scope 3 Emissions*. Washington, D.C.: WRI. Obtenido de https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Corporate-Value-Chain-Accounting-Reporting-Standard-EReader_041613_0.pdf.
- World Resources Institute; WBCSD (30 de noviembre de 2018). *Green House Gas Protocol*. Obtenido de Bilan Carbon: <http://ghgprotocol.org/Third-Party-Databases/Bilan-Carbone>
- Yale University (2017). *Yale Sustainability*. Obtenido de Greenhouse Gas Emissions: <https://sustainability.yale.edu/planning-progress/areas-focus/emissions>.
- York University (30 de noviembre de 2018). *York University*. Obtenido de <https://www.york.ac.uk/news-and-events/news/2014/campus/carbon-reduction/>.

Las estatuas de ayer, hoy y mañana

Yesterday, today, and tomorrow's statues

JOSÉ CAMILO VÁSQUEZ CARO

Director del Departamento de Humanidades e Idiomas.

jose.vasquez@escuelaing.edu.co

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Cuando empecé a escribir este texto, veía a través de diversas fuentes (noticias, redes sociales, imágenes y textos) cómo en Popayán derribaban la estatua de Sebastián de Belalcázar y cómo se interpretaba este acontecimiento. Utilizo la palabra *acontecimiento* porque lo sucedido fue más que un mero hecho. El acontecimiento marca una serie de rupturas y el comienzo de nuevas etapas. Me baso en una concepción braudeliana de la historia que nos permite pensar la historia como grandes duraciones y estructuras. Si bien los acontecimientos son de muy corta duración, éstos pueden marcar el comienzo de una nueva estructura histórica a mediano o largo plazo. Agrego que la trascendencia del acontecimiento depende del lugar de enunciación de quien lo interprete o viva. Lo ocurrido con la estatua del conquistador español en Popayán dará mucho para

discutir y pensar. Tal vez en un futuro los historiadores verán esto como un acontecimiento estructural que marcará las narrativas del pasado y la articulación con un presente futuro.

En el aspecto discursivo, podríamos interpretar este acontecimiento desde innumerables perspectivas. Y esas interpretaciones nos podrían revelar mucho no sólo sobre los involucrados en el acontecimiento sino sobre quienes lo interpretan. Por ejemplo, podríamos verlo desde la filosofía de la liberación, desde la decolonialidad, desde la poscolonialidad, desde el vandalismo, desde la destrucción de un monumento nacional, desde la justicia, desde la ruptura de una estructura de poder, desde la victoria de la hegemonía o desde cualquier otro lugar de enunciación y marco de análisis. Personalmente, veo que el acontecimiento que menciona se



puede conectar con el derribar simbólico de un orden o un imaginario. Hay un quiebre con un modelo, una memoria y lo que genera el discurso.

No pretendo entrar en más detalles sobre lo sucedido en Popayán en días pasados, pero sí quiero usar ese acontecimiento como punto de partida para reflexionar acerca de los espacios, lugares y roles del pasado, de la memoria y de las ruinas en la construcción de las narrativas que les dan sentido a nuestros presentes. Me gustaría reflexionar en torno a los cambios, las permanencias y las dinámicas entre estas aparentes dualidades que, a mi modo de ver, son uno mismo.

Escribo a finales del 2020, y puedo afirmar que estos meses de encierro y aislamiento nos han alterado. Las rutinas, las dinámicas culturales, las actividades sociales y el tejer de los sistemas económicos del mundo globalizado, entre tantas otras actividades, han cambiado. Alterar implica la acción de generar un cambio sobre algo que ya tiene forma en una realidad. Tumbiar una estatua también es alterar cómo interpretamos y relacionamos esto con un objeto que evoca y contiene un pasado.

Me encanta este verbo tan humano, y siempre me evoca un ejemplo muy cotidiano, el de alterar ropa para que nos quede bien. Alterar evoca la modificación —desbaratar, reorganizar, reducir, agrandar, etcétera— de un orden de algo ya establecido. A diferencia de comer, dormir, correr o respirar, alterar es un verbo muy humano. Los seres humanos somos los seres de este planeta que vivimos alterando los ecosistemas, la naturaleza, las estructuras culturales y sociales, en fin, todo. Pensando en el ejemplo de la ropa, los seres humanos también somos capaces de alterar nuestro cuerpo para ajustarnos a una moda o una ropa. El alterar puede incluso atravesar y modificar el espacio íntimo y corporal del ser humano. Se podría incluso pensar que hoy las redes sociales nos alteran y atraviesan tanto en el plano discursivo como en el estético, y en la manera como nos narramos y exponemos ante otros.

La naturaleza es dinámica y cíclica, y se altera únicamente cuando hay un agente externo que rompe un equilibrio y un orden. Me parece supremamente paradójico que el ser humano viva alterando el mundo y que, al mismo tiempo, sea tan resistente al cambio o a que le alteren el orden establecido. Pero somos seres llenos de contradicciones y paradojas. Intentamos absurdos como luchar contra el paso del tiempo y dejar pequeñas huellas en un espacio infinito. Sin embargo, esto sería tema para otro escrito.

¿Por qué empiezo mi reflexión con el verbo *alterar*? Pues porque en el alterar coinciden muchos temas. Está la relación con el entorno y está también la acción que nace desde el pensar. En su carta sobre el humanismo, Martin Heidegger decía que el pensar era la acción máxima; en ese breve texto, Heidegger conectaba pensar, lenguaje y ser en forma casi poética. En parte, estoy de acuerdo con la idea de que pensar es una acción suprema, y agrego que ese pensar también marca nuestro impacto sobre los entornos y los otros seres. En este sentido, hay una pluralidad de pensares que se encuentran y disputan en el mundo. El ser humano piensa y actúa —claro está que no siempre de la mejor manera— en un mundo habitado por otros seres humanos y otros seres. La relación entre el ser humano y su entorno es entonces cambiante, se altera y, paradójicamente, también tiene permanencias. El alterar es la huella humana que busca sobrevivir al tiempo y, a su vez, la acción humana es efímera.

¿De dónde provendrá este deseo humano por lo permanente, por lograr algo durable en el sentido platónico, algo que no cambia y que es inalterable en todos los tiempos? Llevamos siglos construyendo visiones de mundo influenciadas por ruinas y huellas de otros seres humanos. En Occidente concebimos 3000 años de historia, aunque se cree que las culturas sedentarias llevan más de 10.000 años de existencia. Una constante que podemos ver en esta historia son las huellas. Lo que hace el ser humano no logra sobrevivir del todo al paso del tiempo y lo que sobrevive es una huella, una ruina de lo que fue. Pero como humanos también construimos huellas que queremos que sobrevivan en el tiempo y que les den sentido a los presentes que vendrán. Hablo concretamente de los monumentos y las estatuas, objetos que desde nuevos están pensados para sobrevivir en el tiempo. Están pensados para cargar sobre sus hombros una narrativa, un discurso y una lectura de mundo. Como nos recuerda Yuval Harari, todo discurso del que no sobrevive es una adaptación de los que sobrevivieron. Pero volveré a tocar este tema más adelante.

Desde una concepción de tiempo lineal, podríamos hacer una especie de árbol genealógico de las civilizaciones. Podemos organizar la información como causa y efecto y así explicar la razón de ser de muchas cosas. Si concebimos el tiempo de forma no lineal o sin dirección, la interpretación de la historia es otro asunto completamente distinto. En aras del argumento de este texto, mantendremos una visión lineal y unidireccional del tiempo. Así podemos decir que el mundo helénico influyó al mundo romano y éstos a su vez forjaron a una Europa heredera de su tradición, que a partir del siglo XVI empezó a alterar a todo el globo. Vale la pena señalar que el mundo helénico se vio influenciado por los egipcios, y en este sentido, Europa se podría concebir como heredera del África. El tiempo pasa, y lo que nos queda concretamente de esos seres son ruinas materiales y tradiciones que se han ido modificando a lo largo de las generaciones.

Las religiones nos muestran y materializan estas ideas. Una mirada no arraigada a una religión en particular nos podría permitir ver cómo hay prácticas comunes o con un origen compartido en equis religiones. Al mirar prácticas, ritos y creencias, se puede ver que hay mestizajes discursivos que se van alterando según contextos, para adaptarse a las narrativas que requiere

el entorno. El lugar de enunciación es clave, pues determina los sentidos que va a tener la interpretación. No es lo mismo estudiar el islam en la Andalucía de finales del siglo XIX que estudiar el islam en Nueva York en el 2000 o en Nueva York en el 2001.

El asunto es aún más complejo cuando pensamos en los mestizajes y los puntos de encuentro entre culturas y civilizaciones. El comercio, los intercambios, las guerras y los desplazamientos llevaron a dinámicas permanentes, que muestran que todo vive en un estado permanente de alteración. Desde que las culturas humanas dejaron de ser autosuficientes y aisladas de otras, hay un punto de encuentro humano de poderes y estructuras. Incluso las resistencias y las culturas que lucharon contra las expansiones de imperios se definieron negando a éstos y, a su vez, reconociéndolos. Me defino por lo que soy y, al mismo tiempo, estableciendo límites con lo que no soy. Y al reconocer lo que no soy, expando mi propio horizonte y mis fronteras.

Es en este punto donde la estatua de Belalcázar cobra importancia y su derribar constituye todo un acontecimiento. Si la estatua no afecta mi presente, sencillamente no la reconozco, no la percibo, es un no lugar, un objeto sin sentido ni importancia. Pero el hecho de que la estatua sea receptor de acciones implica que tiene algún tipo de importancia en ese contexto. Desde dicha óptica, conmemorar la fundación de una ciudad poniendo flores a los pies de la estatua o haciendo un grafiti en ésta revelan que la estatua aún tiene sentido. Nuestra relación con las estatuas es de una complejidad profunda y una mina para el análisis cultural, histórico y político.

Los humanos somos efímeros y todos, de una forma u otra, tratamos de dejar nuestra huella y nuestra nota en la larga canción del tiempo. ¿Cuántas personas han tenido que existir para que estemos acá? Yo pierdo la cuenta después de cinco generaciones:

2 padres
4 abuelos
8 bisabuelos
16 tatarabuelos
32 tataratatarabuelos

En resumen, 62 seres para que yo esté acá. Y en esa cuenta son cinco generaciones, posiblemente unos 150 años de historia. En los linajes directos pocos sa-

bemos de dónde venimos, es decir, no nos conocemos a nosotros mismos como producto cultural, histórico y biológico. Nuestra relación con el pasado en el ámbito personal es muy limitada y muchas veces ni siquiera somos conscientes de ella. Conocer el pasado implica también conocer algo de mí mismo.

Retomando nuestro hilo conductor, he escuchado y leído en muchas partes que estos meses de encierro y aislamiento nos han alterado. Se podría decir, en síntesis, que a raíz del fenómeno vivido en el 2020 toda nuestra relación con el mundo se ha visto alterada. Me gustaría detenerme un segundo y profundizar un poco en esta idea de “nuestra relación con el mundo”. Muchos podrían decir que “es una afirmación muy sencilla y obvia”. Algunos afirmarían que “yo existo y me relaciono con el mundo, y esta relación va cambiando según situaciones y contextos”. Y en este sentido, el 2020 no sería nada del otro mundo, pues nuestra relación con el mundo vive cambiando permanentemente.

Otros podrían preguntar: “¿Tiene sentido cuestionar algo tan obvio?”. Exploremos algunas ideas en torno a este tema. Nuestra relación con el mundo implica una concepción de mundo bilateral. La afirmación está compuesta por dos entidades. Por un lado, estamos nosotros (¿quiénes somos esos nosotros? Ese es otro tema), un conjunto plural en primera persona, y por otro lado está “el mundo”, un posible escenario con un gran componente espacial. Entonces, me surge un primer interrogante: ¿ese nosotros es parte del mundo? Si no lo es, podríamos pensar que ese nosotros es una construcción o un agente por fuera del mundo. ¿O existimos y somos parte de ese mundo? La mayoría de nosotros considera que vive en el mundo y, gústele o no, forma parte de él. De hecho, muy pocos cuestionan su estar ahí.

Desde hace algunos siglos, la humanidad occidentalizada ha jugado mucho con esta idea del individuo y de su existencia. Nosotros, hijos de un largo proceso histórico basado en creencias en la razón y la ciencia, here-

damos y rara vez cuestionamos esta noción de individuo y un “yo”, y si existe el “yo” pueden existir fácilmente el nosotros y el vosotros y la noción de otros, esos que no somos nosotros. Y en este punto podemos conectarnos con el mestizaje en la historia. Cuando ese nosotros reconoce la existencia de otro, creamos un nuevo lugar de enunciación. O queremos ser como ese otro, o le tememos, o lo desconocemos, o nos atrae y fascina.

Muchos se sorprenderán, pero esta noción del individuo no es necesariamente universal. No es mi propósito abordar aquí este tema, pero no puedo evitar mencionarlo. Algunas culturas no conciben la noción de individuo u otras nociones que nosotros hemos naturalizado, como la propiedad privada o la democracia participativa. Y es en este punto donde se conecta el tema de las estatuas y los monumentos. Esos objetos les generan un algo a los “individuos”, les “hablan” y transmiten una visión estática de un mundo cambiante. Esos objetos —casi mágicos— vienen cargados de códigos e información que se espera les den sentido al presente y al mundo que habitamos y en el cual actuamos.

Esos objetos —por más olvidados y planos que los creamos— tienen una influencia enorme en las narrativas que construyen nuestros presentes. Retomando una noción de tiempo lineal, podemos ver entonces una conexión entre pasado y presente. Pero agreguemos otro elemento, ese horizonte del futuro del que nos habla Reinhart Koselleck que nos genera expectativas y que atraviesa todas nuestras conductas y creencias éticas y morales. Entonces hay una conexión muy fuerte entre



nuestro pensar, nuestro actuar y cómo construimos narrativas y memorias que le dan sentido al presente. Y también están los horizontes de futuro, que permean y atraviesan los presentes, y todo nuestro actuar enfocado hacia ese mundo de expectativas.

Sin duda, el 2020 nos ha cambiado muchas condiciones. Y a su vez, hemos visto que el cambio es quizás una de las permanencias más trazables de la historia. La experiencia humana no es estática y se mueve en redes y dinámicas muy complejas. Lo extraño sería que no hubiera cambios. Al quedar quieto algo, el tiempo lo devora y lo atraviesa.

Considero que el acontecimiento de la estatua de Belalcázar altera muchas cosas del presente. Para empezar, se sacuden y cuestionan nociones de nación, narrativa y memoria en la historia en Colombia. Escribo todo esto con una razón de fondo. Me interesa mucho que nos

cuestionemos, no sólo como individuos y profesionales, sino también como seres que forman parte de colectivos y construcciones mayores. Tenemos la posibilidad de mirar los horizontes del tiempo y pensar hacia atrás y pensar hacia delante. Esta conciencia de ubicarnos como seres históricos y espaciales suena como algo obvio, pero no lo es. La pregunta que me gustaría dejar en el lector es la siguiente: ¿cómo altero el mundo (todo eso que no soy yo, pero a la vez a lo que pertenezco) y me dejo alterar por el mundo?

REFERENCIAS

- Braudel, F. (1970). *La historia y ciencias sociales*. Alianza.
 Harari, Y. (2014). *De animales a dioses*. Debate.
 Heidegger, M. (2000). *Carta sobre el humanismo*. Alianza.
 Koselleck, R. (1993). *Futuro pasado. Para una semántica de los tiempos históricos*. Paidós.



CONMEMORACIÓN CENTENARIA (1920-2020)

Julio Garavito Armero: breve perfil de su vida y época en el contexto colombiano. Un doloroso episodio de nuestra historia: la Guerra de los Mil Días

CENTENNIAL COMMEMORATION (1920-2020)

Julio Garavito Armero: Brief profile of his life and times in the Colombian Context. A painful episode of our history: The Thousand Days' War

GABRIEL HUMBERTO PULIDO CASAS

Profesor distinguido de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

gabriel.pulido@escuelaing.edu.co

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

La publicación de este artículo forma parte del conjunto de eventos con los cuales la Escuela Colombiana de Ingeniería se une a la conmemoración del centenario del fallecimiento de Julio Garavito Armero, ocurrido el 11 de marzo de 1920, y le rinde homenaje a su memoria. Al lado de un muy breve perfil de la vida de Julio Garavito, se presenta una resumida y selectiva visión de su época, en el contexto del país. Así mismo, se hace referencia a lo relacionado con algunos conflictos armados de la época y se ilustra y enfatiza en lo correspondiente al episodio de la Guerra de los Mil Días, que ocurrió a finales del siglo XIX y comienzos del siglo XX, conflictos y episodios de los cuales Garavito fue testigo y que además lo afectaron en etapas de su formación, ejercicio profesional y misiones que por entonces cumplió.

Abstract

This article is part of a set of events which Escuela Colombiana de Ingeniería has planned to commemorate the centenary of Julio Garavito Armero's death, which took place on March 11th, 1920, to honor his memory. Besides a brief profile of Julio Garavito's life, a short and curated vision of his life is shown, within the context of the country. Likewise, some of the armed conflicts of the time are cited, illustrating and emphasizing the Thousand Days' War, which occurred between the end of the 19th century and the beginning of the 20th century. Conflicts and episodes witnessed by Garavito that affected his academic training, career, and undertakings pursued by that time

BREVE PERFIL DE LA VIDA Y ÉPOCA DE JULIO GARAVITO ARMERO

Julio Garavito Armero nació en Bogotá el 5 de febrero de 1865. Por entonces, nuestro país estaba constituido como Estado federal, con el nombre de Confederación Granadina (1858-1863). Su presidente era Manuel Murillo Toro (de 1864 a 1866), destacado promotor y representante del radicalismo colombiano, corriente política de gran influencia durante la segunda mitad del siglo XIX.

Las circunstancias y coyunturas de su época tuvieron especiales connotaciones para Garavito y sus coetáneos, por lo crítico y complejo de los sucesivos esquemas políticos que rigieron la nación, sus reformas, las duras confrontaciones y críticos conflictos a los cuales estuvo sometida, incluyendo varias revoluciones y la guerra de los Mil Días.

A la edad de diez años, Garavito Armero ingresó al Colegio de San Bartolomé, regentado en ese momento por laicos, como consecuencia de la expulsión del país que se había aplicado a los jesuitas. Pocos meses después, en 1876, se presentó el conflicto conocido como guerra de los conservadores contra los radicales.

En 1884 terminó su bachillerato, época que coincidió con los comienzos de la guerra civil, enfrentamiento que le impidió continuar sus estudios y que afectó al país. Debió esperar tres años para que reabrieran la Facultad de Ingeniería y así poder ingresar a la Universidad Nacional de Colombia, en 1887.

En junio de 1891 se graduó de matemático y en octubre del mismo año obtuvo su título de ingeniero civil. De inmediato lo nombraron profesor de la Facultad de Ingeniería y, casi enseguida, director del Observatorio

Astronómico Nacional.

El ejercicio de la cátedra ocupó buena parte de su misión como matemático e ingeniero, especialmente en los campos del cálculo infinitesimal, mecánica racional y astronomía. A la astronomía dedicó lo mejor de su vocación y su espíritu de investigación, los cuales puso en práctica en el desempeño de su cargo como director del Observatorio

por espacio de 27 años, tiempo durante el cual se consagró a los estudios y observaciones meteorológicas, de eclipses y cometas, cálculo de efemérides y los muy reconocidos sobre el movimiento de la Luna.

En las primeras etapas del recorrido profesional de Garavito, el país y sus actividades académicas se vieron afectados por la guerra civil de 1895 y, sobre todo, por dos dramáticos episodios de la vida nacional: la guerra de los Mil Días (1899-1902) y la separación de Panamá (1903).

Le correspondió también a Julio Garavito, ya hacia el final de su vida, ser testigo de la gran confrontación bélica correspondiente a la Primera Guerra Mundial (1914-1918) y sus negativas consecuencias para Colombia, consecuencias que incidieron en el gobierno del presidente José Vicente Concha en aspectos tales como la paralización del comercio exterior, la disminución drástica de los gastos estatales, la suspensión de obras públicas y el aplazamiento de auxilios a empresas públicas, escuelas, colegios y universidades de ese entonces. Dentro de su enorme vocación por escribir y publicar, registró su sentir sobre este importante conflicto mundial en un artículo titulado “Causa principal de la guerra europea”, que apareció en la *Revista del Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario*.

CONFLICTOS Y GUERRAS EN LA ÉPOCA

Desde el principio de los tiempos, la especie humana no ha cesado de mantenerse en luchas muy variadas en cuanto a origen, alcance, ubicaciones e intermitencias. En el caso colombiano, los conflictos armados generalmente han sido de naturaleza política y han estado alentados por rezagos producidos dentro de una sociedad que quedó altamente militarizada después de la independencia alcanzada en 1819.

Ha habido algún predominio de lo castrense y de fuerzas desmovilizadas, utilizadas por grupos o partidos políticos para irse a la guerra o asumir la defensa con el liderazgo de personajes que habían ostentado altos grados militares. A esto se agregaron las tensiones entre el poder central y el de las regiones (periodo 1860-1895), principalmente en lo relacionado con el control de recursos fiscales, con ejemplos tan elocuentes como el de Panamá, con la construcción del ferrocarril del istmo y sus trascendentales implicaciones en esa materia.

Los partidos políticos, especialmente a partir del año 1848, cuando se configuraron el liberalismo y el conser-



vatismo, se convirtieron en actores de las guerras civiles, así como en causas y consecuencias, dentro de un marco de lealtades, odios y venganzas, caudillismos impetuosos y soberbios que se dieron en forma encadenada.

Como ha sido tradición en los conflictos, confrontaciones y guerras a lo largo de la historia de la humanidad, los antecedentes y las causas han tenido muy complejos desarrollos, con altos contenidos de irracionalidad, irresponsabilidad, insensatez, locura, fanatismos, polarizaciones extremas, venganzas y retaliaciones por parte de los actores e involucrados. Y lo peor, lo más lamentable, es que parece que no hubo casos de excepción en cuanto al aprendizaje de las lecciones que deberían quedar para recurrir con efectividad y buen sentido al oportuno reconocimiento de los problemas generadores de los conflictos, así como al consecuente manejo de inspiración y liderazgo para acometer las negociaciones conducentes a su conveniente solución.

En el caso colombiano, la guerra de los Mil Días representó uno de los más dolorosos episodios de toda su historia, subproducto de las numerosas confrontaciones del siglo XIX, originadas en particular por la pugna entre conservadores y liberales por detentar el poder. Esto debería ser motivo de serios análisis, reflexiones e investigaciones conducentes al aprendizaje y toma de conciencia por parte de todos los colombianos, principalmente por quienes tienen los máximos niveles de liderazgo y poder de decisión en los estamentos de gobierno, política, dirigencia, academia, investigación, historia y centros de pensamiento.

Guerra civil de 1860-1862

Dentro de la Confederación Granadina, esquema político que regía al país, la crisis fiscal y los conflictos estados-gobierno central prendieron la chispa que inicialmente se ubicó en el Cauca, con la abierta rebelión del general Tomás Cipriano de Mosquera en su condición de supremo director de esta guerra.

En el año 1856, un grupo de inconformes liberales y conservadores formaron una coalición llamada Partido Nacional, con Mosquera como candidato presidencial, en oposición a Mariano Ospina, y con el anuncio de que si este último ganaba lo derrocarían. Finalmente, Ospina llegó a la presidencia y durante su gobierno promulgó leyes que restringieron en forma severa las libertades de los estados federales, lo que dio origen a



Un banquete en plena contienda.

revueltas en Boyacá, Santander, Bolívar y Magdalena. La pretensión de dividir el Estado Federal del Cauca precipitó el conflicto y el enfrentamiento de Mosquera al gobierno conservador del presidente Ospina y a la Confederación Granadina. El triunfo de Mosquera, único logrado por el grupo insurrecto en la secuencia de nuestros conflictos, confirmó la fortaleza de las regiones y estados contra el poder central y abrió paso al nuevo esquema de nación, conocido como los Estados Unidos de Colombia.

Guerra de los conservadores contra los radicales (1876)

Se inició en el Cauca, durante la presidencia de Aquileo Parra, elegido en el año 1874 en medio de complicadas circunstancias y en confrontación con Núñez y Calvo. Prontamente, el conflicto se extendió a muchos rincones del país y a él se agregaron serios problemas, generados por las aspiraciones de la Iglesia a manejar la educación pública, las cuales contaron con el apoyo de algunos sectores del conservatismo. Así, a la confrontación entre el Partido Conservador y la facción radical del liberalismo se agregó el sensible aspecto religioso. El triunfo correspondió a los liberales, dentro del acuerdo de Manizales y el destierro de los obispos de Pasto, Popayán, Santa Fe de Antioquia y Medellín.

Las batallas más decisivas de esta guerra fueron las de Los Chancos, Garrapata y Manizales.

Guerra de 1885 y fin del liberalismo radical

El radicalismo había perdido el poder en 1878, ante el triunfo de Julián Trujillo en las elecciones para un pe-

riodo de dos años (1878-1880). Le siguieron el primer gobierno de Núñez (1880-1882), liderando el liberalismo independiente, y luego los gobiernos radicales de Zaldúa y Otálora (1882-1884).

Un punto álgido fue el de la reforma de la Constitución de Rionegro, en 1884, rodeada de inconformidades dentro de los sectores radicales, los cuales alimentaban una guerra abierta contra Núñez, líder de la reforma. En medio de este ambiente conflictivo, en octubre de 1884 se produjo una rebelión en Santander contra el presidente de ese Estado, que se extendió a Boyacá, Tolima, poblaciones cercanas al río Magdalena y la Costa Atlántica.

Esta guerra se diluyó con la derrota radical en la batalla de la Humareda, sobre el río Magdalena. Su resultado abrió paso a la derogación de la Constitución de 1863, obra cumbre del radicalismo, así como a la promulgación de la Constitución de 1886, con su régimen centralista.

Guerra de 1895

El liberalismo, que había sido derrotado en la guerra de 1885, se había mantenido en sopor y expectativa durante el inicio de la Regeneración, comandada por Núñez. En 1891 se creó el Centro Liberal Nacional, como eje de su reorganización. En las elecciones de 1892 había triunfado la fórmula Núñez-Caro y los liberales pasaban por situaciones desesperadas. Durante el periodo presidencial de Miguel Antonio Caro (1892-1896), se tomaron medidas muy impopulares y de restricción de libertades de prensa e individuales. En enero de 1895, los liberales se sublevaron al mando del general Siervo Sarmiento, a quien vencieron en la batalla de La Tribuna (Cundinamarca). La guerra se extendió a todo el país, pero terminó con la derrota liberal en la batalla de Enciso.

Esta guerra constituyó un primer antecedente de la gran confrontación que sobrevendría con el cambio de siglo y la llegada del siglo XX: la guerra de los Mil Días. Muerto Rafael Núñez, Miguel Antonio Caro lideraba el partido de la Regeneración y la fracción llamada nacional, en pugna con la fracción histórica. Si bien Caro ganó la guerra de 1895, esto le significó la pérdida del poder, en medio de conflictos propios de las reglas de juego para la reelección a la cual aspiraba, cuando el periodo presidencial era entonces de seis años. Para no inhabi-

litarse, dejó el cargo en manos del vicepresidente, y al no compartir algunas de sus decisiones retomó el poder e influyó en decisiones claves para las candidaturas a la presidencia y la vicepresidencia, a cargo de Manuel Antonio Sanclemente y José Manuel Marroquín, que resultarían desastrosas para los destinos de la nación en los años siguientes.

GUERRA DE LOS MIL DÍAS (1899-1902)

Antecedentes y causas

Desde el comienzo de la vida republicana, el país se ha visto envuelto en numerosos conflictos y confrontaciones civiles de carácter muy recurrente, en particular durante el siglo XIX, inicialmente entre bolivarianos y santanderistas, que evolucionan a los sostenidos entre liberales y conservadores. La anterior enumeración y la breve ilustración de los principales conflictos dan una suficiente idea de la índole y alcance de ese preocupante problema colombiano, considerado muchas veces como una interminable secuencia de guerras civiles.

En esto tuvieron mucho que ver las guerras civiles anteriores a la de los Mil Días, especialmente la de 1895, así como los impactos de las reformas y cambios constitucionales, con sus fuertes virajes políticos en términos de forma de gobierno y efecto en las regiones o estados en que estuvo dividido el país, sobre todo las constituciones de Rionegro de 1863, que apoyaba



Niños reclutados por los rebeldes.

el Estado federal, y la de 1886, que abogaba por un Estado central fuerte.

Las elecciones presidenciales de 1898, ganadas por Manuel Antonio Sanclemente, se dieron en medio de una campaña muy agitada y con vientos de guerra, en un país dividido por varias y muy marcadas corrientes: por una parte, los nacionalistas, al frente del gobierno, muy excluyentes con los liberales e incluso con el otro sector conservador, y por la otra, los liberales, como grupo muy importante en el escenario político, junto con los conservadores llamados históricos, que veían conveniente el entendimiento con los liberales, estaban en contra de la censura de prensa y se oponían a la fuerte restricción de derechos individuales. Además, dentro del liberalismo había un fraccionamiento entre los partidarios de agotar las instancias pacíficas para acceder al poder y los que preferían la confrontación armada.

El presidente Sanclemente, por su avanzada edad y problemas de salud, se vio precisado a delegar el poder en Marroquín. Dadas las crisis y desconfianzas que se suscitaron tras 88 días de vacíos de poder, que atizaron las condiciones para la guerra, Sanclemente volvió a asumir la presidencia en noviembre de 1898.

Del lado liberal, dos personajes son considerados como responsables de la espantosa conflagración. Por un lado, el general Rafael Uribe Uribe, porque a pesar de la opinión y la actitud de los dirigentes de su propio partido, lideró una dura campaña desde su periódico *El Autonomista* y como liberal del grupo de los “guerristas” encendió la chispa inicial; más adelante, no obstante la precariedad de fuerzas para combatir, precipitó y avivó las llamas del incendio revolucionario. Por otra, el general Benjamín Herrera, por su coparticipación inicial y la lamentable decisión de llevar la guerra a Panamá, con sus graves efectos en la separación del istmo de Colombia.

A causa de este conflicto armado, se suspendieron las tareas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional. Garavito, como profesor, recurrió a las instalaciones del Observatorio Astronómico y unió a otros profesores y alumnos para avanzar con la enseñanza de asignaturas correspondientes a los dos primeros cursos del plan de estudios. Así mismo, convocó a un grupo de ingenieros y profesores amigos a tertulias centradas en matemáticas y otros temas de su interés, que condujeron a constituir una asociación que se denominó el Círculo de los Nueve Puntos.



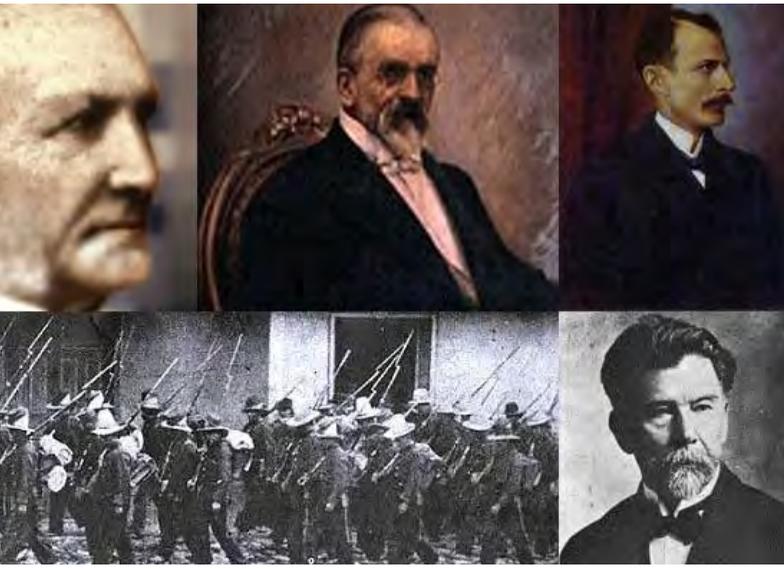
Fusilamientos durante la guerra.

Al concluir la guerra, Garavito, en su condición de director del Observatorio Astronómico, justificó y gestionó ante el gobierno nacional la urgente necesidad de reconstruir el Observatorio, al tiempo que se comprometió a ampliar los servicios que el país demandaba en términos de levantamientos cartográficos y delimitación de fronteras internacionales.

Inicio y primera fase

Las hostilidades arrancaron en Santander, por iniciativa y protagonismo liberal, sin debida preparación y unidad de mando, con un asalto inicial a Bucaramanga y Socorro y sucesivos levantamientos en Boyacá, Tolima, Magdalena, la costa caribe, Cauca y otras regiones, incluyendo una sorpresiva ofensiva y ocupación en Panamá, de honda y lamentable repercusión dentro del complejo proceso separatista que ya se impulsaba en ese territorio del país.

En esta fase, ambos bandos se enfrentaron con ejércitos en grandes batallas. El comando rebelde se mantuvo dividido por rivalidades alrededor de belicistas y pacifistas, con un intento fallido de nombrar al general Vargas Santos presidente provisional de la república. Los principales líderes de la parte rebelde fueron los generales Vargas Santos (como director del liberalismo y comandante en jefe del ejército liberal), Benjamín Herrera, Rafael Uribe Uribe y Lucas Caballero. Por parte del gobierno conservador, el general Próspero Pinzón (nombrado inicialmente jefe de operaciones en Santander) y los generales Carlos Albán, Víctor Manuel Salazar y Alfredo Vázquez Cobo.



De izquierda a derecha aparecen algunos protagonistas del doloroso episodio: Manuel Sanclemente, José Manuel Marroquín, Rafael Uribe Uribe, tropas rebeldes y Benjamín Herrera.

Dentro de esta fase, para complicar la situación, los conservadores le dieron un golpe de Estado al gobierno nacionalista el 31 de julio de 1900.

Las principales batallas sostenidas en esta guerra fueron las de Peralonso, con triunfo liberal, y la de Palonegro. Ésta, que resultó ser la más larga y cruenta, dejó la revolución herida de muerte.

Con posterioridad a Palonegro, los liberales intentaron resarcirse y llevaron la confrontación a otros escenarios, incluyendo zonas de la Costa Atlántica y Panamá; así mismo, se dedicaron a realizar gestiones para comprometer e involucrar a los gobiernos liberales de Venezuela, Guatemala y Ecuador, así como incursionar en la modalidad de guerra de guerrillas. Los liberales fueron, efectivamente, una amenaza durante unos 230 días de los 1130 que duró la guerra, y se requirieron 900 más después de Palonegro, al igual que la imposición de la pena de muerte a guerrilleros por parte del gobierno en febrero de 1901, para alcanzar el cese al fuego definitivo.

La ocupación de Panamá por parte del ejército rebelde, comandado por el general Herrera, en enero de 1902, supuestamente se produjo sobre la base de que ese territorio era el único en que la revolución podría contar con fuerza. Ya se había intentado un levantamiento por parte de Belisario Porras, que a la postre fracasó; sin embargo, alcanzó un triunfo liberal:

la instalación de un gobierno provisional y el control de Panamá, con excepción de Colón y Ciudad de Panamá, protegidas por la marina estadounidense en función del Tratado Mallarino-Bidlack, suscrito entre Estados Unidos y Colombia alrededor del proyecto del canal y del ferrocarril transoceánico.

La guerra de los Mil Días, con sus complejas implicaciones en lo concerniente a Panamá, se considera como uno de los factores más determinantes en la separación del istmo de Colombia, o mejor aún, en la culminación exitosa del movimiento separatista, principalmente por los trastornos y dilaciones que trajo al proceso de negociaciones entre Estados Unidos y Colombia acerca del tratado para la construcción y administración del canal, así como los inconvenientes de la ocupación de tropas rebeldes en el territorio del istmo, objeto de ilustración en próximo artículo de esta serie de la conmemoración centenaria que la Escuela está llevando a cabo.

Tras el largo periodo de lamentable y desastrosa confrontación, la guerra culminó con conversaciones y los siguientes tratados de paz:

- Tratado de Neerlandia (zona bananera, Ciénaga, Magdalena, 24 de octubre de 1902).
- Tratado de Wisconsin (a bordo del acorazado de ese nombre, atracado en la bahía de Panamá, con la injerencia de Estados Unidos, 12 de noviembre).
- Tratado de Chinácota (entre los generales Ramón González Valencia, en nombre del gobierno, y Santos Acosta, director supremo de la guerra, 21 de noviembre).

En el Tratado de Wisconsin se contempló la convocatoria de una nueva elección del Congreso y la tarea de estudiar las negociaciones relacionadas con la construcción del canal de Panamá, que no prosperaban al ritmo esperado y con las expectativas que las circunstancias demandaban. El 24 de noviembre de 1902 se expidió el decreto de indulto a los rebeldes y se ordenó el cese al fuego.

CONSECUENCIAS

Las consecuencias fueron numerosas, graves, penosas y desastrosas para la nación, entre las cuales se destacan:

- La devastación del país, su agotamiento y su ruina, como resultado del alcance de la guerra en términos de cobertura, duración, número de víctimas y efectos directos y colaterales.
- Un gobierno *de facto* durante el conflicto, sin legitimidad, como consecuencia del golpe de Estado del 31 de julio de 1900.
- El Partido Conservador dividido y el Partido Liberal derrotado.
- El Ejército, la Iglesia y los líderes, sin prestigio.
- Crisis económica, con destrucción de importantes industrias y vías de comunicación, y afectación de la actividad económica y productiva del país.
- Precario equilibrio y alto costo para mantener la paz durante casi los 50 años siguientes, dentro del propósito nacional que a manera de consenso intentó el país (Voto o Promesa Nacional por la Paz).
- La desmembración del país, con la separación de Panamá, de carácter definitivo esta vez, y con sus fatales consecuencias en su integridad y sus perspec-

tivas y proyección en el concierto de las naciones, de haberse conservado ese precioso y estratégico territorio y la pertenencia y explotación del canal de Panamá. Según Eduardo Lemaitre, “Con justicia, puede considerarse como una de las causas que principalmente contribuyeron al episodio de la secesión de Panamá”.

- Más de 200.000 muertos.

BIBLIOGRAFÍA

- Arias de Greiff, J. (2009). *Julio Garavito: vida y obra*. Medellín: Comfama.
- Garavito Silva, G. (2016). *La vocación científica de los Garavito*. Bogotá: Sociedad Geográfica de Colombia.
- Garavito Silva, G. (2017). *Julio Garavito Armero*. Bogotá: Sociedad Geográfica de Colombia.
- Lemaitre Román, E. (1971). *Panamá y su separación de Colombia*. Bogotá: Biblioteca Banco Popular.
- Pardo Rueda, R. (2015). *La historia de las guerras*. Bogotá: Debate.
- Wikipedia.



Firma del Tratado de Wisconsin.

Covid-19 en agua

Covid-19 in water

GLADYS ROCÍO GONZÁLEZ LEAL

Bióloga de la Pontificia Universidad Javeriana, especialista en Microbiología de la Universidad de los Andes, coordinadora del Laboratorio de Ingeniería Ambiental y profesora titular de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

gladys.gonzalez@escuelaing.edu.co

Recibido: 16/03/2020 Aceptado: 30/03/2020

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

La transmisión acelerada del virus covid-19 a escala mundial y la declaración de pandemia por parte de la OMS alertó a los países del planeta sobre la adopción de medidas para impedir su propagación y proteger la salud de los seres humanos.

En el presente artículo se pretende dar a conocer si el covid-19 se transmite a través del agua residual y si su detección es útil para determinar su infectividad o capacidad de producir enfermedad, o si se puede usar como herramienta de vigilancia epidemiológica. La falta de conocimiento de este nuevo virus y la necesidad de una pronta mitigación de su esparcimiento han impulsado a los investigadores a conocer su estructura, origen, forma de transmisión, forma de reproducción, factores ambientales que influyen en su persistencia y técnicas de detección en muestras de agua.

Palabras claves: pandemia, salud pública, coronavirus, PCR, detección, agua residual, infectividad, transmisión.

Abstract

The accelerated transmission of the covid-19 virus worldwide and the declaration of a pandemic by WHO alerted the countries around the world to adopt security measures to prevent its spread and protect the health of human beings. This article aims to divulge whether covid-19 is transmitted through wastewater and if its detection is useful to determine its infectivity disease production capacity or if it can be used as an epidemiological surveillance tool. The lack of knowledge of this new virus and the need for timely mitigation of its spread has motivated researchers to know about its structure, origin, way of transmission, way of replication, environmental factors that influence its persistence, and detection techniques in water samples.

Keywords: pandemic, public health, coronavirus, PCR, detection, wastewater, infectivity, transmission.

INTRODUCCIÓN

La aparición del coronavirus covid-19 se notificó por primera vez el 31 de diciembre de 2019. Ese día, la Comisión Municipal de Salud de Wuhan (China) informó de varios casos de neumonía en la ciudad; poco después, el 7 de enero de 2020, las autoridades de China confirmaron la identificación de un nuevo coronavirus, llamado inicialmente 2019-nCov por la Organización Mundial de la Salud (OMS); el 12 de enero de 2020, se hizo pública la secuencia genética de este virus ⁽¹⁾.

El 30 de enero de 2020, la OMS declaró la epidemia de covid-19 una emergencia de salud pública de preocupación internacional, y el 11 de marzo la declaró pandemia, lo cual significa que la epidemia se extendió por varios países del mundo en forma simultánea, afectando a un gran número de personas; se hizo un llamamiento a los países para que adoptaran las medidas que deben tomar para prevenir la propagación y proteger la salud de los seres humanos ^{(2), (3)}.

Después de que China fuera el foco de la pandemia, se trasladó a Europa y luego a América. Los primeros casos reportados en Europa se presentaron en Francia, luego en Italia, España, Alemania y Reino Unido ^{(4), (5)}. El primer caso en América se confirmó en Estados Unidos y el primero en América Latina se detectó en Brasil, luego México, Ecuador, Argentina, Chile, Colombia, Perú, Paraguay, Bolivia y Venezuela ⁽⁶⁾. Algunos de los portadores del virus son asintomáticos, los cuales tienen el potencial de aumentar el riesgo de transmisión; por esa razón, es clave la detección temprana para la prevención ⁽⁷⁾.

El hecho de ser la primera pandemia por un coronavirus y la falta de conocimiento del covid-19 pusieron a los países en una carrera contra su propagación, y alertaron a los científicos a investigar sobre la estructura de este virus, su capacidad infectiva y la forma de evitar su esparcimiento.

Nuevos enfoques en la epidemiología han originado una serie de inquietudes respecto a la presencia del covid-19 en el agua. El 19 de febrero de 2020, la Water Environment Federation (WEF) publicó la guía del profesional del agua para el covid-19, cuyo objetivo es crear conciencia en el sector y dar a conocer las implicaciones de la presencia de este nuevo virus ⁽⁸⁾.

Para predecir la propagación de infecciones, se hace la detección de agentes infecciosos en aguas residuales; tanto las heces como la orina aportan información que

ingresa al sistema de alcantarillado. Se han efectuado estudios que demuestran que el covid-19 está presente en las heces y orina de personas infectadas, y que este virus puede sobrevivir varios días en un ambiente propicio después de abandonar el cuerpo humano ⁽⁷⁾.

Por lo anterior, existe la posibilidad de que se puedan rastrear las fuentes del covid-19 a través de los sistemas de alcantarillado y así determinar si hay posibles portadores en áreas específicas de una ciudad, lo que permitiría monitorear en etapa temprana e intervenir oportunamente para restringir la movilidad de la población, evitando así la propagación del virus y su amenaza a la salud pública. De allí la urgencia de implementar un método rápido de detección en el punto de recolección de aguas residuales ⁽⁷⁾.

Otros investigadores aseguran que la exposición al agua residual no es ruta de transmisión significativa, ya que no se ha encontrado evidencia de que el covid-19 sobreviva en las heces y en las aguas residuales ⁽⁸⁾.

A escala mundial, se está trabajando en técnicas de detección del virus en aguas residuales, utilizando pruebas moleculares que detectan el material genético del covid-19, pero sin evaluar su infectividad ni su viabilidad ⁽⁸⁾.

ESTRUCTURA VIRAL Y REPLICACIÓN

Los virus no son estructuras celulares, están formados por un ácido nucleico (ADN o ARN) y una cubierta de proteína llamada cápside. Algunos, como el caso del covid-19, tienen envolturas adicionales de lípidos (figura 1).

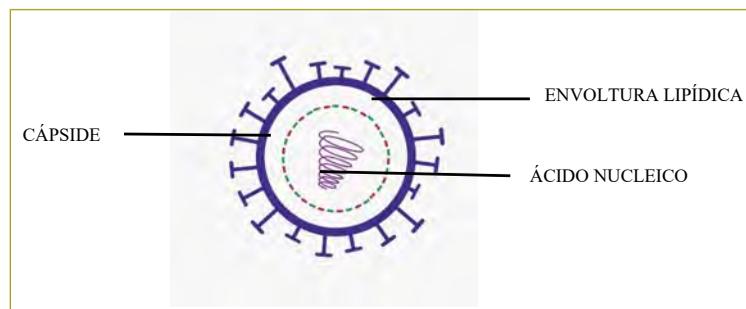


Figura 1. Covid-19.

Los virus se clasifican de acuerdo con el ácido nucleico que poseen y si tienen o no envoltura adicional a la cápside; la función principal de la envoltura de

lípidos que tiene el covid-19 es ayudarlo a ingresar a la célula huésped; cuando los virus se encuentran fuera del huésped son partículas inertes llamadas viriones, que no pueden reproducirse por sí mismos como una célula bacteriana, animal o vegetal; ellos requieren un huésped para poder producir copias de sí mismos, aprovechando los componentes de la célula que parasita. El covid-19 presenta en su superficie la proteína S, que se caracteriza por poseer una estructura en forma de aguja (espícula), la cual se une a los receptores de las células huésped (figura 2).

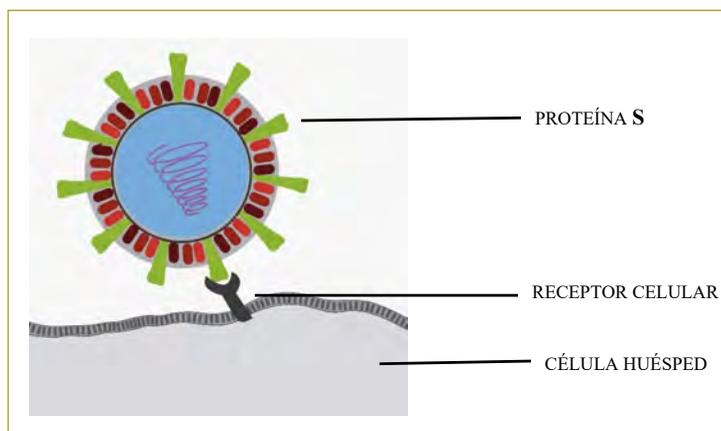


Figura 2. Unión del covid-19 a receptores de la célula huésped.

CORONAVIRUS

Los coronavirus son un grupo de virus pertenecientes a la familia *Coronaviridae*, llamados así por poseer una envoltura en forma de corona; pueden causar diversas afecciones tanto en animales como en humanos, desde infecciones respiratorias leves, como el resfriado común, hasta enfermedades más graves, como el síndrome respiratorio agudo severo (SRAS-Cov) o síndrome respiratorio de Oriente Medio (MERS-CoV), neumonía e insuficiencia renal, entre otras⁽⁹⁾.

Según algunos estudios, ciertos coronavirus pueden pasar de animales a personas; se sabe que el SRAS-Cov se transmitió de la civeta al ser humano y el MERS-Cov se transmitió del dromedario al ser humano; todavía hay varios coronavirus que están circulando entre animales, sin haber pasado a los humanos⁽¹⁰⁾.

ORIGEN Y NOMENCLATURA DEL VIRUS

Se hizo el análisis filogenético o de parentesco evolutivo de los genomas del nuevo coronavirus 2019,

llamado inicialmente 2019-nCov (nuevo coronavirus), lo que permitió inferir que los murciélagos podrían ser el huésped original de este virus y que un animal vendido en el mercado de mariscos de Wuhan podría ser el huésped intermedio que facilitó la aparición del virus en humanos⁽⁹⁾.

Los nombres de los virus tienen, comúnmente, nombres diferentes a las enfermedades que causan; se basan en la estructura genética del virus y los adjudica la comunidad científica, lo que facilita el desarrollo de vacunas, pruebas diagnósticas y medicamentos; no obstante, los nombres de las enfermedades en la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE) los adjudica la OMS, en virtud de su función como entidad que da respuesta ante la propagación de las enfermedades humanas y las evita.

El nombre de este virus se ha cambiado con frecuencia. Después de ser llamado 2019-nCov, el Comité Internacional de Taxonomía de Virus (ICTV, por su sigla en inglés), responsable de la clasificación de los virus de la familia *Coronaviridae*, basado en el parentesco con otros coronavirus, sugirió darle el nombre de coronavirus 2 del síndrome respiratorio agudo severo (SARS-Cov-2); sin embargo el covid-19 es diferente de los otros coronavirus relacionados con el SARS, razón por la cual se recomendó cambiar su nombre a coronavirus humano 2019 (H Cov-19).

La OMS se refirió al virus como el virus responsable de la enfermedad respiratoria aguda covid-19 o el virus de la covid-19 en colaboración con la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), lo cual hizo oficial el 11 de febrero de 2020, dejando en claro que ninguna de estas designaciones reemplazaría el nombre dado por el ICTV⁽²⁾.

VÍA DE TRANSMISIÓN DEL COVID-19

El virus covid-19 se transmite principalmente a través de las gotículas que elimina una persona al toser, estornudar o hablar, y que entran en contacto con las mucosas de la boca, nariz y conjuntiva de los ojos de otra persona; adicionalmente, se puede transmitir por el contacto directo con personas y con superficies contaminadas⁽¹¹⁾.

Las gotículas tienen un diámetro que oscila entre 5 y 10 micras y el contagio se produce a menos de un metro de distancia; la transmisión aérea es a través de

microgotas con diámetro inferior a 5 micras, las cuales permanecen en el aire por periodos prolongados y contagian a las personas que se encuentren a más de un metro de distancia. De allí que este tipo de transmisión puede ocurrir en lugares donde se realizan procedimientos que pueden generar aerosoles, tales como nebulizaciones, broncoscopias o intubación⁽¹¹⁾.

Estudios realizados sugieren que el covid-19 puede ocasionar infección intestinal y, por ende, encontrarse en la materia fecal, la cual llega a las aguas residuales⁽¹¹⁾.

¿LA DETECCIÓN DEL RNA VIRAL EN AGUA SIGNIFICA INFECTIVIDAD?

La detección del RNA viral en un cuerpo de agua puede indicar si el virus estuvo allí, pero no indica si todavía está presente y si tiene la capacidad de producir infección. Los métodos de detección de virus en muestras ambientales han evolucionado; anteriormente se realizaban pruebas que producían enfermedades a animales, y luego se hacían pruebas inmunológicas de detección de ácidos nucleicos de los virus y ensayos de inserción de material genético del virus en una célula (transfección).

Los ensayos en cultivos celulares en los que se adiciona la muestra de agua a un cultivo de células huésped que poseen los receptores para el virus que se desea detectar fueron los que permitieron entender, inicialmente, la transmisión de los virus a través del agua. En estos cultivos, el virus se reproduce y causa efectos negativos en las células, como la lisis o rompimiento de éstas, lo que se evidencia con la formación de placas o agujeros en el cultivo celular; de allí que los resultados se expresen en unidades formadoras de placa (UFP) por volumen de muestra adicionada. Aunque este método es indicador de infectividad del virus, no es muy utilizado debido al lento crecimiento de éste y al alto costo de dichos cultivos⁽⁸⁾.

Las técnicas de amplificación de ácidos nucleicos se iniciaron en 1980; actualmente, el método más directo para la detección del covid-19 es la reacción en cadena de la polimerasa (PCR), cuyo fundamento se basa en la detección de secuencias específicas de ácidos nucleicos de diversos microorganismos. Esta técnica sintetiza varias copias de un segmento de ADN de interés a través de nucleótidos sintéticos conocidos como cebadores, los cuales se unen al material genético en estudio para permitir la identificación del organismo. La metodología

consiste en hacer filtración y elución de la muestra de agua que se va a analizar, lo cual se logra por precipitación química y por centrifugación⁽⁸⁾.

En el caso del covid-19, cuyo ácido nucleico es el ARN, se utiliza la PCR inversa, en la que los ácidos nucleicos de la muestra se mezclan con cebadores y reactivos fluorescentes; se inicia con la síntesis de varias copias y la intensidad de la señal fluorescente indica la cantidad de ARN presente, pero no si el virus es infectivo o viable.

Ha surgido una nueva herramienta para el diagnóstico rápido de microorganismos patógenos en aguas residuales; consiste en un dispositivo analítico en papel, el cual se despliega al paso de los ácidos nucleicos de los patógenos, y por medio de una reacción bioquímica se detecta si el ácido nucleico está presente; son dispositivos fáciles de transportar y almacenar. A pesar de ser un método molecular, los resultados son visibles a simple vista por la coloración que se presenta debido al sustrato que posee (círculo de color azul indica ensayo negativo, círculo de color verde indica resultado positivo).

Pese a que las aguas residuales son matrices complejas, estos dispositivos de papel, pequeños, portátiles y muy económicos, han demostrado ser fiables en la detección de covid-19 en aguas residuales *in situ*, rastreando portadores del virus en la comunidad como sistema de alerta temprana para prevenir la propagación de epidemias⁽⁷⁾.

¿EL COVID-19 PUEDE PROPAGARSE POR EL SISTEMA DE ALCANTARILLADO?

Estudios recientes han permitido comprobar que el covid-19 se adhiere a receptores de los pulmones y del tracto gastrointestinal, lo que sugiere que se puede excretar en las heces y apoya la teoría de su transmisión oral-fecal; sin embargo, los científicos creen que la exposición al agua residual no es una ruta significativa de transmisión. Si bien cuantifican los niveles de ARN viral, no hay suficiente información de que el virus se transmita a través del agua residual, lo cual implica un riesgo en salud pública⁽⁸⁾.

Varias entidades gubernamentales e instituciones en el ámbito internacional recomiendan monitorear las aguas residuales para detectar el ARN del virus covid-19 y utilizar esos datos como herramientas de alerta temprana.

Los investigadores holandeses del Instituto de Investigación del Agua (KWR) fueron los primeros en analizar las aguas residuales para buscar el nuevo coronavirus, con el argumento de que las aguas residuales urbanas son depósitos de microorganismos que provienen de las heces de personas infectadas; el 24 de marzo de 2020 publicaron los resultados de la primera detección del ARN del virus covid-19 en aguas residuales no tratadas e informaron que no detectaron el virus en aguas residuales tratadas⁽⁸⁾.

Investigaciones recientes demuestran que la técnica PCR sirve de apoyo como herramienta de detección del virus covid-19 en aguas residuales en Estados Unidos, Australia y Países Bajos para la vigilancia de la salud pública, permitiendo estimar el número de infecciones en la comunidad⁽⁸⁾.

La idea de la vigilancia de las aguas residuales ha ganado popularidad entre la comunidad científica y en las entidades de salud pública en el ámbito mundial; investigadores del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y la Universidad de Valencia, en España, han desarrollado una técnica molecular que permite alertar de la presencia del covid-19 a partir del estudio de aguas residuales; los hallazgos evidencian la presencia de aproximadamente 100.000 copias de material genético del virus por litro de agua residual, resultados que se han utilizado como herramienta de vigilancia epidemiológica⁽¹²⁾.

De igual manera, la Escuela de Ciencias y Gestión Ambiental Bren de la Universidad de California, en Santa Bárbara, está trabajando en la utilización de aguas residuales con el fin de controlar las tasas de infección a escala local⁽⁷⁾. La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) participa en un proyecto piloto en el que se analizan pruebas de aguas residuales como indicadoras de la presencia de infecciones por coronavirus en comunidades⁽¹³⁾.

La OMS hace una petición a escala internacional en cuanto a la necesidad de testear, identificar y aislar el covid-19; hasta el momento, los investigadores están de acuerdo en que la detección del covid-19 en aguas residuales es una herramienta para monitorear comunidades específicas y poder prepararse para controlar el brote y mitigar sus efectos⁽¹³⁾.

Sin embargo, un resultado positivo de PCR en una muestra ambiental no es indicador del efecto de un desinfectante en un virus, pues no hay evidencia actual

que demuestre que el coronavirus sobrevive a los procesos de desinfección utilizados para el tratamiento de agua potable y agua residual; por lo tanto, no es una razón para que las empresas prestadoras de servicios públicos realicen cambios en las operaciones y procesos. Se sugiere que los procesos actuales de tratamiento son suficientes para el control del virus⁽⁸⁾.

FACTORES QUE IMPACTAN LA VIABILIDAD DEL VIRUS COVID-19

Factores como el ambiente, el huésped, las propiedades del virus y la ruta de transmisión influyen en la infectividad o capacidad del virus de ingresar a una célula huésped y reproducirse dentro de ella.

La temperatura, humedad, luz, edad del huésped, susceptibilidad genética, sistema inmune, propiedades del virus tales como si tiene o no envoltura lipídica, tiempo en el ambiente, dosis infectiva y transmisión por aerosoles, agua residual o superficies, pueden alterar el virus en toda su estructura o en parte de ésta⁽¹⁴⁾.

Las variaciones climáticas que incluyen la temperatura y la humedad se relacionan con la estacionalidad, la cual se refiere a la prevalencia de una enfermedad en relación con las estaciones del año; varias de las enfermedades respiratorias causadas por coronavirus aumentan en invierno, pero es incierto que el covid-19 presente estacionalidad, aunque datos preliminares aseguran que su transmisión aumenta en condiciones climáticas secas y frías. Por lo anterior, es importante monitorear las variaciones climáticas, al igual que las variables epidemiológicas que permitan predecir posibles brotes⁽¹⁶⁾.

Un estudio realizado permitió evaluar la viabilidad del virus covid-19 a diferentes temperaturas. Se observa que es muy estable a 4 °C, baja su infectividad al día 14 y se inactiva completamente a 70 °C durante cinco minutos; además, se demostró su vulnerabilidad a la desinfección⁽⁸⁾.

Los desinfectantes oxidantes fuertes, como el cloro libre y el ozono, alteran la estructura completa del virus; hay otros desinfectantes que sólo alteran la envoltura y hacen que el virus sea menos infeccioso debido a que disminuye la capacidad de adherirse a las células huésped. Esta es la razón por la cual los virus con envoltura son los más expuestos a la desinfección.

La desinfección con luz ultravioleta destruye la capacidad de reproducción de los virus al alterar su ácido nucleico. En algunas investigaciones se ha demostrado su efectividad en los coronavirus SARS y MERS, pero faltan estudios que confirmen el efecto de ésta en el covid-19⁽¹⁵⁾.

Los niveles de virus infecciosos en muestras ambientales podrían ser bajos, lo que requeriría métodos de alta sensibilidad para la cuantificación precisa del covid-19⁽¹²⁾.

¿SE PUEDE TRANSMITIR EL COVID-19 A TRAVÉS DE AEROSOLES?

Según datos de la Water Environment Federation (WEF), el covid-19 puede sobrevivir en aerosoles cuando el agua residual se agita mecánicamente; a su vez, estudios realizados por el *New England Journal of Medicine* reportaron la supervivencia del virus por tres días en aerosoles generados experimentalmente. La evidencia, aunque es limitada, sugiere que el covid-19, como otros virus transmitidos por el agua, puede sobrevivir hasta por nueve días en las superficies, por lo cual se recomienda desinfectar aquellas que entran en contacto con salpicaduras de las aguas residuales. Se sugiere desinfectar las superficies inanimadas con hipoclorito de sodio entre 0,1 y 0,5 %, etanol al 70 %, o ácido peracético al 0,5 %, por un tiempo mínimo de un minuto, lo cual debería ser efectivo⁽⁸⁾.

REFERENCIAS

Organización Mundial de la Salud (2020). Disponible en <https://www.who.int/es/news-room/detail/27-04-2020-who-timeline--covid-19>.

Brote de enfermedad por coronavirus Covid-10 (2020). Disponible en <https://www.who.int/es/emergencias/diseases/novel-coronavirus-2019>.

Organización Mundial de la Salud (2020). Disponible en <https://www.who.int/es/dg/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020>.

Organización Panamericana de la Salud (2020). Disponible en <https://www.paho.org/es/tag/informes-situacion-para-covid-19> La Organización Mundial de la Salud caracteriza al covid-19 como una pandemia (2020). Disponible en https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=15756:who-characterizes-covid-19-as-a-pandemic&Itemid=1926&lang=es. Cronología del coronavirus: así comenzó y se extendió el virus que tiene en alerta al mundo (2020). Disponible en <https://cnnespanol.cnn.com/2020/02/20/cronologia-del-coronavirus-asi-comenzo-y-se-extendio-el-virus-que-pone-en-alerta-al-mundo/>. Mao, K., Zhang, H., & Yang, Z. (marzo de 2020). Can a Paper-Based Device Trace covid-19 Sources with Wastewater-Based. *Epidemiology Environmental Science & Technology Journal*. Coronavirus and Water Systems: An update and expansion on The Water Professional's Guide to covid-19 (2020). Disponible en www.wef.org/news-hub/wef-news/coronavirus-and-water-systems/.

Caracterización genómica y epidemiología del nuevo coronavirus 2019: implicaciones para los orígenes del virus y la unión al receptor (2020). Disponible en [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(20\)30251-8/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(20)30251-8/fulltext).

Coronavirus (COV) Global (2020). Disponible en <https://www.who.int/es/health-topics/coronavirus>.

Vías de transmisión del virus de la covid-19: repercusiones para las recomendaciones relativas a las precauciones en materia de prevención y control de las infecciones (2020). Disponible en <https://www.who.int/es/news-room/commentaries/detail/modes-of-transmission-of-virus-causing-covid-19-implications-for-ipc-precaution-recommendations>.

Desarrollan un sistema de análisis molecular para alertar de coronavirus en aguas residuales (2020). Disponible en <https://gestoresderesiduos.org/noticias/desarrollan-un-sistema-de-analisis-molecular-para-alertar-de-coronavirus-covid-19-en-aguas-residuales>.

<https://smartwatermagazine.com/news/smart-water-magazine/epa-research-pilot-project-will-monitor-coronavirus-wastewater>. Una necesidad imperativa de investigación sobre el papel de los factores ambientales en la transmisión del nuevo coronavirus covid-19 (2020). *Environ. Sci. Technol.*, 54 (7), 3730-3732. Disponible en <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c01102>.

Efectividad de la luz ultravioleta contra los virus covid-19 (2020). Disponible en <https://holdingconsultants.org/efectividad-de-la-luz-ultravioleta-contra-los-virus-covid-19/?v=42983b05e2f2>.

Posible influencia de la estacionalidad y las variables atmosféricas en el covid-10. Disponible en <http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/361>.

Propuesta de diseño organizacional para una institución de educación superior

Organizational design proposal for a higher education institution

JOAN PAOLA CRUZ GONZÁLEZ - RICARDO SALAZAR FERRO - ELBA MARTÍNEZ DE DUERI - VICENTE ALBÉNIZ LACLAUSTRA - JORGE ENRIQUE BOSSA SILVA

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

joan.cruz@escuelaing.edu.co - ricardo.salazar@escuelaing.edu.co - elba.martinez@escuelaing.edu.co - vicente.albeniz@escuelaing.edu.co - jorge.bossa-s@mail.escuelaing.edu.co

Recibido: 8/02/2020 Aceptado: 20/03/2020

Disponble en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

Las organizaciones que desean alcanzar objetivos de una manera óptima, ordenada y eficaz, deben contar con una estructura organizacional adecuada y robusta, que permita soportar la gestión administrativa y operacional adecuada para el cumplimiento de la misionalidad de la institución; para lograr esto, es importante contar con un diseño organizacional que se ajuste a sus necesidades, de tal manera que las relaciones entre los trabajadores sean productivas y que las directrices para lograr efectuar los procesos, procedimientos y actividades académicas sean las apropiadas para el *core* de la organización. La estructura debe garantizar la armonía de todos los empleados, de modo que la dirección y los trabajadores puedan entender y comprender sus responsabilidades. En este artículo se presenta una propuesta de diseño organizacional para una institución de educación superior (IES), desarrollada desde un enfoque cualitativo descriptivo que involucra los *stakeholders* de la IES del caso de estudio. La estructura permite integrar las funciones misionales de la IES, docencia, investigación y relación con el entorno, basándose en el conocimiento como elemento transformador de la sociedad.

Palabras claves: diseño organizacional, estructura matricial, educación, conocimiento.

Abstract

Organizations that wish to achieve objectives in an optimal, orderly, and effective way must have an adequate and robust organizational structure that allows them to support the administrative and operational management that is appropriate to fulfill the mission of the institution. To achieve this, it is important to have an organizational design that meets their needs, so that the relationships among workers are productive and the guidelines for achieving the academic processes, procedures, and activities are appropriate for the core of the organization. The structure must guarantee the harmony for all employees, so that management and workers can understand and comply with their responsibilities. This article presents an organizational design proposal for a higher education institution (IES for its acronym in Spanish), developed from a descriptive qualitative approach involving the IES stakeholders of the case study. The structure allows integrating the core functions of the IES, teaching, research, and relationship with the environment, based on knowledge as a transforming element of society.

Keywords: rganizational design, matrix structure, education, knowledge.

INTRODUCCIÓN

La transformación organizacional es, hoy en día, una de las principales estrategias de toda organización para ser más competitiva. Para lograrlo, Méndez (2003) sugiere que “la administración ha de centrar sus esfuerzos en aquellos elementos que afectan el proceso de adaptación, esto es, los de nivel interno (como el comportamiento organizacional...), y los elementos de nivel externo (determinados por el ambiente externo y sus variables...)” (Méndez, 2003, pp. 26-27), y a su vez, se debe incluir a todos sus *stakeholders* o personas que de una u otra manera se vean involucrados en la organización.

De acuerdo con Calderón, Cuartas y Álvarez (2009), al cambiar en forma apropiada se abre la posibilidad de innovar, de facilitar las relaciones entre los actores del sistema y así generar una opción que le permita a la organización en cuestión cumplir con los objetivos y metas que componen su planeación.

Estos cambios obedecen a la tendencia que tienen las organizaciones a ser más competitivas para cumplir las exigencias del mercado. Para las instituciones de educación superior (IES), es de vital importancia cumplir varios indicadores, según el *Times Higher Education* en el World University Rankings 2018 (Bothwell y Grove, 2017), como la caracterización por la “docencia, investigación, citas en publicaciones académicas, alcance internacional e ingresos del sector empresarial” (BBC, 2017).

Sin embargo, estos cambios o transformaciones traen consigo retos en materia de funcionamiento y organización tanto en el ámbito académico como en el administrativo, y para llevar a cabo un desarrollo óptimo de las funciones es necesario tener una estructura organizacional eficaz y eficiente; esto significa que la estructura permita, de un modo factible, que cada miembro de la organización pueda participar y que, a su vez, ésta facilite el logro de los objetivos con una inversión de recursos equilibrada.

En la presente investigación se desarrolla una propuesta de estructura organizacional que busca, desde el conocimiento como base, permitir a las IES desarrollar sus funciones sustantivas en los tres ejes de la docencia, investigación y relación con el entorno. La investigación se documenta en este artículo de la siguiente manera: en primera instancia, se construye un marco teórico con revisión bibliográfica conceptual como soporte para

el desarrollo de la propuesta; en segunda instancia, se plantea la metodología utilizada, y por último, se dan los resultados obtenidos en el marco de un caso de estudio de una IES en Bogotá.

MARCO TEÓRICO

Para el desarrollo de la presente investigación se hace una revisión bibliográfica sobre los principales ejes de trabajo, los cuales son el enfoque sistémico, la estructura matricial y la transformación organizacional para el cumplimiento de metas y objetivos en los ámbitos empresarial y académico, que para el caso de estudio se centra en el cumplimiento de las funciones misionales, los retos que presenta un cambio en la organización y cómo la implementación de una organización matricial facilita el desarrollo de las actividades y de factores claves en las organizaciones.

Esta investigación se desarrolla con las premisas y características de la teoría general de sistemas formulada por Bertalanffy, la cual propone analizar una organización como un sistema de manera holística, es decir, en forma global, vinculando a todas las partes que están interrelacionadas tanto internamente como con el entorno, y con las siguientes siete características: totalizante, organizada, pragmática, creativa, crítica, optimizable e interdisciplinaria (Bertalanffy, 1968).

Este estudio responde a algunas de las características sistémicas vistas desde la perspectiva de Bertalanffy. La metodología para entender el sistema de IES busca ser organizada, ya que se requiere la participación activa de recursos humanos, técnicos y de información; a su vez, debe ser optimizable, ya que para dar solución a la situación problemática se debe investigar y consultar con las partes que componen el sistema, con el propósito de dar una solución que sea viable y apropiada.

Finalmente, el sistema que se va a proponer debe ser interdisciplinario, puesto que estará integrado por colaboradores de diferentes áreas de conocimiento que aporten sus conocimientos, con el objeto de tener más participación en los distintos mercados, poder atender de manera más amplia las dificultades y contar con un mayor número de habilidades (Alzate, 1999).

En la actualidad, las organizaciones destacan la importancia de hacer los cambios organizacionales necesarios para incrementar su productividad, aumentar su eficiencia y así conseguir los resultados esperados

Tabla 1
Modelos de organización

Modelo	Puntos fuertes	Puntos débiles
Simple	Flexibilidad Sentido de misión	Dependencia del propietario o, en su caso, de quienes toman las decisiones Poca especialización
Funcional	Especialización Formalización	Poca flexibilidad Inadecuada para el caso de instituciones diversificadas
Divisional	Orientación al entorno Existencia de centros especializados	Asimetrías informativas entre las divisiones Problemas de coordinación entre las diversas divisiones
Matricial	Fomento de la creatividad y de la innovación Capacidad de enfrentarse a entornos muy dinámicos	Doble autoridad Dedicación a reuniones y a la resolución de conflictos

Fuente: Valenzuela y Capelleras (2013).

(Galbraith, 1971), y dado esto, en los últimos años ha surgido la tendencia a migrar de estructuras funcionales y planas a estructuras de tipo matricial, debido a que éstas permiten una mayor comunicación de las partes mientras se manejan altas cargas de información (Mäkimattila, Saunila y Salminen, 2014).

Antes de entrar en el contexto de las estructuras organizacionales de tipo matricial, resulta fundamental entender las características que ofrecen otro tipo de estructuras y modelos de organización (tabla 1).

En el presente estudio se desarrolla una propuesta de estructura organizacional de tipo matricial, el cual se define así:

Agrupación de los recursos humanos y materiales que son asignados de forma temporal a los diferentes proyectos que se realizan, con lo que se crean equipos con integrantes de varias áreas de la organización con un objetivo en común: el proyecto (Lozano, 2011, p. 19).

En cuanto al funcionamiento de la estructura matricial, los empleados tendrán dos o más jefes, los cuales dependerán de las entradas que tenga la matriz en cada uno de sus lados; esta estructura presenta algunas ventajas, entre las cuales está la facilidad en la creación de equipos de trabajos multidisciplinarios; por otra parte, ayuda a disminuir los conflictos que se generan entre los objetivos de las áreas funcionales de las organizaciones, y facilita también la interactividad y comunicación entre los empleados y la flexibilidad en el manejo del tiempo (Kuprenas, 2003), de tal manera que existe una constante preparación para asumir la

jefatura, proporcionando las herramientas suficientes y necesarias (Bayón y Díaz, 2017).

Sin embargo, esta estructura presenta algunos riesgos, para lo cual la dirección de las organizaciones desempeña un papel clave; en primera instancia, encontramos la posibilidad de caer en la confusión de los roles e incluso en anarquía si no se equilibran bien el peso y el papel de cada una de las instancias coordinadoras, y si no se promueven el diálogo y la relación permanente, dado que se pueden generar conflictos entre las partes que integran la estructura, tal como lo dicen López, Díaz y Robledo (2015): “La comprensión de un grupo, que está formado por diferentes personas y en donde se gestan múltiples relaciones entre ellos, es una tarea aún más compleja” (López, Díaz y Robledo, 2015, p. 206).

El segundo riesgo es la lucha entre los diversos poderes, que se combate si hay equilibrio en la estructura y los responsables tienen conciencia de servicio. Otro riesgo importante es la disolución de las responsabilidades personales en el grupo, todas necesarias y distintas y que deben estar bien definidas. Si no existen criterios claros de funcionalidad, se corre el riesgo de la proliferación incontrolada de capas intermedias de poder, por lo que se deben tener claras las funciones y responsabilidades en cada etapa de los procesos (Mitchell, 2014). Del mismo modo, si no se aprovecha adecuadamente el personal, puede presentarse el riesgo de crecimiento excesivo del gasto general.

Por último, existe el riesgo del estrangulamiento de las decisiones: para evitarlo, es imprescindible capacitarse para trabajar en esta estructura, sabiendo delegar y

evitando la toma de decisiones unilaterales (Valenzuela y Capelleras, 2013).

De acuerdo con Sebastián E. Lavezzolo y Carlos Rodríguez-Lluesma (2015), para lograr el funcionamiento correcto y coherente de la estructura matricial, especialmente de las partes, es preciso comprender la razón de ser de la matriz, en la que se deben definir bien los roles, establecer controles y un sistema de evaluación dual, al igual que promover y formar líderes que sepan trabajar en procesos de toma de decisiones laterales; así mismo, hay que fomentar una cultura organizativa que propicie la negociación de los conflictos y el equilibrio de poderes, así como reconocer la existencia de diferentes tipos de autoridad que se pueden presentar en la matriz, de tal manera que se desarrollen las habilidades necesarias para llevar a cabo la implementación y la ejecución óptima de la estructura (Lukinaité y Sondaité, 2017).

Por otra parte, se debe dar autonomía a los responsables, y tener directivos que ejerzan el papel de equilibrador, además de saber convivir con situaciones de ambigüedad, recurriendo al diálogo para resolver conflictos y desarrollar vínculos eficaces para lograr coherencia entre las unidades de la organización, de modo que se logre darle estabilidad.

En la década de los noventa, empresas como IBM y Procter & Gamble (P&G) modificaron sus estructuras organizacionales, buscando optimizar sus procesos tanto productivos como administrativos (Galbraith, 2009). El área de Research & Development (R&D), Departamento de Investigación y Desarrollo de la ya nombrada P&G, es un ejemplo del surgimiento de la estructura matricial en el desarrollo de las funciones;

en esos años, se hacía investigación farmacéutica con el fin de realizar descubrimientos y desarrollos, las dos etapas que componen dicha investigación (Procter & Gamble, 2018).

El área de R&D, cuya función central eran los químicos sintéticos, estaba organizada de manera funcional; no obstante, con los avances investigativos, el surgimiento y desarrollo de compuestos en los fármacos, y el hecho de que las pruebas ahora no requerían el uso de animales sino sólo en los laboratorios, afloró la necesidad de contar con expertos en otras áreas del conocimiento, como químicos analistas, biólogos, genetistas y especialistas en bioinformática, pero dada la multidisciplinariedad que había ahora en los laboratorios, resultó indispensable contar con un canal de comunicación eficiente (Galbraith, 1971, pp. 35-38).

La solución que se presentó a los gerentes de proyecto fue que se organizaran en equipos de productos y especialidades, donde los equipos de productos fueron las áreas terapéuticas, como cardiología, sistema nervioso, enfermedades infecciosas y oncología, y por otro lado, las especialidades funcionales (farmacología, bioquímica, biología molecular, etc.). Esta nueva estructura permitió la conformación de equipos multidisciplinarios que integraron el conocimiento de todas las especialidades (Galbraith, 1971, pp. 35-38) (figura 1).

Otro caso de éxito en cuanto a la implementación de estructura organizacional matricial es la empresa de economía social Suara Cooperativa, que presta los siguientes servicios:

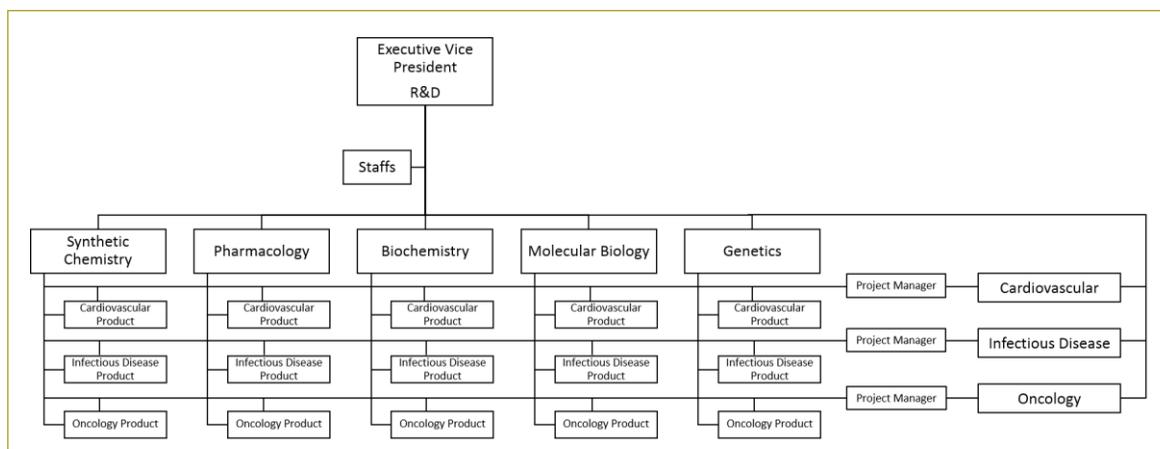


Figura 1. Estructura organizacional matricial del área de R&B de P&G (Galbraith, 1971, p. 38).

Respuesta a las necesidades de atención, apoyo, asistencia y educación de niños y jóvenes; de familias; de personas que requieren algún tipo de apoyo para ser más autónomas; de personas que quieren entrar en el mercado laboral o tienen como objetivo mejorar profesionalmente; de personas que necesitan apoyo ante situaciones de crisis (Suara Cooperativa, 2018).

Con este objetivo se creó la cooperativa, luego de la fusión de tres empresas, cuyas estructuras previas también se fusionaron; con todo, se llegó al dilema de tener hasta tres personas para el mismo cargo. Ante esto, la empresa decidió practicar exámenes de competencias con el fin de elegir a las personas idóneas para los cargos, con lo que permaneció la estructura funcional con la que venían funcionando las empresas antes de la fusión (Valenzuela y Capelleras, 2013).

Sin embargo, los problemas no cesaron, teniendo en cuenta que las empresas estaban en ciudades distintas, lo que generó confusiones y desorden; por esto se tuvo que añadir una estructura geográfica y por productos, hasta llegar a la actual estructura matricial de la cooperativa, la cual está compuesta por áreas corporativas (funcionales) y áreas de negocio, como informan en su sitio web (figura 2).

Suara se organiza con un modelo en red para conseguir una respuesta adaptada a las necesidades. Cada uno de los proyectos o servicios se ubica en el centro de la actividad, con el apoyo directo de las áreas de negocio y corporativas (Suara Cooperativa, 2018).

A diferencia del sector empresarial en Latinoamérica, en el sector educativo son pocos los desarrollos que ha habido en torno a las estructuras organizacionales. Uno de los casos en IES es la Universidad de Guadalajara (UDG), la cual, en el periodo comprendido entre 1994 y 2005, hizo una reforma organizacional y una departamentalización académica (Acosta, 2005), con el propósito de tener una transformación organizacional que permitiera “orientar” a la universidad de nuevo a sus objetivos principales; en primer lugar, “calidad y excelencia académica”, y en segunda instancia, la “innovación”.

La UDG tiene entre sus funciones sustantivas la docencia, al igual que la investigación y la difusión cultural, en términos de funcionamiento. Durante la reestructuración se creó un espacio interno conocido como Departamento de la UDG, el cual coordina y opera los proyectos y programas de la universidad, proporciona los profesores a los programas de la universidad, además de dirigir la investigación y sus grupos.

En un primer panorama, la presente investigación se encuentra relacionada con la realizada por la UDG, pues comparten el mismo propósito al plantear la iniciativa de un cambio de estructura organizacional, buscando impulsar la investigación científica y la descentralización de las funciones sustantivas de la universidad.

La reestructuración de la UDG generó una estructura matricial que combina en dos ejes los departamentos y los programas de estudio. Con esto se buscaba optimizar la planta de profesores, de modo que esta nueva organización permitiera la generación de nuevos centros de investigación y nuevos programas que aumentaran la oferta de servicios.

Finalmente, la organización de la UDG se desarrolla desde cada centro de estudios de manera independiente, mediante una matriz, compuesta –como se enunciaba anteriormente– por departamentos y programas, y los docentes se encuentran en las celdas que componen la matriz.

La UDG es un buen ejemplo de cómo puede desarrollarse un proceso de implementación de estructura organizacional de tipo matricial, y como concluye Pertuz, “la estructura matricial crea una doble cadena de mando que explícitamente infringe el principio clásico de la unidad de comando” (Pertuz, 2013). Sin embargo, esta característica de las estructuras de tipo matricial es la que permite generar trabajo en equipo entre los superiores y los subalternos.



Figura 2. Estructura organizacional de Suara Cooperativa (Suara Cooperativa, 2018).

En cuanto a los retos que enfrentan las organizaciones en transformación organizacional, Acosta (2005) apunta que la integración de las funciones sustantivas con los centros de estudios no es sencilla, dado que la administración de este último tiende a separar la docencia y la investigación, lo cual es contrario al enfoque que se busca con una estructura matricial.

Por otra parte, se debe garantizar la importancia de la investigación como una de las funciones sustantivas de la universidad dentro de la estructura organizacional, de tal manera que en los programas y proyectos se desarrolle al nivel de las universidades internacionales; finalmente, otro reto al que se enfrentan las instituciones es lograr una carga equitativa entre los colaboradores, puesto que se puede generar una sobrecarga administrativa que pueda resultar contraproducente para el desarrollo óptimo de las funciones.

En términos generales, es posible evidenciar que tanto empresas como instituciones educativas están abiertas a implementar cambios de estructura organizacional que favorezcan el trabajo colaborativo y multidisciplinario, y que todavía existe un campo abierto a la investigación en el tema. Por eso, mediante este estudio se busca, además de satisfacer una necesidad sentida por la IES, aportar en el campo y ser un referente para demás IES interesadas en implementar estructuras de trabajo de tipo matricial.

METODOLOGÍA

La metodología investigativa con la cual se lleva a cabo el presente artículo es de tipo cualitativo descriptivo, pero se utilizará también una adaptación de la propuesta de Hernández Sampieri (2014). Esta metodología, con la que se busca “comprender los fenómenos, explorándolos desde la perspectiva de los participantes en un ambiente natural y en relación con su contexto” (Hernández, 2014, p. 358), consta de varias fases, empezando con la planificación de la idea y el planteamiento del problema, y finalizando en la interpretación de resultados y elaboración del reporte.

Las investigaciones de tipo cualitativas se caracterizan porque permiten conocer lo que piensan las personas que de una u otra forma son parte del problema, para así tener una perspectiva más amplia que incluya tanto aspectos positivos como negativos. Para el presente estudio es importante conocer qué opina un

grupo de personas seleccionadas por su trayectoria y por su cargo en la actual estructura organizacional, con el fin de que den su opinión no sólo sobre estructura sino también sobre los centros de estudios característicos de la IES, programas de pregrado y posgrado, la investigación y extensión, su visión sobre las funciones y los desarrollos, entre otros aspectos que se consideran relevantes para este estudio.

El hecho de optar también por una investigación de esta clase se debe a que se busca dar solución a fenómenos de tipo humanístico, aparte de que está orientada a comprender y resolver los problemas que afectan un ambiente (Hernández, 2014, p. 529), que en este caso es la IES, para de este modo proponer reformas que permitan solventar las necesidades.

Para este estudio se proponen las siguientes fases, que se ajustan a las necesidades del proyecto debido al alcance y el tipo de investigación; éstas se presentan a continuación, con el objetivo de obtener como resultado final una propuesta de estructura organizacional de tipo matricial para la operación académica de una IES.

1. Planteamiento del problema

La primera fase de la investigación cualitativa (Hernández, 2014) consiste en explorar el propósito del estudio, el entorno y las variables que intervienen en el desarrollo y la justificación de la elección de la investigación; esto significa, principalmente, conocer el problema central al cual se busca dar una solución.

La presente investigación parte de la preocupación, desde la fundación de la IES objeto de estudio, por organizarse académica y administrativamente con el objeto de llevar a cabo su proyecto educativo institucional y desarrollar sus funciones sustantivas; no obstante, desde el comienzo, en la IES se han desarrollado modelos de organización con los que se ha buscado suplir las necesidades a las que se ha enfrentado con el paso de los años, como el crecimiento de su población tanto estudiantil como profesoral, al igual que su oferta académica.

Así las cosas, en este estudio se hace una propuesta de ajuste a la estructura organizacional, teniendo en cuenta factores que intervienen en este proceso, tales como el concepto de centros de estudio, el cual ha estado vinculado a la IES; la participación de todos los directores de los programas, con sus experiencias tanto positivas como negativas en su desarrollo de los

procesos; el enfoque de la propuesta en los miembros de la comunidad, al igual que los procesos actuales en el marco de las políticas institucionales como un mecanismo para estar al tanto de las tendencias nacionales e internacionales que siguen las universidades mejor calificadas en los ámbitos local e internacional, siempre bajo las exigencias normativas del sector educativo.

La justificación principal de esta investigación es que se pretende sentar un precedente en materia de estructuras organizacionales que se salga de lo convencional y que, mediante la investigación, se ayude a desarrollar conocimiento, esto es, que pueda ser referente en materia organizacional para otras instituciones y empresas de distintos sectores, pero principalmente del sector educativo.

2. Recolección y análisis de información

La definición de la muestra del estudio consiste en seleccionar un grupo de personas con el propósito de recolectar información que posteriormente se analizará. En ese orden de ideas, el estudio para la toma de la muestra es de tipo *grupo de enfoque* (Hernández, 2014, p. 385), el cual consiste en seleccionar grupos de personas con características diferentes, y de cada grupo elegir personas para realizar el respectivo proceso de entrevista. Para recolectar la información se utilizan tres mecanismos.

En primer lugar, se revisan las políticas y los estatutos de la IES, así como la documentación de las jornadas de reflexión anuales, en las que participan diferentes miembros de la comunidad de la IES, como profesores, directivos, directores de programas, decanos, vicerrectores y rector. En estas jornadas se recogen la percepción de la situación actual de la IES y las oportunidades de mejora que tiene la estructura organizacional actual, información que forma parte de la documentación del proyecto como búsqueda de antecedentes.

En segundo término, se realiza un *benchmarking*, en el que se consultan instituciones externas a escala nacional e internacional para conocer su situación actual en la forma como estructuran sus áreas y oferta de servicios y programas, de tal modo que se puedan enfocar los cambios como una necesidad vanguardista en cuanto al diseño estructural y tener referentes en lo que tiene que ver con la tendencia en la manera como se organizan y operan instituciones similares.

En tercer lugar, se hacen consultas a diferentes grupos de enfoque; para esto se elige de cada programa de pregrado la persona en el cargo de decano o director de centros de estudios de cada una de ellas. Así mismo, se incluye al secretario general, al rector y a directivos de áreas principales de la IES, como desarrollo institucional, investigación, gestión externa, posgrados, y vicerrectores académico y administrativo.

Las consultas se realizan en grupo e individualmente, de forma presencial; con ellas se busca conocer cómo fue el origen del programa al cual se encuentra vinculado, cómo fue su evolución hasta la actualidad, cuáles son las ventajas y desventajas que se puedan presentar con la actual organización de la IES, si consideran que es apropiada o no, cómo se sienten con la organización actual de la IES en relación con asuntos como comunicación e interacción, eficiencia en el trabajo, funcionamiento de los conductos regulares, interrelación entre academia y administración, qué idea tienen de una organización diferente para la IES y cuáles son las percepciones respecto al proyecto que se desarrolla.

La recolección de la información y el análisis consisten en tomar de la muestra de personas seleccionadas en la etapa anterior datos y detalles sobre experiencias y conocimientos en el programa respectivo, los cuales se toman de entrevistas privadas y *focus group* (Hernández, 2014, p. 385), previamente acordadas, y convertir los registros de éstas en datos de interés organizados en forma de bitácora y de hallazgos.

Las entrevistas se desarrollan de manera efectiva en sesiones acordadas por el equipo de investigadores con los miembros seleccionados. La información se recolecta en forma de grabación de audio, la cual es convertida en documento con el registro de la información encontrada y de interés para la propuesta.

3. Interpretación de resultados y construcción de la propuesta

La interpretación de los datos implica tomar la información recolectada, la cual generalmente no se encuentra estructurada; estos datos pueden venir por medio visual o auditivo, por expresiones escritas, y lo que busca el investigador es estructurarla.

El análisis que propone Hernández (2014, p. 7) consiste en ocho etapas: 1) explorar los datos; 2) imponerles una

estructura; 3) describir las experiencias de los participantes; 4) descubrir conceptos, categorías, temas y patrones de los datos con el fin de agruparlos; 5) comprender el contexto de los datos; 6) reconstruir hechos e historias; 7) vincular los resultados con el conocimiento disponible; 8) generar una teoría fundamentada en los datos.

Hay que tener en cuenta que para llevar a cabo el análisis de datos que corresponden a una investigación cualitativa se debe entender que se va a contar con diversas opiniones, por lo que las etapas listadas anteriormente quedan a elección del investigador y los resultados del análisis corresponden a la perspectiva que éste tome; por tanto, se ha de ser imparcial y objetivo, con el fin de evitar la polarización de los datos. Otra opción para el análisis es ver de manera sistémica los datos, es decir, ver el panorama y entender todo como un sistema de diversas opiniones.

Los datos recolectados en la IES de estudio se preservan en audios que posteriormente se convierten en notas de tipo bitácoras y hallazgos que se utilizan en reuniones del equipo investigador para la interpretación de resultados y la construcción de la propuesta. Los hallazgos se comparten como conclusiones parciales con la rectoría y el comité de rectoría en la presentación de avances del proyecto.

La elaboración de la propuesta implica organizar y entender la información recolectada, tener claro el panorama actual y las necesidades; de este modo, se puede plantear un plan de acción que incluya en este caso una nueva forma de organización que permita seguir cumpliendo los propósitos fundamentales de la IES y llevar a cabo la planeación y la operación anual de una manera más óptima, que facilite los procesos para todos aquellos que intervienen.

Los informes cualitativos tienen la particularidad de que no se parecen a los informes cuantitativos en cuanto a que no es obligatorio que traigan consigo una cantidad de información de contexto y propósitos. Sin embargo, los reportes contienen los resultados, se desarrollan cronológicamente de acuerdo con la manera como sucedieron las etapas de la investigación, e incluyen los puntos de vista que generan mayor interés y aquellos que resultan contradictorios; también incluyen el contexto para que el lector comprenda el entorno en el que se desarrolla la investigación.

El reporte tiene características relevantes, tales como la conexión entre el problema y la solución, diagnóstico

y plan de acción, y necesidad de transformación o cambio, y las soluciones. Estas características se incluyen en la estructura del reporte de tipo cualitativo que, para el alcance del presente artículo, contiene una propuesta de estructura organizacional para la operación y gestión académicas de la IES.

RESULTADOS

Teniendo el marco referencial de la metodología de investigación cualitativa, la investigación se desarrolló en las etapas descritas en la metodología, cuyos resultados se enuncian en esta sección.

1. Planteamiento del problema

La presente investigación se desarrolló como caso de estudio en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, ubicada en Bogotá, a raíz del interés de su rectoría por renovar su estructura interna y orientarla hacia una organización más moderna y flexible, que pueda seguir afrontando los retos de la educación en el país.

La necesidad de reestructurar organizacionalmente a esta IES surge debido a que en la actualidad cuenta con una estructura funcional, la cual se divide en cinco niveles de dirección y tres niveles de gestión institucional, para un total de ocho áreas en un mismo nivel de importancia, que a su vez se despliegan en más áreas funcionales; no obstante, dado el crecimiento de la IES, el actual diseño organizacional no se acopla a los cambios constantes de la tendencia educacional y formativa, por lo que se están generando inciertos en los procesos y procedimientos, en las relaciones de jerarquía, en el manejo del conducto regular, en su comunicación e interacción entre áreas y en eficiencia.

La Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito se formaliza el 20 de octubre de 1972, cuando se firmó el acta de constitución, con lo que se inició un ambicioso proyecto educativo cuyo objetivo era formar ingenieros de excelencia. Primero nació el programa de Ingeniería Civil, luego vinieron los de Eléctrica y Sistemas; posteriormente, una vez que la IES ocupó un merecido puesto de honor entre las instituciones de educación superior del país, se incluyeron los programas de Ingeniería Industrial y Electrónica y el de Economía. En el año 2002, el Consejo Directivo aprobó la creación del programa de Administración de Empresas, en el 2003 inició labores el programa de Matemáticas, en el

2009 Ingeniería Mecánica, en el 2011 Ingeniería Biomédica y en el 2016 Ingeniería Ambiental. En cuanto a su estructura, se ha fortalecido y diversificado en los últimos años con la creación de los centros de estudios, la apertura de diferentes programas de especialización y maestrías y la consolidación de los proyectos de investigación. Por otra parte, los servicios al sector externo se apoyan en los medios de divulgación con que cuenta, como la revista, los libros, los manuales, las notas y los ensayos, además de la página web, que permite estar en red con el resto del mundo (Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2018).

Esta necesidad de transformación llevó a la IES a formular un proyecto investigativo con un grupo de trabajo designado por la rectoría para determinar las variables que intervienen en el problema, el alcance y la formulación de una propuesta como solución a las necesidades.

El grupo experto determinó que los problemas que aquejan a la IES se deben a la estructura organizacional inapropiada para las necesidades de la institución, por lo que proponen el mecanismo de investigación de tipo cualitativo para conocer desde distintas perspectivas los problemas existentes; de esta manera, se determina que se debe contar con el apoyo de la dirección y de representantes de las carreras y programas que brinda la institución, así como de sus profesores.

2. Recolección y análisis de información

Una vez determinado el problema, el grupo investigativo revisó las políticas y estatutos de la IES, así como los resultados de las jornadas de reflexión en las que participaron diferentes miembros de la comunidad de la IES, como profesores, directivos, directores de programas, decanos, vicerrectores y rector. Se recolectó información que detallaba que desde el año 2002 hasta el presente, la IES ha tenido entre sus proyectos la reforma de la estructura organizacional. Entre los hallazgos más importantes está una propuesta de estructura orgánica y manual de funciones y responsabilidades del personal de la IES, en la que se describen los estamentos y las instancias que componen los niveles de acción, de decisión y de responsabilidad institucional; aunque esta propuesta no se oficializó, la estructura actual de la institución conserva algunas de sus iniciativas que, por necesidad en la operación, se implementaron.

No obstante, fue desde el 2007 hasta el 2017, durante encuentros programados, cuando se realizaron

y documentaron aportes enfocados en el proyecto de estructura organizacional; entre los desarrollos más relevantes se encuentran las observaciones que aparecen a continuación (tabla 2).

De manera análoga, el grupo investigativo desarrolló un *benchmarking* con el fin de conocer qué instituciones educativas en los ámbitos nacional e internacional han efectuado cambios organizacionales, evaluar si los cambios han ayudado al logro de los objetivos y cómo fue el manejo de los problemas presentados en términos de rechazo al cambio o el mejoramiento o deterioro de las relaciones entre los colaboradores, entre otros escenarios a los que conlleva cualquier cambio de tipo administrativo en las organizaciones.

El *benchmarking* da como resultado la comparación de cuatro IES nacionales (tabla 3) y cuatro IES internacionales (tabla 4) en varios factores, entre los que se destacan la operación académica, gestión académica y organigrama:

Como conclusión del *benchmarking*, se identificó una tendencia creciente a organizar la operación académica articulada con los campos de conocimiento que se cultivan en la respectiva IES. Respecto de la gestión académica, en todas las instituciones existen unidades independientes y coordinadas entre sí, para el desarrollo de cada una de las funciones sustantivas. También se descubrió la tendencia a que haya una unidad que se especialice en la actividad académica de los estudiantes. En algunas existe una unidad que se ocupa de la gestión académica del personal docente e investigador. Por otra parte, la gestión administrativa está al servicio de la gestión académica, y su tamaño y operación vienen determinados por su relación con las necesidades académicas. Adicionalmente, en relación con el ámbito estratégico, en las organizaciones estudiadas se encuentran órganos de gobierno, representación y consulta. Por otra parte, se evidencian órganos colegiados y órganos unipersonales de gobierno. Tanto en las instituciones nacionales como en las internacionales, se articulan adecuadamente la organización, la administración y la gestión.

Por último, dentro de esta etapa de recolección y análisis de la información se incluyó a miembros directivos de la IES, directores de los programas y algunos representantes del grupo administrativo y del comité de rectoría, debido al alcance que implica un proyecto de reestructuración organizacional, teniendo en cuenta que una ventaja de lograr llevar a cabo la investigación es

Tabla 2
Reflexiones de la comunidad de la IES

Año	Observación
2007	“Base conceptual para la revisión de políticas relacionadas con el modelo de gobierno y gobernabilidad”. Documento elaborado por el rector de la época y dos profesores de la IES, en el cual se amplía el concepto de gobernabilidad, sus características, su relación con el gobierno y los indicadores de una buena práctica de la gobernabilidad. Es un documento teórico-práctico que todavía tiene vigencia y está respaldado por fuentes bibliográficas de autores reconocidos en el tema.
2008	“Lineamientos de políticas institucionales”. Este documento estuvo vigente desde el 2008 hasta el 2017, con la aprobación de los consejos y del claustro. Contenia las políticas referidas a gobierno, organización y gestión originadas durante el proceso de direccionamiento estratégico realizado en esa época. Tales aportes, como el referido a que “la estructura debe originarse en un modelo propio que se aproxime en lo matricial a lo académico y a lo jerárquico en lo administrativo” y otros más, se constituyeron, posteriormente, en la base de las políticas que sobre el tema se establecieron en el nuevo PEI, cuya versión final fue aprobada por el Consejo Directivo el 5 de diciembre del 2017.
	“Estructura-gobierno-gestión”. Documento síntesis que fue la base para la formulación de las políticas institucionales referidas a estructura, gobierno y gestión incluidas en el documento referenciado en el anexo anterior. Los aportes han sido especialmente importantes por considerar que contribuyen al proyecto de ajuste a la estructura que se está llevando a cabo en la actualidad; tales aportes, entre otros, se refieren a que la estructura debe estar configurada en torno a saberes, descentralizada, sencilla, dinámica, estable y flexible, eficiente, con pocos niveles de jerarquía y con canales de comunicación efectivos.
2009	“Sectores de desarrollo del país; campos y áreas de conocimiento”. Este trabajo, liderado por la vicerrectoría académica, tuvo el carácter de investigación asumida por grupos conformados por profesores de la IES especialistas e interesados en los temas previamente seleccionados, por estar vinculados con sectores de desarrollo del país: agua y ambiente, energía, infraestructura, vida y salud, manufactura y servicios, información, materiales y educación. Este trabajo sirvió de base para la realización de talleres en el año 2012, cuyo resultado fue la justificación de los campos del conocimiento de la IES.
	“Gobierno y estructura organizacional”. En la propuesta hecha en ese momento por un grupo de profesores y un asesor externo se planteaba que debería estar en vigencia en el 2019. En el documento se incluyeron, por una parte, la situación de la IES en ese momento en cuanto a órganos de gobierno y de dirección, y por otra, una propuesta de estructura académica, sus alcances y los riesgos de no considerarla.
	“Funciones universitarias y estructura y organización de la IES”. Este tema lo trabajaron tres grupos de profesores alrededor de preguntas de reflexión, algunas de las cuales indagaban sobre la situación de la institución en ese momento en relación con el tema; otras solicitaban aportes para definir los enfoques que deberían tener dichas funciones, y otras más pedían aportes sobre las características que deberían tener en la estructura organizacional.
2012	“Lineamientos para una propuesta de estructura orgánica de la IES”. Esta propuesta se centró en el área administrativa y en la manera como debía organizarse internamente.
	“Reflexión sobre campos de conocimiento”. Propuesta que consistió en la realización de varios talleres con la participación de la comunidad académica de la IES, cuyo objetivo era responder las siguientes preguntas: ¿Cuáles campos del conocimiento son de interés para la IES? ¿Cuál es la significación que la institución adopta para cada uno de ellos? ¿Qué rol pueden jugar los actuales Centros de Estudio en cada uno de esos campos?

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3
Benchmarking IES nacionales

IES	Observaciones
Universidad Tecnológica de Bolívar	La estructura organizacional separa la función de relación con el entorno de las funciones de formación e investigación. En lo que tiene que ver con educación continuada, sí se encuentra dentro de las facultades. Se identifican grupos y líneas de investigación. En cuanto a la gestión académica, tienen la dirección académica a cargo de una vicerrectoría académica. Las facultades tienen el liderazgo en las decanaturas y la secretaría académica y sus programas en las direcciones de programas. En su Escuela Tecnológica se identifica un decano y también directores de programa. Se identifica una estructura funcional, con pocos niveles y con separación del entorno de las dos funciones adicionales de formación e investigación.

<p>Universidad Icesi</p>	<p>La operación académica define que la función de investigación se hace por intermedio de grupos de investigación adscritos a las facultades. A su vez, las facultades tienen departamentos que son responsables de la formación, la investigación y la relación con el entorno tanto en pregrado como en posgrado.</p> <p>Se percibe gran interconexión entre las unidades al tener campos de conocimientos desde los cuales se desprenden las funciones sustantivas, así como también interdisciplinariedad a través de los centros académicos.</p> <p>La gestión académica se lleva a cabo por intermedio de rector, decano de facultad y jefe de departamento. Cada facultad funciona como una unidad de negocio con su respectiva misión, visión y valores.</p> <p>En lo referente a su estructura organizacional abarca todos los cuadrantes, y se identifica diferencia entre la operación académica y el resto de los ámbitos, los cuales no tienen tanto protagonismo como el operativo, que es el centro y core de la universidad.</p>
<p>Escuela de Ingeniería de Antioquia</p>	<p>Se identifican cuatro direcciones generales y dos decanaturas en la operación académica. La decanatura de la Escuela de Ingeniería comprende los programas de ingeniería, sus egresados y las prácticas empresariales.</p> <p>En cuanto a la gestión académica, no hay vicerrectoría académica. Al parecer, la gestión académica es responsabilidad de las direcciones y decanaturas.</p> <p>La estructura organizacional de la Escuela de Ingeniería de Antioquia es plana, con niveles de delegación que permiten flexibilidad y fluidez en los procesos y en el manejo de la información. La administración del personal se realiza por responsabilidades. Cada cargo se valora en la institución de manera independiente, y aunque se encuentre en la misma línea de otro, tiene una descripción diferente, según la destreza, el esfuerzo y la responsabilidad, de lo cual dependen la responsabilidad y la remuneración correspondiente, en la que influye también la evaluación de desempeño. Esta estructura permite la gestión por medio de la configuración de equipos de trabajo por áreas y comités para el desarrollo de actividades que conducen al logro de un objetivo establecido por la Escuela de Ingeniería de Antioquia y para cumplir con su plan de desarrollo institucional.</p>
<p>Eafit</p>	<p>Se identifican seis escuelas (Administración, Ingenierías, Humanidades, Derecho, Economía y Finanzas, y Ciencias). Cada escuela tiene su respectivo consejo y departamentos, y lleva a cabo las tres funciones sustantivas.</p> <p>En lo que respecta a la gestión académica, hay una vicerrectoría académica, una dirección de docencia, una dirección de investigación, una dirección de innovación Eafit y una dirección de educación continuada. Cada una de las seis escuelas tiene su decano correspondiente.</p>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4
Benchmarking IES internacionales

IES	Observaciones
<p>MIT</p>	<p>Su operación se realiza a través de campos de conocimiento, los cuales se abordan desde las tres funciones sustantivas: formación en pregrado y posgrado, investigación y relación con el entorno.</p> <p>Llama la atención que la enseñanza virtual es prácticamente otro negocio en la estructura organizacional.</p> <p>Se identifican los siguientes roles para la gestión académica: vicerrectoría de investigación, vicerrectoría de aprendizaje abierto, cancillería que se encarga de todo lo relacionado con los estudiantes, prebostes que se encargan de la supervisión de los programas de investigación, educación y entorno en el MIT, responsabilidad que es compartida con la cancillería y las decanaturas. Las decanaturas están encargadas de la gestión académica en pregrado y posgrado, además de que son responsables por las escuelas donde haya varios programas.</p> <p>Al analizar su estructura organizacional en el organigrama, es posible detectar una estructura funcional. No obstante, en la práctica, según las funciones y en un nivel mayor, es posible identificar características afines con una estructura matricial, pues se comparten responsabilidades, áreas y campos de acción. Aunque hay mucha colaboración, los responsables directos y las funciones de cada cargo son claras. Se destaca que las cinco grandes escuelas funcionan como una estructura divisional, teniendo para cada "producto" o escuela un despliegue de las actividades funcionales independiente. Es posible identificar que se comparten temas entre áreas que no necesariamente están conectadas en la estructura organizacional.</p>
<p>Georgia Tech - Institute of Technology</p>	<p>La operación académica se lleva a cabo por medio de escuelas de conocimiento que se encargan del pregrado y el posgrado. Éstas tienen a cargo las tres funciones sustantivas: formación, investigación y relación con el entorno. El rol de educación profesional busca generar relaciones a través de los campos de conocimiento.</p> <p>Se identifica que las escuelas funcionan como unidades de negocio independientes, y despliegan una estructura divisional en la que cada "producto" o escuela es totalmente independiente y tiene su propia organización. Se destaca que las escuelas se encargan de todas las funciones sustantivas y se tienen roles particulares para coordinar la operación entre escuelas, pero en general trabajan en forma independiente. Esto puede ser resultado del gran tamaño que tienen.</p> <p>Se identifican las siguientes áreas relacionadas con la gestión académica: temas académicos a cargo de los prebostes y la Vicepresidencia Ejecutiva de Temas Académicos, investigación a cargo de la Vicepresidencia Ejecutiva de Investigación, educación en posgrado y desarrollo de facultades, educación en pregrado, gobierno y relaciones con la comunidad.</p> <p>Estructura funcional basada en la misión de formación e investigación.</p>

<p>Tecnológico de Monterrey</p>	<p>Su operación académica está enmarcada en cuatro instituciones con vocaciones estratégicas diferenciadas: Tecnológico de Monterrey, Tecsalud, Universidad Tecmilenio y Universidad Tecurriel. Se identifican algunos consejos consultivos que pueden ser integradores de la operación académica para lograr interdisciplinariedad: Consejo del Instituto de Emprendimiento, Consejo del Instituto de la Ciencia de la Felicidad, Consejo de Escuelas. La gestión académica se despliega principalmente en las funciones sustantivas de formación e investigación, y de entorno en términos de la internacionalización. Debido a que se encuentra conformado por cuatro instituciones diferentes, no se tiene un organigrama. Cada institución tiene su propia estructura.</p>
<p>Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) (Barcelona-Tech)</p>	<p>Está organizada en 22 centros docentes: 17 escuelas, 4 facultades y 1 Centro de Formación Interdisciplinaria Superior. Existen 17 departamentos, 4 institutos de investigación y 1 Instituto de Ciencias de la Educación. Además, hay 1 escuela de doctorado, 4 cátedras. También tiene centros docentes e institutos de investigación adscritos. Cada centro es responsable del desarrollo de las funciones académicas, aunque hay una coordinación general por parte de la universidad. Hay 7 vicerrectorías académicas: de estudiantes, de ordenación académica, de personal docente e investigador, de política universitaria, de investigación, de relaciones internacionales y de transferencia del conocimiento. Cada centro docente tiene a su cargo una dirección.</p>

Fuente: Elaboración propia.

estandarizar los procesos y procedimientos, lo que lleva a hablar un mismo idioma y a una mejor comunicación entre los centros y departamentos de la IES.

Los *stakeholders* seleccionados proporcionaron su perspectiva sobre las necesidades de la IES e información sobre la actualidad de los centros de estudios, siendo este un factor importante para el diseño de la nueva estructura organizacional. Los miembros de la comunidad hicieron seis observaciones importantes. En primera instancia, desde el comienzo de la conformación de los centros de estudios, éstos respondían al criterio de unidisciplinariedad: centros de estudios de civil, de eléctrica, etc., situación que aún se presenta y dificulta la interdisciplinariedad; en segundo lugar, actualmente los miembros de la comunidad no tienen claridad de lo que es un centro de estudios y cómo debe operar, razón por la cual carecen de una estructura básica común para la IES; en tercer término, en varias unidades de la IES no se distingue entre centro de estudios y grupo de investigación; en cuarto lugar, se encontró que algunos centros de estudios (pocos) tienen bajo su responsabilidad las tres funciones; en otros casos, sólo hacen investigación o docencia, y se presenta también que los profesores están adscritos a los programas de pregrado y desde allí prestan servicio a otros programas de pregrado y de posgrado; en quinta instancia, se nota que hay una proliferación de centros, lo cual tiende a aumentar en la medida en que aparecen áreas, líneas o énfasis nuevos dentro de la misma profesión; finalmente, en sexto lugar, se encontró que los centros actuales favorecen más la función docente

que la investigación y la extensión, y muy poco la interdisciplinariedad.

En resumen, la IES presenta divergencia en el funcionamiento de sus unidades, decanaturas y programas; tan sólo uno de éstos funciona de manera matricial: allí los profesores están adscritos a los centros, el jefe natural es el director del centro y se realizan las tres funciones. Sin embargo, son centros dependientes de un programa y, por tanto, unidisciplinarios, y lo que se identifica como necesidad latente de la IES es multidisciplinariedad en toda su operación.

3. Interpretación de resultados y construcción de la propuesta

Teniendo en cuenta el modelo propio de funcionamiento que tiene actualmente la IES, la información y los hallazgos hechos durante los espacios de interacción con los actores de la IES, así como la investigación realizada sobre estructuras organizacionales, tendencias y propuestas como respuesta a las necesidades que las organizaciones han identificado para poder mantener su competitividad, se construyó una propuesta de estructura organizacional para la IES, con el objetivo de permitirle adaptarse a los cambios en el modelo educativo del país y aumentar su reconocimiento como institución de educación superior.

La propuesta toma como base el funcionamiento de la IES desde cuatro ámbitos (figura 3). El primero, la operación académica, entendiendo como su naturaleza la labor que realizan los profesores de la IES en sus tres



Figura 3. Ámbitos base para la estructura organizacional de la IES.

Fuente: Elaboración propia.

funciones: formación-docencia, investigación e innovación y relación con el entorno; el segundo ámbito, la gestión académica, que facilita la operación académica desde la gestión organizacional; el tercero, la gestión administrativo-financiera, incluyendo los procesos de soporte a la academia, propósito de la IES; el cuarto corresponde al ámbito estratégico, para mantener desde la alta dirección la visión y estrategia a largo plazo que garantice la competitividad de la IES.

En el presente estudio se muestra la propuesta organizativa para el primer y segundo ámbito, como resultados parciales de un proyecto marco que busca desarrollar los siguientes dos ámbitos y su respectiva implementación.

Para el diseño de la estructura organizacional de la IES, enmarcada en los cuatro ámbitos, también se toma como base el lineamiento del Proyecto Educativo Institucional (PEI) (Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2017), en el que se establece la estructura para la IES:

Estructura organizativa que corresponda a un modelo propio que aproxime y conjugue lo matricial en lo académico y lo jerárquico en lo administrativo, y le facilite hacer efectiva su naturaleza como institución universitaria de carácter tecnológico que le permita el cumplimiento de su misión (Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2017, p. 56).

En este orden de ideas, para el primer ámbito el lineamiento plantea el diseño basado en una estructura ma-

tricial, y para los tres ámbitos restantes, una estructura basada en la relación jerárquica de los actores alrededor de las funciones propias de cada ámbito.

En particular, para la propuesta matricial del primer ámbito, se estableció el conocimiento como el eje central de la labor que realizan los profesores de la IES. De esta manera, se propone proyectar la IES hacia la sociedad como constructora y desarrolladora de conocimiento científico y tecnológico en nueve campos del conocimiento, según se determina en el PEI (Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2017): medioambiente, infraestructura, materiales, cibernética, energía, manufactura y servicios, información y conocimiento, ciencias sociales y humanas, y ciencias básicas. Desde esta visión, la IES puede fortalecer el ejercicio de sus tres funciones sustantivas y posicionarse en el mercado para ser reconocida no sólo en la formación-docencia, como lo viene haciendo hasta el momento, sino también en las demás.

Así mismo, la propuesta matricial rescata los centros de estudios como elemento propio del modelo de funcionamiento de la IES, entendidos como la agrupación de profesores que comparten afinidad e interés por la construcción y desarrollo de un campo de conocimiento en particular; por consiguiente, se propone estructurar la operación académica en diez centros de estudios, uno para cada campo del conocimiento, que agrupen a los profesores interesados en los campos y desde donde se realicen las tres funciones sustantivas. Con esta

estructura, los profesores de la IES no pertenecerán a programas de pregrado, lo cual limita su desempeño y alcance en la formación en posgrado, educación continuada, investigación y relación con el entorno, como viene sucediendo hasta el momento, sino que se consolidarán como actores relevantes en la construcción y desarrollo de conocimiento desde las tres funciones.

La estructura matricial diseñada se representa en la figura siguiente (figura 4), la cual muestra los tres ejes que componen la estructura, es decir, las funciones sustantivas (en rojo y naranja la formación, en azul claro la investigación, y en azul oscuro la extensión o relación con el entorno), los centros de estudios, y los proyectos y programas que ofrece la IES. Con el fin de entender el diagrama, se plantean los siguientes ejemplos: primero, la columna color amarillo representa el Centro de Estudios de Ciencias Humanas y Sociales, que agrupa profesores en todos los proyectos y programas de la IES por afinidad de conocimiento; segundo, el rectángulo color verde representa en la estructura propuesta la sección en la que encontraremos a los docentes que

pertenecen al Centro de Estudios de Infraestructura, que desarrollan investigación, en particular el proyecto de investigación 1; finalmente, los recuadros resaltados en color rosado representan que el programa 3 de la IES está atendido por docentes de los centros de estudios de Medioambiente, Materiales, Cibernética, Información y Conocimiento, y Ciencias Básicas (figura 5).

Por otra parte, para la propuesta del ámbito de gestión académica (figura 6) se articulan los roles en las unidades necesarias para llevar a cabo las funciones, esclareciendo los niveles jerárquicos y separando su alcance. La información que se muestra en la figura siguiente (figura 6) es el complemento de las figuras 4 y 5, específicamente la entrada del lado derecho de la matriz. En la propuesta se toma en cuenta la naturaleza de la IES como organización. En cuanto a la gestión académica, se debe tener en consideración que la Vicerrectoría Académica será la responsable de las tres funciones sustantivas de la IES.

Esta nueva estructura organizacional, en conjunto, permitirá a la IES facilitar su funcionamiento, favore-

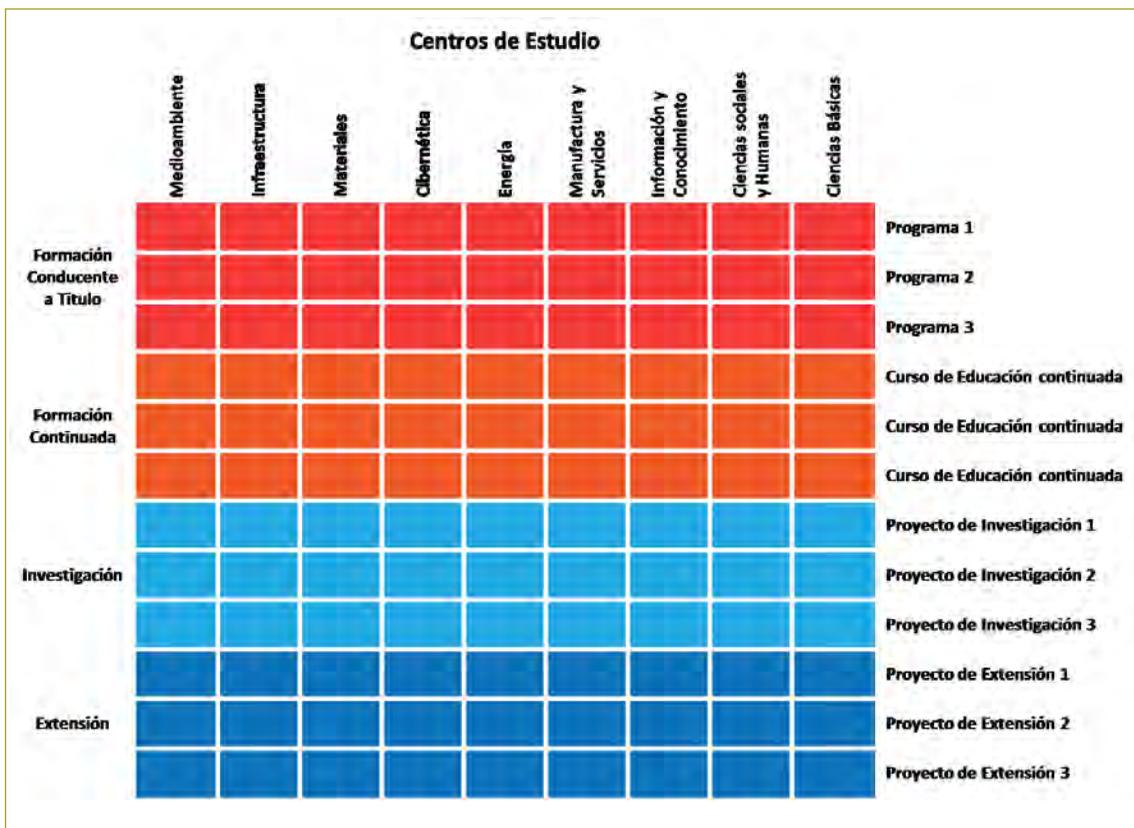


Figura 4. Propuesta de estructura organizacional matricial.

Fuente: Elaboración propia.

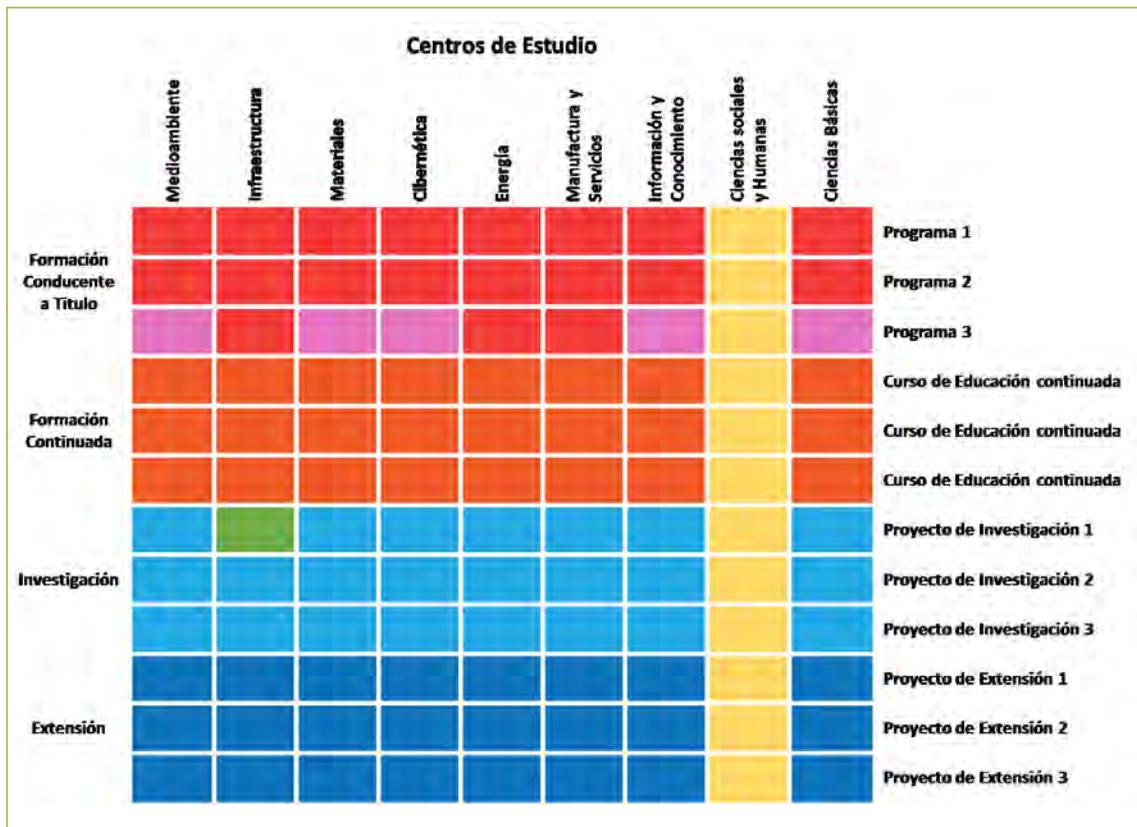


Figura 5. Ejemplos en la propuesta de estructura organizacional matricial.
Fuente: Elaboración propia.

ciendo la operación multidisciplinaria y la construcción y desarrollo de conocimiento en la formación-docencia, la investigación e innovación y su relación con el entorno.

Discusión y consideraciones para la implementación

Para hacer una implementación adecuada de la estructura organizacional matricial propuesta, se sugiere tener en cuenta los siguientes criterios, considerados importantes para la inclusión y adaptación de la comunidad de la IES.

En primera instancia, la organización académica de la IES deberá obedecer a una matriz de doble entrada, en la que, por un lado, estén ubicados los centros de estudios, los cuales serán institucionales y no dependerán de decanaturas, programas o proyectos; dichos centros serán responsables de desarrollar las tres funciones sustantivas en cada uno de los nueve campos del conocimiento. Por el otro lado de la matriz se situarán los campos profesionales, representados en los programas de formación (pregrado, posgrado, educación continua-

da) y en los proyectos de investigación-innovación y de relación con el entorno, los cuales recibirán el servicio académico de los centros de estudios (figura 4).

En lo relacionado con la distribución del recurso humano, a los centros de estudios estarán adscritos todos los profesores de planta y de cátedra, y su ubicación en cada centro dependerá de la formación, experiencia e interés académico de cada profesor. Por otra parte, el único jefe de los profesores será el director del centro correspondiente.

Los centros deberán atender todas las asignaturas de los programas de pregrado y posgrado, al igual que las actividades de educación continuada y los proyectos de investigación-innovación y relación con el entorno. En cuanto a los programas de formación (pregrado, posgrado, educación continuada), recibirán los servicios académicos de diferentes centros, de acuerdo con la naturaleza de las asignaturas y otras actividades académicas que conforman su plan de estudios o su propuesta de formación.

		DIRECTORES DE PROGRAMA O DE PROYECTO	DECANOS DE FACULTAD / RESPONSABLES ACADÉMICOS	VICERRECTOR	
PROGRAMAS	Programas de Pregrado	Ingeniería Civil	Unidad de Ingeniería (Posiblemente Facultad) Incluirá las actuales Decanaturas de Ingeniería	Vicerrectoría Académica	Consejo Académico de Conformado por el Vicerrector y los responsables académicos
		Ingeniería Eléctrica			
		Ingeniería Electrónica			
		Ingeniería Industrial			
		Ingeniería de Sistemas			
		Ingeniería Mecánica			
		Ingeniería Biomédica			
		Ingeniería Ambiental			
	Economía	Unidad de Ciencias Económicas, Administrativas y Humanas (Posiblemente Facultad) Incluirá las actuales Decanaturas de Economía y de Administración, la Dirección de Humanidades y parte de la Unidad de Proyectos. Además, la creación de una unidad de idiomas			
	Administración	Unidad de Ciencias Exactas y Naturales (Posiblemente Facultad) Incluirá la actual Decanatura de Matemáticas y las Direcciones de Ciencias y de Matemáticas			
Programas de Posgrado	Especializaciones	Unidad de Posgrados			
	Maestrías				
	Doctorado				
Programas de Educación Continuada	Cursos	Unidad de Educación Continuada Incluirá la parte académica de la actual Unidad de Gestión Externa			
	Diplomados				
PROYECTOS	Proyectos de Investigación	Proyectos de Grandes Rubros	Unidad de Investigación, Innovación y Extensión Incluirá parte de la actual Unidad de Gestión Externa		
		Proyectos de Pequeños Rubros			
		Proyectos de Facultad (Actualmente de programa)			
	Proyectos de Extensión				

Figura 6. Propuesta de estructura de la gestión académica.

Fuente: Elaboración propia.

En términos de organización, cada centro de estudios presentará una propuesta que revisará y avalará un comité de centros de estudios, una vez cumplidos los requisitos establecidos institucionalmente. En cuanto a los programas y proyectos, su coordinación incluirá coordinación del equipo de profesores, de estudiantes y de la gestión académico-administrativa correspondiente.

Finalmente, se quiere implementar la propuesta de organización académica matricial en cumplimiento de un plan, una vez dictada la capacitación en asuntos referidos a la gestión del cambio en educación superior.

Los resultados del presente estudio corresponden a la propuesta hecha para los ámbitos 1 (de operación académica) y 2 (de gestión académica), que se enuncian en una figura anterior (figura 3). Como estudio futuro se encuentra el desarrollo de los ámbitos restantes (3,

de gestión administrativo-financiera, y 4, estratégico), lo cual está enmarcado en un proyecto marco para la IES del caso de estudio.

CONCLUSIONES

Mediante la presente investigación se buscaba desarrollar una propuesta de estructura organizacional que, desde el conocimiento como base, les permitiera a las IES desarrollar sus funciones sustantivas en los tres ejes de la docencia, investigación y relación con el entorno. Para esto se propuso y utilizó una metodología de tipo cualitativo descriptivo de tres fases, basada en Hernández Sampieri (2014).

La propuesta de estructura construida abarca el funcionamiento de los ámbitos de operación y gestión

académica. El primero está compuesto por la representación de la estructura organizacional en una matriz en cuyos lados se encuentran organizadas las funciones sustantivas, los centros de estudios y los proyectos y programas que ofrece la IES (figura 4); en cuanto a la gestión académica, se articulan los roles en las unidades necesarias para llevar a cabo las funciones, esclareciendo los niveles jerárquicos y separando su alcance (figura 6); allí se desarrollaron el funcionamiento y la organización de los programas y proyectos, lo cual desglosan los directores de programa o de proyecto, los decanos de facultad o los responsables académicos, y el papel que desempeñará la vicerrectoría académica en la gestión.

La implementación de la estructura organizacional de tipo matricial en la IES permitirá a los profesores enfocarse en sus áreas de conocimientos y, a su turno, generar equipos de programa o de proyectos, de tal manera que se logren llevar a cabo las funciones sustantivas de la IES, potenciando la investigación; así, los profesores pueden beneficiarse de los conocimientos y experiencias de los profesores de otras áreas. En una estructura matricial, los profesores de un área tienen contacto constante con los profesores de otras áreas mediante su pertenencia a los equipos de programa o de proyecto.

Adicionalmente, la alta dirección de la IES desempeñará un papel importante dentro de la implementación de la propuesta desarrollada en esta investigación, pues está en ellos el deber de fomentar una cultura de cambio y sensibilizar a los colaboradores (González, Ochoa y Celaya, 2016).

Al implementar la propuesta de mejora no habrá mayor resistencia por parte de los empleados, siempre y cuando existan un verdadero compromiso y una participación activa de la alta dirección durante la etapa de sensibilización planteada y, más adelante, en la puesta en marcha de las nuevas acciones (González, Ochoa y Celaya, 2016, p. 28).

El éxito de la implementación de la estructura organizacional también recaerá en “cómo las personas reaccionan y se adaptan” (Kuprenas, 2003, p. 59); de esta manera, será un trabajo en equipo para llevar a cabo un aprendizaje, tal como en otros casos de estudio, en cuanto a las “habilidades para llevar a cabo discusiones sobre cambios efectivos que minimizan los efectos potencialmente negativos del cambio en la moral, los procesos y la productividad” (Kuprenas, 2003, p. 59).

La estructura matricial propuesta, por otra parte, es adecuada para el ámbito académico de la IES porque es menos vertical y jerárquica que la estructura funcional y la divisional. Los profesores de un centro podrán tener contacto constante con los profesores de las diferentes áreas por pertenecer a equipos de programa o de proyectos; además, esta estructura permitirá que la información y los recursos viajen más fluidamente entre las áreas y facilitará el manejo de retos y objetivos complejos. Esta propuesta permite que los recursos humanos se puedan compartir de un modo flexible a través de los programas y proyectos existentes. También facilita la autonomía, estimula la cooperación y establece nuevas relaciones entre los responsables. Adicionalmente, las consideraciones para la implementación permitirán superar los riesgos que una estructura de esta naturaleza puede presentar.

Por último, la estructura matricial propuesta será muy útil para la IES de este caso de estudio, en razón de que opera en entornos complejos y cambiantes, porque posibilita una gran capacidad de adaptación y estimula las innovaciones; así mismo, será un referente para otras IES que deseen migrar su funcionamiento hacia estructuras modernas de este tipo.

Agradecimientos

Los autores de la presente investigación y artículo agradecen a la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, especialmente a los miembros del claustro, a la rectoría, decanaturas, directivos, profesores, personal administrativo, y todos aquellos que aportaron sus conocimientos, experiencias y recursos que permitieron nutrir este estudio.

REFERENCIAS

- Acosta, A. (2005). Departamentalización y contexto organizacional: la experiencia de la Universidad de Guadalajara. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 7(1). <http://redie.uabc.mx/vol7no1/contenido-acosta.html>.
- Alzate, A. (1999). Teoría general de sistemas. *Noos: Revista Departamento de Ciencias* (8), 84-89. <http://bdigital.unal.edu.co/57900/>.
- Bayón, S. y Díaz, V. T. (2017). *Hacia un cambio en la estructura organizacional en la administración pública* [tesis de grado, Universidad de La Laguna].
- BBC Mundo (2017, 5 de septiembre). *Cuáles son las mejores universidades del mundo (y cómo se ubican las de América Latina)*. Londres: British Broadcasting Corporation. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-41152214>.

- Bertalanffy, L. v. (1968). *Teoría general de los sistemas; fundamentos, desarrollo y aplicaciones*. Nueva York: George Braziller.
- Bothwell, E. y Grove, J. (2017, 5 de septiembre). *World University Rankings 2018: results announced*. Londres: The World Universities Insights Limited. <https://www.timeshighereducation.com/news/world-university-rankings-2018-results-announced>.
- Calderón, G., Cuartas, J. y Álvarez, C. (2009). Transformación organizacional y prácticas innovadoras de gestión humana. *Innovar*, 19(35), 151-166. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/innovar/article/view/28773/34868>.
- Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito (2017). *Proyecto Educativo Institucional*. https://www.escuelaing.edu.co/uploads/descargables/1487_pei_aprobado5_12_2017.pdf.
- Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito (2018). *Historia de la Escuela* (fundación). Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. <https://www.escuelaing.edu.co/es/conozcanos>.
- Galbraith, J. R. (1971). Matrix organizations design: how to combine functional and project forms. *Business Horizons*, 14(1), 29-40. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0007681371900371>.
- Galbraith, J. R. (2009). *Designing matrix organizations that actually work: how IBM, Procter & Gamble, and others design for success*. Estados Unidos: Jossey-Bass.
- González Díaz, R. A., Ochoa Jiménez, S. & Celaya Figueroa, R. (2016). Cultura organizacional y desempeño en instituciones de educación superior: implicaciones en las funciones sustantivas de formación, investigación y extensión. *Universidad & Empresa*, 18(30), 13-31. <https://doi.org/10.12804/rev.univ.empresa.30.2016.01>.
- Hernández, R. (2014). *Metodología de la Investigación* (6ª ed.) México, D.F.: McGraw-Hill. Interamericana Editores S.A.
- Kuprenas, J. (2003). Implementation and performance of a matrix organization structure. *International Journal of Project Management*, 21(1), 51-62. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(01\)00065-5](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(01)00065-5).
- Lavezzolo, S. E. y Rodríguez-Lluesma, C. (2015). ¿Qué aporta una organización matricial? *Revista de Antiguos Alumnos* (138), 30-32. <http://www.ieseinsight.com/fichaMaterial.aspx?pk=125232&idi=1&origen=1&idioma=1>.
- López González, C., Díaz Fúnez, P. A. y Robledo Velásquez, J. (2015). La organización informal y sus efectos en las capacidades de innovación. *Universidad & Empresa*, 17(28), 191-217. <https://doi.org/10.12804/rev.univ.empresa.28.2015.09>.
- Lozano Sayago, J. I. (2011). *Manual técnicas avanzadas de secretariado. Formación para el empleo*. Madrid: Editorial CEP S.L.
- Lukinait, E. y Sondait, J. (2017). Mindset of employees working in a matrix organizational structure. *Business: Theory and Practice*, 18(1), 144-151. <https://doi.org/10.3846/btp.2017.015>.
- Mäkimattila, M., Saunila, M. y Salminen, J. (2014). Interaction and innovation - Reframing innovation activities for a matrix organization. *Interdisciplinary Journal of Information, Knowledge, and Management*, 9, 131-152. <http://www.ijkm.org/Volume9/IJKMv9p131-152Makimattila0758.pdf>.
- Méndez Álvarez, C. E. (2003). Reflexión sobre teorías de lo organización, cultura corporativa y tecnologías de gestión en la empresa colombiana. *Universidad & Empresa*, 2(2), 8-41. <https://revistas.urosario.edu.co/index.php/empresa/article/view/2755>.
- Mitchell, T. (2014, 16 de enero). *The top 5 matrix leadership skills*. Londres: European CEO. <https://www.europeanceo.com/business-and-management/the-top-5-matrix-leadership-skills/>.
- Pertuz, R. A. (2013). Estudio de los tipos de estructura organizacional de los institutos universitarios venezolanos. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 15(3), 53-67. <http://redie.uabc.mx/vol15no3/contenido-pertuz.html>.
- Procter & Gamble (2018). *Research & development: our process*. Estados Unidos: The Procter & Gamble Company. http://www.pgscience.com/home/the_innovation_process.html.
- Suara Cooperativa (2018). *Quiénes somos*. Barcelona: Suara Serveis, SCCL. <https://www.suara.coop/es/quienes-somos/>.
- Valenzuela, J. y Capelleras, J. L. (2013). *La evolución del diseño y la estructura organizativa: un estudio de casos* [tesis de grado, Universidad Autónoma de Barcelona].

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, 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 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