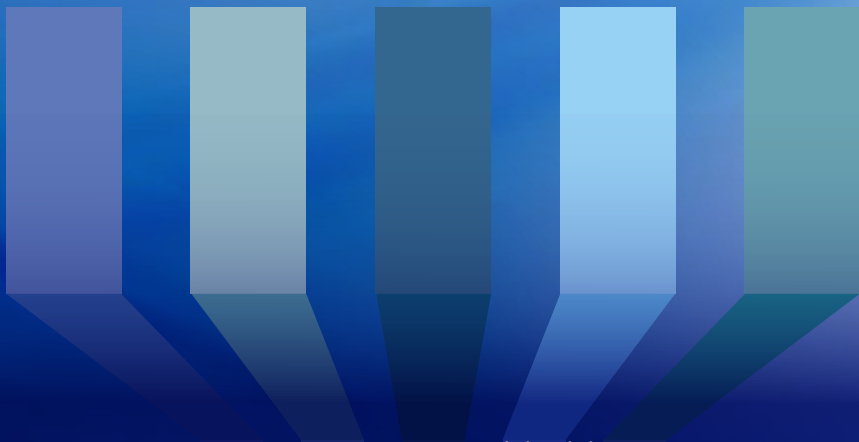


Desarrollo sostenible



Casos y aplicaciones
en el contexto colombiano



UNIVERSIDAD
LIBRE



ean[®]
universidad

Desarrollo sostenible
Casos y aplicaciones en el contexto colombiano

Desarrollo sostenible

Casos y aplicaciones
en el contexto colombiano



UNIVERSIDAD
LIBRE®



Bogotá, D. C.

2020

Giraldo Arcila, Sindy Viviana

Desarrollo sostenible: casos y aplicaciones en el contexto colombiano / Sindy Viviana Giraldo Arcila...[y otros veintiuno]; adaptador Viviana María del Mar Castiblanco Casallas; diseñador Ángel David Reyes Duran; editor Siby I. Garcés Polo.

Descripción: 1a edición / Bogotá: Universidad Libre, Universidad Ean, 2020.
265 páginas.

ISBNe 9789587566468

1. Desarrollo sostenible 2. Consumo (Aspectos ambientales) 3. Aprovechamiento de residuos 4. Cuencas hidrográficas -- Aspectos ambientales 5. Turismo -- Aspectos ambientales
I. Castiblanco Casallas, Viviana María del Mar (adaptador) II. Reyes Duran, Ángel David (diseñador) III. Garcés Polo, Siby I. (editor)

333.72 CDD23

Edición - Universidad EAN

Gerente de Investigación y Transferencia - Universidad EAN

Leonardo Rodríguez Urrego

Directora Nacional de Investigaciones - Universidad Libre

Elizabeth Villarreal Correcha (Coedición)

Editores

H. Mauricio Diez-Silva - Siby Garcés Polo

Coordinadora de Publicaciones - Universidad EAN

Laura Cediél Fresneda

Revisor de estilo

Viviana Castiblanco Casallas

Diseño de cubierta

Monica Cabiativa Daza

Diseño y diagramación

Precolombi EU, David Reyes

Editado y publicado por Ediciones Ean, Universidad Ean, 2021. Todos los derechos reservados.
ISBNe 9789587566468

© Universidad EAN, El Nogal: Cl. 79 No. 11 - 45. Bogotá D.C., Colombia, Suramérica, 2019
Prohibida la reproducción parcial o total de esta obra sin autorización de la Universidad EAN®
© UNIVERSIDAD EAN: SNIES 2812 | Personería Jurídica Res. n.º 2898 del Minjusticia - 16/05/69 | Vigilada Mineducación. CON ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL DE ALTA CALIDAD, Res. N.º 29499 del Mineducación 29/12/17, vigencia 28/12/21
© Universidad Libre. Calle 8 No. 5 - 80. Bogotá D.C. Tel: 3821000
© Facultad de Ingeniería Seccional Bogotá
comiteeditorial.ing.bog@unilivre.edu.co

Producido en Colombia.

Contenido

Prólogo

11

Capítulo I

Aporte a la medición de dosis respirable de material particulado de biciusuarios en Bogotá

Astrid del Socorro Altamar Consuegra

Sonia Lucila Meneses Velosa

13

Capítulo II

Análisis del reciclaje como comportamiento de consumo sostenible: una aproximación desde las percepciones de efectividad del consumidor

Claudia Arias

41

Capítulo III

Diagnóstico socioambiental de la microcuenca del río El Palmar del municipio de Ubaque (Cundinamarca)

Gilberto Vallejo Moreno

Daniel Alejandro Herrera Ladino

Iván Andrés Herrera Ladino

63

Capítulo IV

Observatorio sobre desarrollo sostenible y población: ¿una reflexión necesaria acerca de Bogotá y la Región Metropolitana?

Álvaro Luis Mercado Suárez
Margarita Rosa Medina Vargas

85

Capítulo V

Eficiencia relativa y posicionamiento estratégico de las empresas de elaboración de productos lácteos en Colombia

Sindy Viviana Giraldo Arcila

109

Capítulo VI

Cielos oscuros como patrimonio científico y cultural de la humanidad: una base para el desarrollo del turismo científico, responsable y sostenible en Colombia

Cristian Góez Therán
Santiago Vargas Domínguez

133

Capítulo VII

Modelo de competitividad aplicado al sector transporte en el AMCO y su relación con los objetivos de desarrollo sostenible (2016-2030)

Paola Andrea Echeverri Gutiérrez
Jesús David Valencia Salazar

155

Capítulo VIII

Comportamiento de la cascarilla de café como alternativa sostenible en construcciones livianas para aislamiento acústico

Daniel Aristizábal Torres
Adán Silvestre Gutiérrez
Ana María Barrera Rodríguez

177

Capítulo IX

Sostenibilidad e incertidumbre en la agricultura: análisis descriptivo multivariado de variables agroclimáticas y socioeconómicas

Leila Nayibe Ramírez Castañeda

Nelson Obregón Neira

Gina Paola González Angarita

189

Capítulo X

Índice para la medición de sostenibilidad empresarial

José Alejandro Martínez S.

Darío Mauricio Reyes

Nicolás Giraldo Castro

217

Prólogo

Desde tiempos que ya se desvanecen, el proyecto de la modernidad apalancó al hombre sobre la naturaleza para ejercer dominio sobre ella sin la necesidad de ruegos a las divinidades, por solo hablar de la sociedad occidental, donde se impuso la herencia cartesiana del mecanicismo y racionalismo que constituyó una idea de dominio y apropiación de la naturaleza dejando de lado el cuidado y la fragilidad del medioambiente. Desde los tiempos de Smith y Malthus, el crecimiento económico se basó en la explotación de la tierra y los recursos naturales y así, en la medida que fueron apareciendo indicadores deficitarios, como los que surgieron por el crecimiento industrial, se requirieron nuevas explicaciones sobre los factores del desarrollo económico sostenible.

Actualmente, la hecatombe ecológica que vive el Planeta no se detiene, en parte, porque está nutrida de las tensiones que causan el poder y el desarrollo, igual que por las condiciones de desigualdad humana y por la destrucción y el deterioro masivo del medioambiente. También, por la sospecha de que en el mundo nada es eterno y mucho menos cuando es una lucha permanente ganar conciencia sobre el cuidado de la naturaleza y sus interrelaciones de creciente complejidad, como una cascada de problemas que demandan solución.

En esta tarea inacabada de ganar conciencia, se debate la academia y logra esfuerzos conjuntos de difusión de la investigación que se consolida en variados temas de desarrollo sostenible como los abordados por intelectuales de la Universidad Libre, la Universidad EAN, y otras universidades colombianas. La unión de estos grupos de investigación se plasma en este libro en el que se abordan diversos aspectos de las dimensiones ecológica, económica y social, en temas como los bicisaurios, las relaciones reciclaje-consumo y el aprovechamiento de la cascarilla del café, todo ello mediante la incorporación de aplicaciones teóricas de sostenibilidad ambiental y económica en los casos estudiados. Tales análisis muestran las potencialidades de rentabilidad razonable y con estabilidad en el tiempo. De igual manera, señala el alto nivel de subjetividad en algunos estudios como el de cuencas, cielos oscuros-turismo y el análisis multivariado de variables agroclimáticas y socioambientales para casos de sostenibilidad de la agricultura.

Unos y otros estudios dejan evidencias del esfuerzo por entender y abordar los problemas socioambientales, al seguir la pesquisa de que la sostenibilidad puede ser una virtud emergente de la interacción humana y que las soluciones sostenibles a los problemas son posibles únicamente si se incentiva y promueve un aprendizaje social, a más de la necesidad de comprometer a los actores claves de adelantar acciones concertadas.

Esta publicación asegura entonces que, en el día a día, los investigadores, docentes y estudiantes tienen tantos motivos de orden intelectual como otros de carácter empírico para fortalecer la capacidad de tejer tramas epistemológicas interesantes, como en ningún otro tiempo, sobre la primacía de los problemas socioambientales en el corazón de sus laberintos. Libres también de toda superstición de modernidad y de toda ilusión de que los problemas de ayer difieren de los de hoy y de los de mañana.

FERNANDO ARTURO SALINAS SUÁREZ
Rector Universidad Libre
Seccional Bogotá

H. MAURICIO DIEZ-SILVA
Gerente Académico
Universidad EAN

CAPÍTULO I

Aporte a la medición de dosis respirable de material particulado de biciusuarios en Bogotá

ASTRID DEL SOCORRO ALTAMAR CONSUEGRA¹
SONIA LUCILA MENESES VELOSA²

1. Introducción

El Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) trabaja de manera conjunta con el Grupo de Desarrollo de las Naciones Unidas (UNDG, por sus siglas en inglés) en la creación y la implementación de estrategias para el desarrollo sostenible, con el fin de enfrentar desafíos como la pobreza, proteger el planeta y garantizar que las personas tengan

1 <https://orcid.org/0000-0001-6965-7076>. Universidad Libre de Colombia. Colombia. astridd.altamarc@unilibre.edu.co

2 <https://orcid.org/0000-0003-0251-8308>. Universidad Libre de Colombia. Colombia. sonial.menesesv@unilibre.edu.co

paz y prosperidad. Este propósito se ve reflejado en la formulación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (PNUD, 2019).

Según un estudio del Banco Mundial (2019), más del 50 % de la población del planeta vive hoy en zonas urbanas, luego la dinámica de crecimiento y uso de los espacios urbanos es fundamental para lograr un desarrollo sostenible.

El ritmo de crecimiento y la magnitud de las ciudades genera problemáticas frente a la atención de la demanda de vivienda, servicios básicos y transporte, entre otros. Las ciudades también aportan a los efectos del cambio climático, ya que consumen cerca de dos tercios de la energía del planeta, y son responsables de más del 70 % de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (Banco Mundial *et al.*, 2019).

Por ello, el Banco Mundial (1997) y el PNUD promueven procesos de urbanización que generen inclusión, resiliencia y bajas emisiones de carbono, así como productividad y la habilidad, para contribuir al ODS número 11: “Ciudades y Comunidades Sostenibles”. Este trabajo de investigación se enmarca en este objetivo y en sus siguientes metas:

- De aquí a 2030, proporcionar acceso a sistemas de transporte seguro, asequible, accesible y sostenible para todos, y mejorar la seguridad vial.
- De aquí a 2030, reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades.

Sobre la problemática tratada en la investigación, se tiene que la Organización Mundial de la Salud (OMS) expresó que el 91 % de la población vivía en lugares donde no se respetaban las directrices sobre la calidad del aire, lo que de forma indirecta provocaba 4,2 millones de muertes prematuras al año por enfermedades cardiovasculares y respiratorias, debido a la contaminación atmosférica y a la exposición a material particulado (PM 2,5). (OMS C. d., 2018). Los principales problemas de la calidad del aire en el mundo se deben ante todo a las emisiones del transporte público (Franco J., 2007), que contribuyen entre 70 % y 80 % de la contaminación atmosférica.

Uno de los principales retos del desarrollo sostenible es que el 55 % de la población mundial vive en ciudades (Naciones Unidas, 2018), lo que presiona el uso del suelo en aspectos como la movilidad, donde

riñen los medios de transporte. En el caso de Bogotá, aunque la inversión en infraestructura se centra en vías de dedicación exclusiva para vehículos motorizados, desde hace veinte años se vienen desarrollando políticas públicas para incentivar el uso de la bicicleta como medio de movilidad alternativa sostenible.

El uso recreativo de la *bicicleta* se complementó como medio de transporte (Zambrano, 2017), por lo tanto, las administraciones públicas de la ciudad de Bogotá, desde la alcaldía Antanas Mockus hasta la administración actual en 2019, han incluido políticas públicas para sumar este tema al transporte público urbano como otro actor del sistema. La energía del biciusuario que emplea para mover su bicicleta y su aporte a la disminución de la emisión de gases efecto invernadero son de gran importancia ante al cambio climático.

Frente a los múltiples beneficios del uso de la bicicleta como modo de transporte, se han analizado las externalidades negativas que se generan al compartir el sistema de movilidad actual (Meneses, 2018) (Díaz, Jiménez y Meneses, 2017) (Duarte, López y Meneses, 2018). Así mismo, se han investigado los aspectos de infraestructura —ciclorutas, ciclovías, vías compartidas etc.— y aquellos propios del biciusuario —edad, género, localidad de origen, ruta etc.—; en cuanto al entorno, los estudios se han centrado en los riesgos de accidentalidad y derivados de la infraestructura —falta de conectividad, estado de la ciclovía, falta de señalización, etc.— (Meneses, Camacho y Duarte, 2018), centrándose parcialmente en aspectos que se han vuelto relevantes por el incremento de los efectos del cambio climático sobre la salud. Es decir, de los riesgos para el biciusuario de contaminantes atmosféricos, como lo es el material particulado respirable.

Bogotá, declarada por la administración distrital de Enrique Peñalosa la Capital Mundial de la Bicicleta, mediante el Decreto n.º 456 del 6 de agosto de 2018, avanza cada día para convertirse en un ejemplo de movilidad sostenible. Sin embargo, los biciusuarios de la ciudad, que a diario realizan más de 850 000 viajes, están expuestos a riesgos derivados de los problemas ambientales (Espinosa, 2005), entre los cuales la calidad del aire ocupa un lugar importante (Franco J., 2007).

Esta exposición a un aire de calidad deficiente ha traído como consecuencia un alto nivel de infecciones respiratorias agudas y problemas cardiovasculares, por lo que se requiere medir la dosis respirable

de quienes se movilizan en bicicleta en la ciudad. La importancia de realizar esta medición es cada vez mayor, porque el 8 % de los viajes al día se hacen por este medio.

Para ello, se hace un experimento que mide la dosis de *material particulado respirable*, con métodos de higiene industrial aplicada, en una muestra de bicisuarios durante su proceso de movilidad diaria sobre rutas en la localidad de Engativá, con un tamaño de muestra representativo. Se busca medir el material particulado (PM 10), teniendo en cuenta los métodos OSHA, TWA y ACGIH, y comparándolos.

Para comparar los resultados que arrojan estos métodos, se realizó un experimento piloto donde analiza cada uno de ellos. Metodológicamente, se aplica la norma NIOSH 600 (1998) y se usan los protocolos de laboratorio y muestreo, identificando y evitando el impacto de las variables perturbadoras.

La complejidad de este experimento radica en la toma de muestras en el ambiente de la ruta del bicisuario, donde existen aspectos no controlados, en contraste con un muestreo en un espacio laboral normal.

Los principales antecedentes sobre la medición de material particulado respirable en ciudades de Colombia ponen en evidencia que son pocos los estudios que determinan la dosis de partículas respiradas por los ciudadanos expuestos a diario a todo tipo de contaminación, generada principalmente por diferentes medios de transporte y las altas densidades de las industrias.

Sobre el aire en Bogotá (Rojas, 2005), el principal contaminante es el material particulado respirable. Algunas de las formas más efectivas para reducir su concentración son el mejoramiento del combustible diésel, la reducción de la sobreoferta en el transporte público colectivo y la diversificación de combustibles utilizados en el transporte.

Los estudios realizados recientemente, como el de la Universidad de los Andes, muestran que la principal causa de la contaminación del aire son las fuentes móviles, representadas por los vehículos motorizados, que en la ciudad de Bogotá son 933 669 y se distribuyen así: el 94 % son vehículos livianos a gasolina; el 1 %, vehículos livianos diésel, y el 5 % restante, buses y vehículos pesados diésel (Ramos y Ruiz, 2006).

Debido a que las ciclorutas están diseñadas paralelas a las principales vías de la ciudad, los bicisuarios se exponen a materiales altamente contaminantes del aire que respiran (Martínez, 2018), tales como los hidrocarburos no quemados (HC), el monóxido de carbono (CO), los

óxidos de nitrógeno (NO_x), el dióxido de azufre (SO_2), los compuestos orgánicos volátiles (COV) y el material particulado (PM), entre otros.

En una investigación realizada en la Universidad de Antioquia en el 2015 (Ramírez, Lenis y Agudelo, 2013), al medir el material particulado en motociclistas de la zona centro de Medellín se concluyó que se presentan concentraciones que superan los límites recomendados por la OMS para los contaminantes PM 10 —partículas de tamaño de 10 micrómetros— y PM 2,5 —partículas de tamaño menor o igual a 2,5 micrómetros— para una muestra de veinte motociclistas. En este trabajo usaron métodos gravimétricos.

Otro actor vial expuesto a estos niveles de material particulado en Bogotá son los peatones. Sobre ellos se realizó en las principales vías de la ciudad una investigación con cinco experimentos (Franco y Segura, 2016) que medían en tiempo real con un monitor de concentraciones de BC (carbón negro), un GPS y un formato para registrar eventos relevantes percibidos durante el recorrido. Se concluyó que hay una relación directa —observada— entre los picos de concentración de BC a los que están expuestos los peatones y los eventos documentados en cada trayecto. Si bien en los tres corredores viales estudiados registraron concentraciones de BC que indican un aire de calidad inadecuada, se encontraron distintas distribuciones de las concentraciones para cada vía. Cabe anotar que las partículas BC son parte de las partículas respirables finas o PM 2,5.

La Universidad EAN (Martínez y Segura, 2016) realizó un estudio mediante la adaptación de una bicicleta con dos equipos que monitoreaban la calidad del aire en tiempo real, con el fin de medir la concentración de material particulado fino (PM 2,5) y carbono negro (BC) —conocido comúnmente como *hollín*—, ambos contaminantes característicos de la emisión de vehículos que usan el diésel como combustible. Estas mediciones se realizaron por cinco meses durante tres días entre semana y los domingos en diferentes ciclorutas de la ciudad: avenida Boyacá, entre calles 13 y 80; calle 26, entre carreras 96 y 50; avenida 19, entre calles 100 y 146, y carrera 11, entre calles 63 y 100.

Este estudio concluyó que los valores de exposición —calidad del aire— a material particulado a los que se enfrentan los ciclistas están en un rango de entre los 70 y 135 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los días entre semana, y entre los 28 y 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para un día del fin de semana. Esto significa que los ciclistas se encuentran expuestos a valores instantáneos de concentración

que superan por mucho los niveles considerados perjudiciales para la salud de las personas por la OMS.

Frente a esta problemática, la administración de la ciudad ha venido desarrollando campañas para incentivar el conocimiento de la calidad del aire y el material particulado respirable, dentro de las cuales se destaca el día sin carro, que se viene realizando desde el 2000 y tiene como objetivo limitar el uso de vehículos a motor particulares un día al año.

Sobre el impacto de esta campaña en la calidad del aire y los niveles de material particulado, destaca un estudio de medición publicado en 2018: «El impacto del día sin carro no es disminuir los niveles de contaminación del aire por material particulado. Al contrario, ese día aumentan, porque circula prioritariamente transporte con combustible diésel», afirma el doctor Luis Jorge Hernández, director del Grupo de Salud Pública de la Facultad de Medicina de la Universidad de los Andes en el boletín de calidad del aire. Quienes viajaron ese día en bicicleta, en patines o a pie sufrieron las consecuencias de un aire sucio.

Según el Boletín epidemiológico día sin carro, emitido por los investigadores de Los Andes (imagen 1), «se observa que el estado de la calidad del aire es perjudicial (barras de color rojo) para ambos puntos de monitoreo (Kennedy y Carvajal), durante las horas de la mañana en los días registrados, lo anterior a expensas del contaminante: material particulado 2,5 (PM 2,5)» (Universidad de los Andes, 2018).

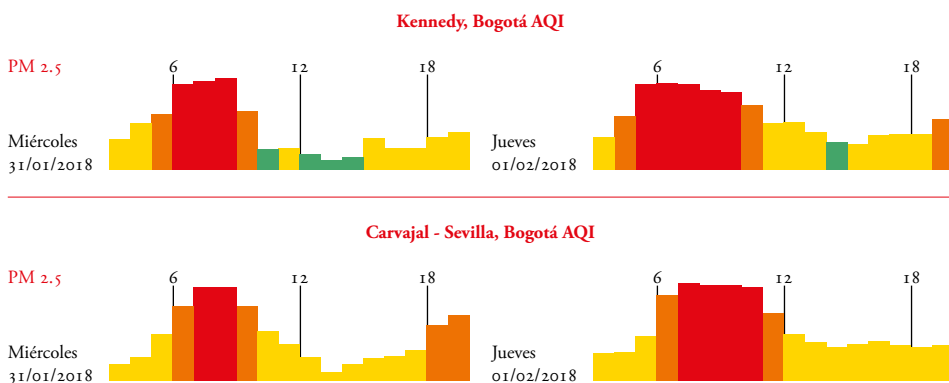


IMAGEN 1. Calidad del aire en día sin carro en Bogotá en 2018

Fuente: Universidad de los Andes, 2018.

«En segunda instancia se evidencia que el jueves (día sin carro y sin moto), en comparación con el miércoles, registra una elevación en

todos los monitoreos realizados durante la jornada, debido al aumento del índice AQI, evento que se presentó en ambas localidades (Kennedy y Carvajal)» (*ibid.*). De igual forma, el informe muestra que uno de los agravantes durante la jornada se dio por la movilidad de transporte público: buses, busetas y Transmilenio que funcionan con combustible diésel, fuente de contaminación del aire por material particulado respirable. «El comportamiento fue muy parecido a los días con carro, aunque hubo momentos en el día sin carro con mayores picos de concentración de material particulado», concluye Hernández.

El costo asociado a los efectos de la contaminación atmosférica en Bogotá durante 2014 (Querol, 2018) superó los 1000 millones de dólares; lo anterior se vio materializado en enfermedades de tipo respiratorio y cardiovascular en la población. La promoción del transporte sostenible es una de las medidas que se han venido adoptando y que contribuyen a mejorar no solo la calidad del aire, sino también la movilidad. El uso de la bicicleta sin duda alguna constituye una pieza fundamental en este engranaje, por lo que el mayor entendimiento de alternativas para medir la calidad del aire en microambientes, la dosis respirable por cada bicusuario aporta, junto con otras opciones, a formular políticas integrales que permitan la articulación de la academia con los otros entes involucrados para descontaminar el aire.

4.1. Sobre la infraestructura de la movilidad en bicicleta en Bogotá

El 80 % de las ciclovías en Bogotá —entendiendo «ciclovía» como la infraestructura pública destinada de manera exclusiva para la circulación de bicicletas— se ha construido en el espacio público como un ciclocarril bidireccional sobre el andén existente, o de segregación dura, anexas a las vías vehiculares y peatonales (Ministerio de Transporte, 2016). Esta configuración hace que los bicusuarios estén paralelos a los vehículos motorizados y expuestos a las emisiones móviles de partículas respirables (imagen 2).

Este esquema se repite a lo largo de la ciudad, como lo muestra el mapa de ciclorutas (imagen 3), que actualmente supera los 400 kilómetros. Estas son paralelas a las principales vías de automotores. Si y si no están conectadas, el bicusuario debe compartir el carril con ellos,

exponiéndose mucho más a las fuentes móviles de contaminación de los vehículos.



IMAGEN 2. Infraestructura de bicicletas

Fuente: Ministerio de Transporte, 2016.

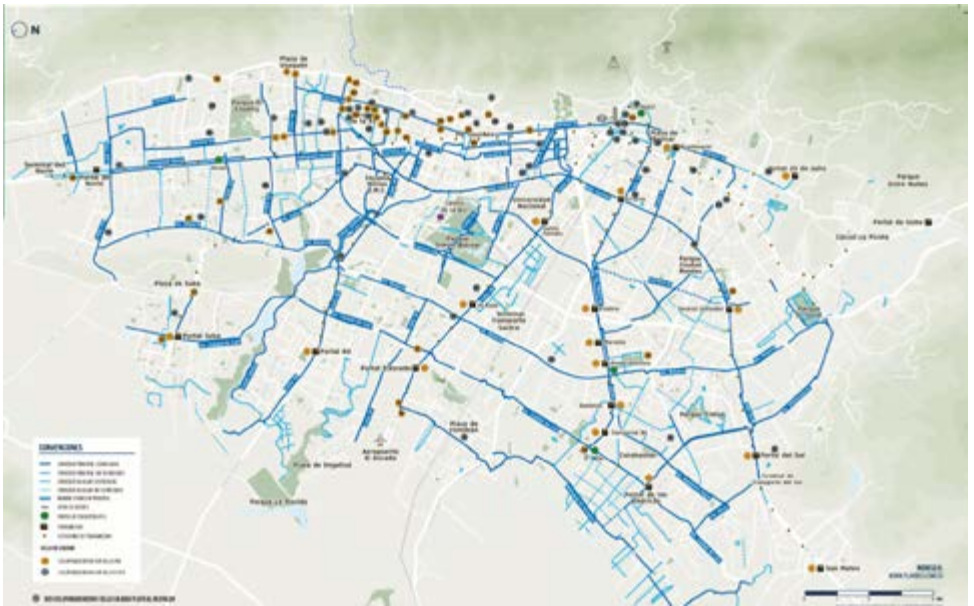


IMAGEN 3. Red de ciclorutas de la ciudad de Bogotá

Fuente: Secretaría de Movilidad, 2020.

Es importante medir el nivel de material particulado que respiran los bicisuarios, ya que al día realizan cerca de 850 000 viajes, y cada vez son un actor vial más significativo en la movilidad de la ciudad.

Esta medición contempla aspectos complejos de la toma de muestras, así como aquellos relacionados con las metodologías y técnicas para definir dicho nivel.

1.2. Hipótesis de la investigación

Los bicusuarios respiran altos niveles de material particulado, debido a su exposición a fuentes móviles de emisión de partículas y a la forma en que están diseñadas las ciclovías en Bogotá.

2. Marco teórico y conceptual

Para esta investigación se usarán técnicas de higiene industrial, con el fin de medir el nivel de material particulado respirable integrado al proceso de movilidad en bicicleta, como lo muestra la imagen 4.

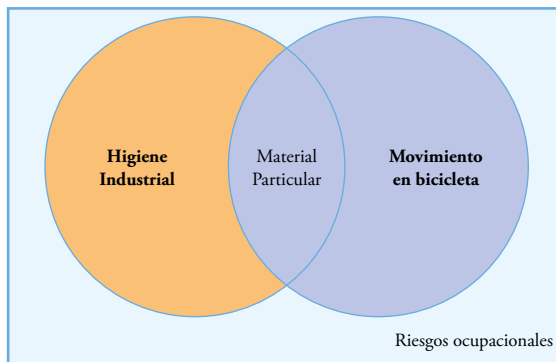


IMAGEN 4. Medición del nivel de material particulado con técnicas de higiene industrial

Fuente: elaboración propia.

El *material particulado* es una mezcla de partículas líquidas y sólidas, de sustancias orgánicas e inorgánicas, que se encuentran en suspensión en el aire. El material particulado forma parte de la contaminación del aire. Su composición es muy variada y entre sus principales componentes podemos encontrar sulfatos, nitratos, amoníaco, cloruro sódico, carbón, polvo de minerales, cenizas metálicas y agua. Dichas partículas, además, producen reacciones químicas en el aire (Rojas, 2005).

Lo que se denomina *fracción respirable* es aquella parte del aire que inhalamos, pasa a través de la tráquea e ingresa al tracto respiratorio, conocida como «material particulado PM 10» (es decir, que el tamaño de la partícula es menor o igual a 10 micrómetros).

Aún más importante es conocer la concentración de las partículas que ingresan al organismo y se depositan en lo más profundo de las vías respiratorias, como son los sacos alveolares; estas partículas son conocidas como PM 2,5 —debido al tamaño de la partícula, el cual es menor o igual a 2,5 micras—. Las PM 2,5 son producidas por la combustión de los vehículos que circulan en nuestras ciudades, en especial, aquellos que funcionan con motores diésel. Las grandes capitales del mundo están muy preocupadas por la contaminación que emiten estos vehículos, y en ellas es frecuente el monitoreo del material particulado fracción respirable PM 2,5 (Jorquera, 2018).

Para realizar esta investigación, se identificaron los *criterios de valoración* del material particulado respirable, donde se definen criterios de *valor admisible*, factores que establecen los efectos, en este caso, asociados a personas, jornadas y métodos de trabajo de campo así:

- a. Factores personales: hacen referencia a aspectos como la edad, el sexo y la susceptibilidad al material particulado.
- b. Duración de la muestra: los efectos de la contaminación por material particulado respirable de los bicisuarios.
- c. Tiempo de exposición: se refiere al tiempo durante el cual el bicisuario está expuesto al material particulado respirable.

Los métodos que mejor se adaptan a la valoración son los indicados por los TLV (Threshold Limit Values), o valores límite umbral, que refieren a concentraciones en el aire del material particulado generado en el proceso a analizar, y corresponden a las condiciones bajo las cuales se ve expuesto día tras día el trabajador a lo largo de su vida laboral sin presentar afectaciones en la salud. Los TLV están basados en la mejor experiencia industrial realizada con experimentos (Falagán, 2005).

La definición de los niveles estándar depende de los criterios de valoración elegidos. Los métodos utilizados en nuestro país son aquellos usados por los Estados Unidos, que siguen el criterio de tolerar la exposición siempre que, en la mayoría de las personas expuestas a determinadas concentraciones, no se produzcan efectos sobre la salud.

Por tal razón, se anexan los criterios usados para esta investigación en la tabla 1 así:

TABLA 1. Tipos de valores límite

ORGANISMO	LÍMITE PROMEDIO EN EL TIEMPO	VALOR TECHO
NIOSH	REL-TWA 10h/da	REL-C 15 min.
ACGIH	TLV-TWA 8h/da y 40h/semana	TLV-C conc. Max. (análisis 15 min.)
OSHA	PEL-TWA 8h/da y 40h/semana	PEL-C conc. Max. (análisis 15 min.)

Fuente: Falagán, 2005.

Donde los niveles admisibles se definen de diferente manera así:

- a. Concentraciones medias ponderadas en el tiempo: se refiere a concentraciones medias que existen a lo largo de un tiempo determinado. Este tipo de nivel admite desviaciones por encima del valor numérico de la concentración indicada, siempre que sean compensadas con otras desviaciones por debajo de dicho valor. Las más representativas son:
 - TLV-TWA (Threshold Limit Values - Time Weighted Average): concentración media ponderada en el tiempo al que puede estar sometida una persona normal durante ocho horas al día o cuarenta horas semanales.
 - PEL (Permissible Exposure Level): son los valores legales emitidos por la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de Estados Unidos (OSHA por sus siglas en inglés) para jornadas de ocho horas. El valor medio a largo plazo es sustituido por el valor medio de la sustancia en cualquier jornada laboral.
- b. Los criterios de NIOSH (1998) se basan en los valores REL (Recommended Exposure Limits), o límites de exposición recomendados, para tiempos de exposición en promedio de hasta diez horas. Los conceptos que se analizarán son: dosis, factores de corrección de tiempos de exposición, número y tipo de muestras a tomar y duración de cada muestra.

Estos son los tipos de límites a usar en la medición de esta investigación.

Concepto de dosis: para el caso de sustancias químicas caracterizadas por adsorción respiratoria, se obtiene la ecuación (1):

$$D(mg) = C \times t \times R \times V \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

D = cantidad total adsorbida

C = concentración ambiental

t = tiempo de exposición en horas

R = retención en el tracto respiratorio $(C_i - C_e) / C_i$ donde C_i y C_e son las concentraciones en el aire inspirado y espirado respectivamente

V = velocidad de ventilación pulmonar

Si se eliminan los aspectos personales del individuo (V y R), se obtiene en la ecuación 2, que, en términos generales:

$$D(mg) = C \times t \text{ (Ley de Haber)} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Esto nos indica que la dosis y el riesgo se pueden modificar si se actúa sobre la concentración de la sustancia química a analizar o sobre el tiempo de exposición. Entonces, para evaluar la concentración presente en el ambiente frente a un criterio de calidad elegido, ya sean los TLV o cualquier otro expresado, el criterio se presenta en la ecuación 3:

$$\frac{\text{Concentración}}{\text{Criterio de referencia}} > \frac{c}{TLV} \diamond 1 \quad (\text{Ecuación 3})$$

Según la concentración sea menor o mayor que la unidad, hay conformidad o no con el criterio de referencia o estándar. De otra parte, la concentración de un contaminante en un puesto de trabajo o proceso —como es el de la movilidad en bicicleta— no es una magnitud constante, sino que varía entre límites. Por eso, el valor medio es el mejor índice de exposición a lo largo de un periodo relevante. El valor medio de exposición se presenta en la ecuación 4:

$$\frac{\text{Concentración.Mediana}(C_M)}{\text{Criterio Permisible}} \triangleleft 1 \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde la concentración media está dada por la ecuación 5:

$$C_M = \sum_i C_i \times t_i \quad (\text{Ecuación 5})$$

Factores de corrección del tiempo de exposición: los límites admisibles, en su mayoría definidos como concentraciones medias ponderadas en el tiempo, estiman que el tiempo normal de trabajo es de 8 horas/día, lo que supone que cualquier variación en la duración del proceso (movilidad en bicicleta en un viaje) supone una revisión de las concentraciones indicadas para dichos niveles admisibles. Se aplicaron los siguientes criterios:

Criterio lineal: se corrige el valor del límite admisible de forma lineal con el tiempo de exposición, como se muestra en la ecuación 6.

$$\text{Factor de correlación} = \frac{8}{\text{Tiempo real de exposición}} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Bajo el supuesto de que los tiempos de exposición sean distintos a 8 horas/día, el porcentaje de desviación de la dosis máxima permitida se muestra en la ecuación 7:

$$\%DMP = \frac{C}{(TLV \times 8) / t} \times 100 = \frac{C \times t}{TLV \times 8} \times 100 \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

C = concentración del contaminante considerado

t = tiempo real de exposición

DMP = dosis máxima permisible

TLV = concentración media ponderada en el tiempo

Método aplicado: se utilizó el método de higiene industrial analítica, que realiza una serie de procesos y tratamientos precisos para determinar la medida de la concentración de un contaminante presente en el ambiente; en este caso, el aire respirable de un bicisuario en su viaje por una ruta.

Se utilizará el método de análisis físico clásico de análisis gravimétrico de las muestras de material particulado, el cual permite conocer la cantidad total del contaminante por diferencia de peso. Este método es específico para material particulado en forma de polvo.

Gravimetrías: permite conocer la cantidad total de contaminante recogido mediante dos pesadas mínimas, una previa al muestreo y otra después. Consiste en determinar la masa total de la muestra recogida sobre un filtro de membrana de masa neta por diferencia de peso del filtro antes y después de su captación.

Por ello, aspectos como el manejo de los filtros, el caudal de aire que pasa a través de estos, y seguir el protocolo adecuado para pesar son fundamentales para garantizar la calidad de la muestra. Además, estos filtros deben secarse para evitar masa adicional por humedad.

Número y tipo de muestras a tomar: se toma como criterio la norma UNE-EN 689, validada solo para exposiciones uniformes. Esta se fundamenta en obtener un número de mediciones que abarquen un mínimo del 25 % del tiempo de exposición, de acuerdo con la tabla 2.

TABLA 2. Número mínimo de mediciones por jornada según el tipo de medición

TIEMPO DE DURACIÓN DE LA MUESTRA	EJEMPLOS SEGÚN EL TIPO DE MEDICIÓN	N.º DE MUESTRAS PRECISAS PARA 8 HORAS (AL 25 %)	N.º MÍNIMO DE MUESTRAS RECOMENDADAS POR UNE-EN 689
1 minuto	Tubos detectores de corta duración (tubos colorimétricos)	120	20
5 minutos	Tubos detectores de corta duración	24	12
15 minutos	Tubos adsorbentes (carbón activado, gel)	8	4
30 minutos	Tubos adsorbentes (carbón activado, gel) Filtros de muestreo	4	3
1 hora	Filtros para muestreo de aerosoles	2	2

Fuente: Falagán, 2005.

Para la investigación se tomó como base *el número mínimo de tres (3) muestras por puestos de trabajo*. En este caso, la ruta de un biciusuario, la cual corresponde al área sombreada en la tabla 2.

Muestras por ciclos: consiste en tomar diversas muestras, en este caso, tres por ruta de biciusuario con un recorrido de 45 minutos de duración, donde cada una representa un ciclo completo de trabajo o un viaje completo origen-destino del biciusuario en las rutas a analizar.

Duración de cada muestra: se define en función de la concentración esperada. Existe un tiempo máximo con base a una posible sobrecarga o saturación de los filtros, para lo cual se usa la fórmula dada en la ecuación 8:

$$T = \frac{A}{a} \times \frac{L}{Ce} \times \frac{I}{r} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde:

T = duración de las muestras

L = carga del filtro requerido

A = área efectiva del filtro

a = área de retícula

r = caudal

Ce = concentración esperada

Si se usa un filtro de pvc de 37 mm y con un tamaño de poro de 0,5 μm , un caudal de bombeo de 2 L/minuto para 8 horas de exposición, se obtiene un tiempo de muestra de $t=2,25$ horas, que equivalen a 129 minutos; si se reparten en las tres muestras definidas como admisibles para este proyecto, cada una debe ser mínimo de 43 minutos.

3. Metodología

Se presenta la metodología de estudio para determinar el nivel de material particulado menor o igual a 10 micrómetros (PM 10) al que se encuentran expuestos los biciusuarios que frecuentan dos corredores

viales de la ciudad de Bogotá, ubicados en la localidad de Engativá, que se caracterizan por un alto tráfico vehicular y donde cada día se movilizan aproximadamente el 60 % de los biciusuarios objeto de estudio (Duarte, López y Meneses, 2018). La investigación es de tipo exploratorio, debido a que determinará la concentración diaria de material particulado en los corredores viales mencionados —en los cuales no se conoce el nivel de exposición a este contaminante— y servirá como base para futuros planteamientos sobre el tema. La variable *respuesta* se medirá de forma cuantitativa mediante procedimientos validados, y se describirá tal como se presenta, sin ninguna variación de los parámetros ambientales. A partir de este estudio, se determinó la exposición de los biciusuarios en el periodo de abril a mayo de 2019.

3.1. Ubicación de las zonas de estudio

Se seleccionaron dos corredores viales para realizar este estudio, que corresponden a los usualmente frecuentados por estudiantes de la Universidad Libre Sede Bosque Popular para desplazarse desde sus casas hasta su lugar de estudio. Estos son: la denominada “Ruta A”, que comprende el trayecto avenida Medellín (calle 80) - avenida Rojas - Universidad Libre (imagen 5); y la “Ruta B”, avenida Ciudad de Cali - avenida calle 63 - avenida Boyacá - Universidad Libre (imagen 6).



IMAGEN 5. Identificación de la Ruta A (avenida Medellín [calle 80] - avenida Rojas - Universidad Libre)

Fuente: mapa de Google Earth. Ruta construida por Ing. Topográfico Gabriel Sánchez Puin. Universidad Libre, 2020.



IMAGEN 6. Identificación de la Ruta B (avenida Ciudad de Cali - avenida calle 63 - avenida Boyacá - Universidad Libre)

Fuente: mapa de Google Earth. Ruta construida por Ing. Topográfico Gabriel Sánchez Puin. Universidad Libre, 2020.

3.2. Población de estudio

Como referencia de estudio participaron seis estudiantes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Libre Sede Bogotá, que utilizan la bicicleta diariamente como medio de transporte para desplazarse desde sus casas hasta las instalaciones de la sede Bosque Popular —biciusuarios activos—. Todos con edades entre los 19 y 23 años, tres mujeres y tres hombres, sin antecedentes de enfermedades de tipo respiratorio o circulatorio, o hábitos de tabaquismo.

3.3. Variables

Medición de la concentración: se determinó el nivel de exposición a material particulado PM_{10} en los dos corredores viales seleccionados.

3.4. Equipos y calibración

Las mediciones de la concentración de material particulado PM_{10} a la que estaba expuesta la población de referencia se realizó teniendo en cuenta la metodología que recomienda el Instituto Nacional de Salud y Seguridad Ocupacional de los Estados Unidos (NIOSH, por sus siglas

en inglés), específicamente la técnica que hace referencia a la medición de partículas respirables NIOSH-600 (1998). En esta se recolecta el material particulado en filtros y por métodos gravimétricos se calcula la concentración de exposición.

Los equipos utilizados consistieron en una bomba personal de muestreo con succión de aire constante GilAir, que trabajó a caudal de 2 litros/min; un calibrador de flujo que garantizó la representatividad del experimento, manteniendo el mismo caudal durante el periodo de muestreo; una balanza analítica con sensibilidad 0,01 mg; filtros de policloruro de vinilo con diámetro de 37 mm; portafiltros; un desecador utilizado para retirar la humedad de los filtros antes y después del pesaje, y un ciclón, dispositivo que, mediante la acción de fuerza centrífuga, separa las partículas PM 10 de aquellas partículas suspendidas totales con su respectivo recipiente de calibración. En la tabla 3 se muestran más detalles sobre los equipos utilizados.

Para garantizar la calidad de los datos es indispensable calibrar a diario la bomba de muestreo de acuerdo con el caudal de aire de la norma a aplicar.

TABLA 3. Equipos utilizados para determinar el material particulado respirable

<ul style="list-style-type: none"> • Calibrador de flujo digital de estándar primario Sensydine-Gilian, modelo Gilibrator II, utilizado para verificar el flujo de bombas de muestreo en un rango de 1 cm³ a 30 litros por minuto (LPM).
<ul style="list-style-type: none"> • Bomba de muestreo personal de aire Gil Air 3, marca Sensydine-Gilian, utilizada para estudios de higiene ocupacional robusta y confiable. Con rango de medición de 1-3000 cm³/min, lo que permite estudios con flujo alto 850-3000 cm³/min, flujo bajo 5-500 cm³/min (flujo constante) y flujo bajo 1-750 cm³/min (presión constante), utilizando un adaptador de flujo.
<ul style="list-style-type: none"> • Recipiente de calibración del ciclón marca Sensydine, con las conexiones y los accesorios apropiados para calibrar la bomba de muestreo con el ciclón, de acuerdo con la norma NIOSH 600.
<ul style="list-style-type: none"> • Balanza analítica marca Sartorius, modelo MSA225S-100-DU, de alta precisión, con sensibilidad de 5 decimales en el rango de 0-50 g, plato de acero inoxidable y puertas deslizables laterales y superiores.
<ul style="list-style-type: none"> • Desecador utilizado para mantener la muestra limpia y libre de humedad por medio del vacío y el uso de un sólido adsorbente. Fabricado con vidrio muy grueso, tiene dos cavidades: la primera, donde se pone el material o la sustancia a secar, y la cavidad inferior, que se usa para colocar el gel de sílice, utilizado como desecante.

Los muestreos se realizaron en días entre semana, en el periodo comprendido de abril a mayo de 2019. El inicio del experimento se fijó para las 6:30 a. m. y tuvo una duración de 90 minutos para la Ruta A y de 135 minutos para la Ruta B.

Las bombas de muestreo fueron ubicadas a nivel de la cintura de cada uno de los estudiantes. Un tubo de plástico que conecta la bomba con la línea de muestreo —que incluye el ciclón y los portafiltros— se dispuso de manera que no se doblara y afectara el caudal de aire. Los dispositivos se colocaron de manera adecuada en la zona respiratoria del individuo.

Para calcular la concentración de contaminante se aplicaron los factores de corrección con el fin de determinarla en condiciones estándar, haciendo uso de los datos de presión y temperatura locales obtenidos de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá de la Secretaría Distrital de Ambiente (RMCAE, 2019).

Los resultados de esta investigación se compararon con los límites de exposición personal al material particulado PM₁₀ dada por la normatividad, tomando como referencia los reportados por la Asociación de Higienistas Americanos (ACGIH, por sus siglas en inglés), la Agencia de Salud Ocupacional (OSHA, por sus siglas en inglés) y el Instituto Nacional de Salud y Seguridad Ocupacional de los Estados Unidos (NIOSH, por sus siglas en inglés), los cuales se fijan para jornadas laborales de ocho horas. Debido a que el tiempo de monitoreo en esta investigación fue inferior a ocho horas, se ajustó el valor de la norma teniendo en cuenta varios métodos.

Los métodos empleados para calcular las concentraciones de material particulado PM₁₀ fueron:

I. Con el propósito de comparar con la normatividad nacional determinada por el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (Resolución 2254, 2017) y la normatividad internacional fijada por la Organización Mundial de la Salud (2005), donde los niveles permisibles de material particulado PM₁₀ están dados para un tiempo de exposición de 24 horas, se calculó la concentración media ponderada en el tiempo o TWA (Time Weighted Average), y se ajustó para un periodo de 24 horas de la siguiente manera (Franco, 2015) (ecuación 9):

$$TWA = \frac{C_i * T_i + C_{pe} * (1440 - T_i)}{1440} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde:

C_i = concentración medida, mg/m^3

T_i = tiempo de exposición, min

C_{pe} = concentración promedio en las estaciones de calidad de aire cercanas a las rutas, mg/m^3

De acuerdo con este método, debido a que la medición no se realiza durante un periodo de 24 horas, sino uno menor, se considera que para el tiempo restante el individuo no estuvo expuesto a una concentración nula de material particulado; por el contrario, se toma la concentración de material particulado determinada por la RMCAV para el periodo de muestreo y zona en cuestión.

II. Con el fin de determinar los límites de exposición personal al material particulado PM_{10} , tomando como referencia aquellos reportados por la ACGIH, la OSHA y el NIOSH, los cuales se fijan para jornadas laborales de ocho horas, se estableció la metodología que se detalla a continuación.

Como el tiempo de muestreo fue inferior a ocho horas, se ajustó el valor de la norma mediante la aplicación de un factor de corrección, para así determinar un valor promedio de la exposición (ecuación 10).

$$\text{Factor de correlación} = \frac{8}{\text{Tiempo real de exposición}} * \left(\frac{[24 \text{ horas} - \text{Número horas reales}]}{16} \right)$$

(Ecuación 10)

El límite de exposición, según OSHA, es de $5000 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

El límite de exposición, según ACGIH, es de $3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En el caso de NIOSH, no se recomienda límite de exposición.

De tal manera que, para comparar los datos de las concentraciones de material particulado con la normatividad de exposición ocupacional correspondiente, se utiliza la siguiente expresión:

Valor real norma = Factor corrección*Límite de exposición
Norma (OSHA o ACGIH).

En el caso de la concentración de material particulado PM_{10} , se ajustó para las horas reales de exposición, como se muestra en la ecuación 11:

$$\text{Concentración promedio } PM_{10} = \frac{\text{Concentración } PM_{10} * \text{Número horas reales}}{8}$$

(Ecuación 11)

En algunos casos, es aceptable comparar las concentraciones de las sustancias teniendo en cuenta el 30 % del límite de exposición, para, de esta manera, calcular el índice de la sustancia (Falagán, 2005).

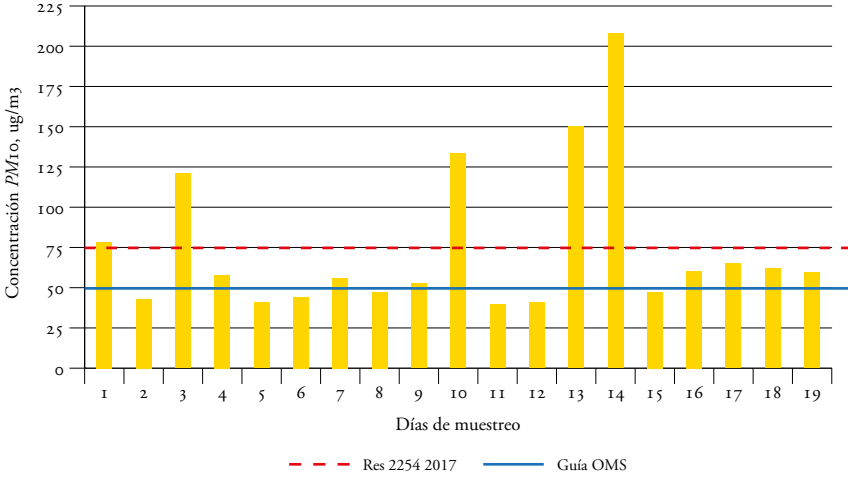
4. Resultados

4.1. Método 1

Teniendo en cuenta el primer método utilizado, que corresponde al cálculo del TWA para 24 horas, los resultados para la Ruta A se presentan en la gráfica 1, donde se relacionan los días de muestreo y la concentración del material particulado PM_{10} .

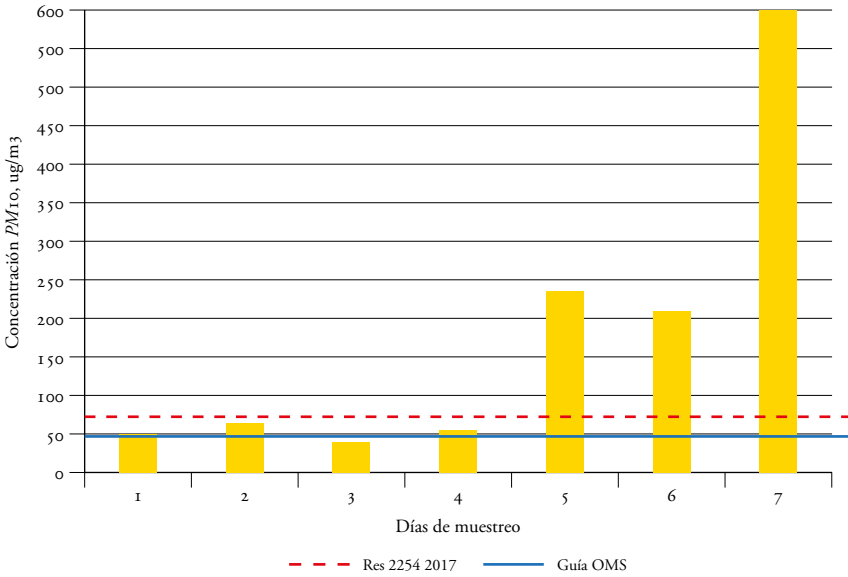
En la figura se observa que la concentración de material particulado PM_{10} incumple la normatividad colombiana vigente (Resolución 2254 de 2017) de 75 mg/m^3 en cinco de los días muestreados durante la ruta; sin embargo, el porcentaje de excedencia es mayor cuando se le compara con los límites dictados por la OMS de 50 mg/m^3 .

Los resultados para la Ruta B se presentan en la gráfica 2, donde el 57 % de los datos excede la normativa colombiana y el 71 % la internacional.



GRÁFICA 1. Comparación de la concentración de PM_{10} en la Ruta A con la normatividad colombiana e internacional utilizando el método I

Fuente: elaboración propia.



GRÁFICA 2. Comparación de la concentración de PM_{10} de la Ruta B con la normatividad colombiana e internacional utilizando el método I

Fuente: elaboración propia.

4.2. Método 11

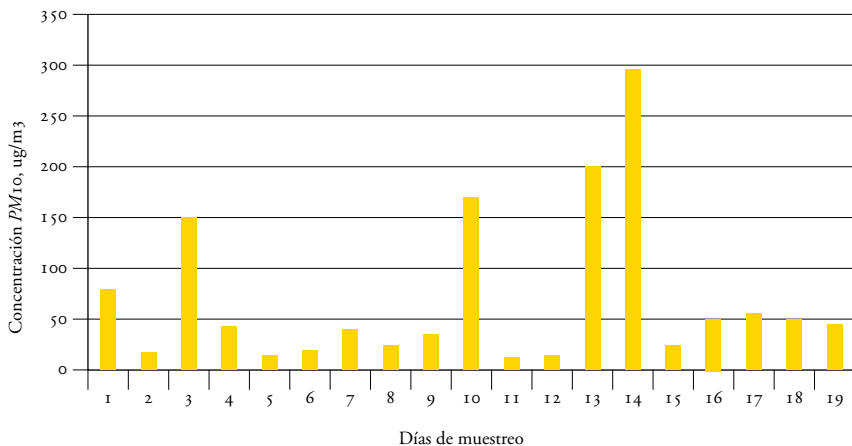
Teniendo en cuenta el factor de corrección aplicado para ajustar los límites de exposición de la norma al tiempo de muestreo utilizado, estos quedaron de la siguiente manera (tabla 4): en el caso de la Ruta A, el factor de corrección es de 7,5 veces la norma y en la Ruta B es de 4,8 veces la norma.

TABLA 4. Comparativa de los límites de exposición por rutas de biciusuario

NORMATIVIDAD	LÍMITE EXPOSICIÓN OCUPACIONAL PM_{10} , MG/M^3	
	RUTA A	RUTA B
OSHA	37 500	24 167
ACGIH	22 500	14 400

Fuente: elaboración propia.

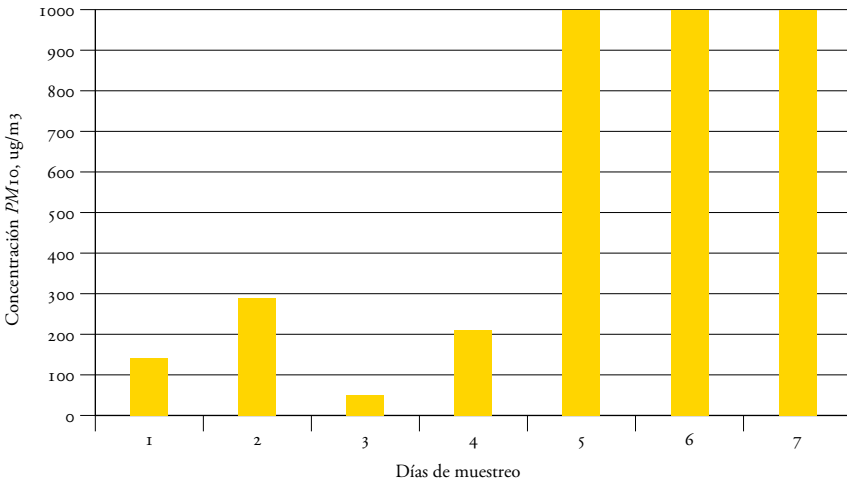
Los resultados para la Ruta A con el segundo método de cálculo de la concentración de contaminantes se muestran en la gráfica 3, donde se observa que todos los datos se encuentran por debajo de los límites de exposición dados por la OSHA y ACGIH.



GRÁFICA 3. Concentración de PM_{10} de la Ruta A utilizando el método 11 (muestreo personal ambiental)

Fuente: elaboración propia.

Los resultados para la Ruta B con el segundo método de cálculo de la concentración de contaminantes se muestran en la gráfica 4, en la cual se observan datos por encima de 1000 mg/m^3 , pero que en ningún caso sobrepasan los límites permisibles.



GRÁFICA 4. Concentración de PM_{10} de la Ruta B utilizando el método II (muestreo personal ambiental)

Fuente: elaboración propia.

5. Conclusiones

La concentración promedio en 24 horas de material particulado PM_{10} en el tramo avenida Medellín (calle 80) - avenida Rojas - Universidad Libre fue de 74.1 mg/m^3 en comparación con 178.35 mg/m^3 en la ruta correspondiente al tramo avenida Ciudad de Cali - avenida calle 63 - avenida Boyacá - Universidad Libre. Los ciclistas que recorren este segundo tramo están más propensos a riesgos ambientales por exposición a la concentración de $PM_{2,5}$, que supera la normatividad nacional de calidad del aire —método I—.

Se utilizaron dos métodos para calcular la concentración de PM_{10} . Aquel método ajustado a 24 horas permite la comparación con las normas ambientales de calidad del aire, donde se observa un mayor riesgo de exposición.

Sin embargo, cuando se comparan con los límites de exposición ocupacionales, con ajuste a exposición de ocho horas de jornada laboral, todas las concentraciones se encuentran muy por debajo de lo que establece la norma, lo que permite mostrar la complejidad que conlleva determinar el nivel de exposición de los ciclistas en la vía. Este es uno de los aportes de esta investigación, que pone en evidencia la necesidad de una mayor comprensión de la problemática de la exposición personal en diferentes microambientes.

Como se tomaron muestras los mismos días para ambos corredores, se encontró una cifra de datos inválidos en la denominada Ruta B que no permite realizar una comparación adecuada de los dos tramos, por lo que esta investigación representa una evaluación preliminar de la exposición a PM_{10} de los bicusuarios estudiados.

La determinación del material particulado de los bicusuarios es un proceso complejo, no solo debido a los factores técnicos de las metodologías de medición, sino también a las características de la toma muestras en campo. Esto, dado que los factores de velocidad del viento, temperatura, arquitectura y, en especial, la presencia en las rutas de fuentes móviles de emisión de material particulado, afectan el nivel de la medición y pueden ocasionar sobreexposiciones puntuales en algunas muestras.

A pesar de que el total de las muestras está por debajo del límite máximo permitido en el método de medición de muestreo personal ambiental —método II—, se observa un cambio importante de una muestra a otra, reflejando distribuciones diferentes para cada ruta de bicusuarios. Esto lleva a concluir que la medición de la dosis respirable es específica y en contexto, lo cual no aplica para toda la localidad ni para la ciudad, o para la totalidad de las ciclorutas.

La hipótesis de la investigación se demuestra parcialmente, dependiendo de las características puntuales del entorno de medición de la muestra en la ruta del bicusuario afectadas por factores no controlables del experimento, como el clima, la temperatura y la cantidad de fuentes móviles de emisión de material contaminante, entre otras.

La medida de este riesgo higiénico en las rutas de viaje de los bicusuarios requiere mayores mediciones para determinar las variables que definen su nivel y, además, cuáles deberían ser las recomendaciones para ayudar a la planeación del viaje en bicicleta.

Con respecto a los ODS, este estudio muestra que es pertinente continuar investigando sobre los efectos de los problemas ambientales, como el material particulado respirable, en la implementación de soluciones de movilidad en las ciudades, como es el caso de la bicicleta como medio de transporte. Por lo tanto, la bicicleta no es sostenible como solución de movilidad si no se tienen en cuenta los efectos para la salud del bicusuario de respirar material particulado del aire de la ciudad en la ruta que recorre al transportarse.

6. Referencias

- Banco Mundial. (1997). *Contaminación atmosférica por vehículos automotores, experiencias recogidas en siete centros urbanos en América Latina*. Bogotá: Banco Mundial.
- Banco Mundial. *Banco Mundial, entendiendo la pobreza*. Recuperado de <https://www.bancomundial.org/es/topic/urbandevelopment/overview#2>
- Díaz, T.; Jiménez, J.; Meneses, S. (2017). Caracterización de variables de riesgos de movilidad en bicicletas. *Revista Avances: Investigación en Ingeniería*, 14, 47-62.
- Duarte, D.; López, K.; Meneses, S. (2018). Caracterización de riesgos en la accidentalidad de bicusuarios en Engativá. *Ingeniería Industrial, actualidad y nuevas tendencias*, 11(21), 93-108.
- Espinosa, M. (2005). Caracterización del Material Particulado en vías de transporte público colectivo y masivo en Bogotá. *Revista de Ingeniería Universidad de los Andes*, 100-180.
- Falagán, M. (2005). *Higiene Industrial Aplicada*. Oviedo: Fundación L. Fernández Velasco.
- Franco, J. (2007). Contaminación atmosférica en centros urbanos. Desafío para lograr su sostenibilidad: caso de estudio Bogotá. En Banco Mundial, *Prioridades Ambientales para la Reducción de la Pobreza en Colombia: un análisis ambiental del país para Colombia*. Bogotá: Editorial Mayol.
- Franco, J.; Segura, J. (2016). Exposición de peatones a la contaminación del aire en vías con alto tráfico vehicular en Bogotá. *Revista de Salud Pública. Universidad Nacional de Colombia*, 18(2), 179-187. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/rsap.v18n2.49237>

- Franco, N. (2015). *Exposición a material particulado 2.5 en distintos medios de transporte en un trayecto de la calle 80 en el barrio Bochica*. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Jorquera, H. (2018). *Introducción a la contaminación atmosférica*. Santiago de Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Martínez, J. A.; Bielsa, R. O.; Llopart Gracia, S.; Herrera, B. C.; Lambarry, F.; Rinaudo, M. E.; Rivas, L. A.; Rodríguez, M. P.; Torres, A. Y.; Trujillo, M. M.; Yesares, N. (2015). *Residuos en Hispanoamérica de lo ambiental a lo social*. Bogotá: Universidad EAN. DOI: <https://doi.org/10.21158/9789587563504>
- Martínez, J. (2018). Movilidad motorizada, impacto ambiental, alternativas y perspectivas futuras: consideraciones para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. *Revista de Salud Pública. Universidad Nacional de Colombia*, 20(1), 126-131. DOI: <https://doi.org/10.15446/rsap.v20n1.57038>
- Meneses, S. (2018). *El bicusuario Seguro - Guía de movilidad urbana en bicicleta*. Bogotá: Universidad Libre.
- Meneses, S.; Camacho, M.; Duarte, E. (2018). Exploración de relaciones causales entre accidentalidad vial y productividad empresarial usando dinámica de sistemas. *Scientia et Technica*, 23(02), 45-87.
- Ministerio de Transporte, (2016). *Guía de ciclo-infraestructura para ciudades colombianas* (vol. 1). Bogotá. Recuperado de <http://www.despacio.org/wp-content/uploads/2016/04/Guia-cicloinfraestructura-Colombia-20160413-ISBN%20digital.pdf>
- Naciones Unidas. (2018). *Las ciudades seguirán creciendo, sobre todo en los países en desarrollo*. Recuperado de <https://www.un.org/development/desa/es/news/population/2018-world-urbanization-prospects.html>
- NIOSH. (1998). NIOSH, Manual of Analytical Methods. EN NIOSH, *Particulates not Otherwise Regular, Respirable*. Boston: NIOSH.
- Organización Mundial de la Salud. (2005). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*. Recuperado de https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf;jsessionid=F74BF95D694A706236FA305F391C0B9D?sequence=1
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Organización Mundial de la Salud, Calidad de Aire y Salud*.
- PNUD. (2019). *PNUD - Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Recuperado de <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-11-sustainable-cities-and-communities.html#targets>

- Querol, X. (2018). *La calidad del aire en las ciudades. Un reto mundial*. Madrid: Fundación Gas Natural Fenosa.
- Ramírez, A.; Lenis, J.; Agudelo, R. (2013). Prueba piloto para determinar la posible exposición a material particulado respirable en motociclistas de la zona centro de Medellín. *Revista de la Facultad Nacional de Salud Pública. Universidad de Antioquia*, 32(2), 310. DOI: <https://doi.org/10.15446/rsap.V20n6.72744>
- Ramos, C.; Ruiz, F. (2006). *Caracterización del material particulado en las principales vías del transporte público colectivo y masivo del centro de Bogotá*. Bogotá: Universidad de los Andes. Recuperado de http://oab2.ambientebogota.gov.co/apc-aa-files/57c59a889ca266ee6533c26f970cb14a/Materialparticulado%20_transporte.pdf
- Resolución 2254 de 2017. Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. RMCAV. (2019). *Secretaría Distrital de Ambiente*. Recuperado de <http://ambientebogota.gov.co/red-de-calidad-del-aire>
- Rojas, N. (2005). *Material particulado atmosférico y salud*. Bogotá: Ediciones Uniandes.
- Rojas, N. Y. (23 de diciembre de 2005). El aire de Bogotá. *El Tiempo*. Recuperado de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-1868521>
- Secretaría de Movilidad. (2019). *Mapas de ciclorutas de Bogotá*. Recuperado de <http://ambientebogota.gov.co/web/portal-siac/>
- Universidad de los Andes. (2018). *En el día sin carro aumentaron los niveles de contaminación por material particulado*. Recuperado de <https://uniandes.edu.co/es/noticias/ambiente-y-sostenibilidad/la-capa-gris-que-cubrio-a-bogota-durante-el-dia-sin-carro-y-sin-moto>
- Zambrano, D. (13 de marzo de 2017). Así se impulsa la movilidad sostenible en Medellín. *El Colombiano*. Recuperado de <http://www.elcolombiano.com/antioquia/estrategias-por-la-movilidad-sostenible-en-medellin-B16138726>

CAPÍTULO II

Análisis del reciclaje como comportamiento de consumo sostenible: una aproximación desde las percepciones de efectividad del consumidor¹

CLAUDIA ARIAS²

1. Introducción

El reciclaje es un comportamiento fundamental para lograr un consumo más sostenible, pues el impacto que tienen los desperdicios derivados de las decisiones diarias de consumo que los individuos toman se constituye en una barrera para la sostenibilidad (Barr, 2007; Crociata *et al.*, 2015; Fiorillo, 2013). De ahí la relevancia de estudiar este comportamiento y analizar los factores que influyen en su adopción. Aunque en casi

¹ El presente capítulo desarrolla uno de los modelos planteados por Arias (2017) *The Role of Perceived Consumer Effectiveness in Recycling Behavior: an Indirect Pathway Through Another Proenvironmental Behavior* In: *LA-Latin American Advances in Consumer Research* vol. 4.

² <https://orcid.org/0000-0003-1083-1310>. Colegio de Estudios Superiores de Administración (CESA). Colombia. claudia.arias@cesa.edu.co; cp.arias99@uniandes.edu.co

cincuenta años de investigación sobre el reciclaje se han abordado diferentes variables, el análisis de los factores de tipo actitudinal ha llamado la atención, pues han demostrado ser las variables más promisorias para lograr un comportamiento sostenible en el largo plazo. Una de estas variables es la «Efectividad Percibida del Consumidor», es decir, la creencia del individuo sobre la relevancia de sus acciones para solucionar diferentes problemas, entre ellos, los ambientales (Ellen *et al.*, 1991). Aunque la Efectividad Percibida del Consumidor ha mostrado un gran valor explicativo para muchos comportamientos proambientales, con respecto al reciclaje no ha recibido mucha atención. De ahí que esta investigación tenga por objetivo entender cómo las percepciones de efectividad del consumidor se relacionan con el reciclaje. Desde una metodología cuantitativa, se plantea un modelo en el que las percepciones de efectividad de las acciones individuales frente al mundo, la gente y el medio ambiente explican la actitud, el conocimiento y la acción propia de reciclar en conjunto. Así, este estudio aporta las creencias de efectividad del individuo como un nuevo predictor en el análisis del comportamiento de reciclaje y, con este, contribuye a tener un panorama más completo de este comportamiento proambiental.

2. Marco teórico

La realidad sobre las problemáticas ambientales de los últimos cincuenta años ha llevado a plantear la necesidad de un desarrollo sostenible, siendo el consumo un aspecto fundamental para el bienestar social, económico y ambiental que se propende desde este tipo de desarrollo. De hecho, asegurar patrones de consumo y producción sostenibles es uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (i. e. ODS 12) proclamados por la Organización de las Naciones Unidas en 2015 y declarados en la Agenda 2030 (United Nations, 2018). Una de las metas para 2030 del ODS 12 es «reducir sustancialmente la generación de residuos a través de la prevención, reducción, reúso y reciclaje» (United Nations, 2018, p. 27); lo anterior plantea la necesidad de adoptar una perspectiva diferente respecto al consumo en la que no solo se vinculan decisiones de compra, sino también decisiones de uso y disposición del producto al final de su vida útil (Peattie y Collins, 2009). Dichas decisiones se reflejan en

comportamientos que han sido denominados “proambientales”, y uno de ellos es el reciclaje.

Las cifras de reciclaje alrededor del mundo muestran que aún existen desafíos para muchos países. Mientras que en el top 25 de los países con mayores tasas de reciclaje se encuentran naciones de Europa y Asia del Este, con tasas superiores al 55 % (Eunomia y European Environmental Bureau, 2017), Estados Unidos se mantiene en un 35 %, según cifras de la Agencia para la Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés), y la región de América Latina y El Caribe no supera en muchos casos el 15 % (BID, 2015).

De acuerdo con la Agencia Ambiental Europea (EEA, por sus siglas en inglés), las políticas, la legislación y los servicios asociados al manejo de residuos en los países líderes sugieren que un alto desempeño en reciclaje está asociado, en parte, a factores como: sistemas integrales que faciliten la recolección por parte de la ciudadanía, incentivos financieros y comportamentales que motiven a la gente a reciclar, además de metas claras de reciclaje (Eunomia and European Environmental Bureau, 2017). Por ejemplo, aun cuando América Latina tiene tasas bajas de reciclaje, países como Brasil y Ecuador han logrado altas tasas con materiales para los que han definido objetivos específicos de recolección —aluminio (98 %) y PET (59 %) en Brasil, y en general, 109 % en Ecuador—. Sin embargo, gran parte de estas cifras corresponde, en muchos casos, a la producción industrial, lo que deja aún grandes retos para el reciclaje que proviene de hogares, si se quiere avanzar hacia las cifras de los líderes en el tema, como Alemania y Austria, que superan el 55%.

El reciclaje en hogares depende en gran medida de la acción individual. Por esto, el comportamiento de reciclaje, como muchas acciones sostenibles que dependen del individuo, tiene un rol fundamental en el incremento de las cifras y los indicadores asociados a un consumo más sostenible. Por ejemplo, de nada servirá que se diseñen políticas e iniciativas encaminadas a aumentar las tasas de reciclaje, y se disponga de la infraestructura para hacerlo, si no se logra llevar a los ciudadanos a la acción. De ahí la importancia que la investigación le ha dado a analizar los comportamientos proambientales y, más aún, los factores que influyen en su adopción. Aunque diferentes variables relacionadas con este tipo de comportamientos, como las actitudes hacia los temas ambientales, el conocimiento sobre problemáticas del entorno y las intenciones de actuar de una forma más sostenible, han

sido estudiadas, la realidad ha mostrado que no siempre la actitud, el conocimiento y las intenciones hacia un actuar más sostenible se traducen en comportamientos reales (McCarty and Shrum, 2001). En consecuencia, muchos de los estudios se han concentrado en entender los factores que influyen en la adopción de dichos comportamientos. Uno de estos es el reciclaje, que, para esta investigación, se entiende como la acción de separar adecuadamente los residuos para facilitar su aprovechamiento y disposición final.

2.1. El comportamiento de reciclaje

El reciclaje hace parte de los comportamientos proambientales, entendidos como aquellos que, por definición, están a favor o tratan de tener un impacto positivo en el entorno, y reflejan algún grado de motivación relacionada con el medio ambiente (Peattie, 2010). En particular, el comportamiento de reciclaje está asociado al manejo de residuos o desperdicios derivados del consumo de individuos y hogares, cuya generación e impacto se han constituido en unas de las principales barreras hacia la sostenibilidad ambiental (Barr, 2007; Crociata *et al.*, 2015; Fiorillo, 2013).

La relevancia que el reciclaje tiene para la sostenibilidad ha motivado el estudio de este comportamiento, para así encontrar mecanismos que permitan sobrepasar el *green gap* que existe en su adopción; es decir, la discrepancia entre las actitudes y los comportamientos que no permite que los individuos, aunque quieran actuar de forma sostenible, lo hagan y pasen de creencias e intenciones a comportamientos reales (Hornik *et al.*, 1995). Por ejemplo, Echegaray y Hansstein (2017), en un estudio hecho en Brasil sobre reciclaje de residuos electrónicos, identificaron que, si bien la mayoría de las personas tenía una intención positiva respecto al reciclaje de estos productos, pocos se comportaban de manera consecuente con dichas intenciones. Aunque este fenómeno —i. e. *green gap*— no es exclusivo del reciclaje, pues esta inconsistencia entre lo que la gente manifiesta —i. e. actitudes e intenciones— y lo que realmente hace —i. e. comportamientos— se muestra en otros de los comportamientos ambientalmente sostenibles —e. g. compra de productos con atributos sostenibles— (Terlau y Hirsch, 2015), sí es un aspecto clave que ha motivado la investigación de los factores que influyen en su adopción.

2.1.1. Factores vinculados al análisis del comportamiento de reciclaje

El comportamiento de reciclaje, así como otros comportamientos proambientales o de consumo sostenible, son complejos (Miafodzyeva y Brandt, 2013). De ahí que, en su estudio, diferentes autores se hayan referido a diversos factores y hayan involucrado un gran conjunto de variables que pueden influir en su adopción.

Una primera fase en el estudio del comportamiento de reciclaje, entre 1970 y 1982, hacía referencia al análisis de variables externas, como incentivos económicos (Hornik *et al.*, 1995), y buscaba definir un perfil de consumidor reciclador con base en variables demográficas. Dentro de estas variables, la edad, el género, el nivel de ingresos, el nivel educativo y el tipo de vivienda han sido las más investigadas (Miafodzyeva y Brandt, 2013). Sin embargo, hacia adelante, la literatura encontró que este tipo de variables externas no tenía un carácter sostenible en el tiempo, y estas podrían resultar poco efectivas para promover cambios de comportamiento de largo plazo. Además, al igual que para otros comportamientos ambientalmente sostenibles, las variables sociodemográficas no han tenido un poder predictivo importante sobre el reciclaje, mostrando efectos no significativos en la intención de reciclar y explicando solo un pequeño porcentaje de la varianza en dicho comportamiento (Botetzagias *et al.*, 2015; Hornik *et al.*, 1995; Miafodzyeva y Brandt, 2013; Tabernerero *et al.*, 2015).

Lo anterior dio lugar a una siguiente fase con mayor interés en el análisis de variables psicosociales. Dentro de este conjunto de variables se ubican factores de tipo motivacional y situacional. Ejemplo de los primeros son las actitudes proambientales, las normas morales, legales y sociales, así como la satisfacción personal. Con respecto a las variables situacionales, se ha hecho referencia a la información y el conocimiento, el comportamiento pasado y el esfuerzo personal (Vining y Ebreo, 1990; Berger y Corbin, 1992; Ellen *et al.*, 1991; Hornik *et al.*, 1995; Miafodzyeva y Brandt, 2013; Scott, 1999). Además, se han vinculado variables asociadas a la conveniencia existente o estructura disponible para emprender acciones de reciclaje, también llamadas «facilitadores externos» —e. g., tiempo, dinero, acceso, esfuerzo necesario para preparar, almacenar y transportar el material reciclable y frecuencia de recolección, entre otros— (Hornik *et al.*, 1995; Miafodzyeva and Brandt, 2013; Scott, 1999).

Los resultados empíricos sobre los factores que influyen en el comportamiento de reciclaje permiten resaltar la importancia de tres variables: actitudes, conocimiento y conveniencia. Sobre las actitudes, se han estudiado tanto generales —i. e. a favor del medio ambiente— como específicas —i. e. hacia el reciclaje—; estas últimas son las que mayor poder predictivo y de discriminación —entre recicladores y no recicladores— han tenido (Oskamp *et al.*, 1991). La importancia que las personas dan al reciclaje ha sido una de las actitudes analizadas, para la cual la mayoría de autores reporta correlación con la tendencia a reciclar (Miafodzyeva y Brandt, 2013).

En el caso del conocimiento, se han obtenido resultados mixtos en su relación con el reciclaje. Algunos estudios plantean que el conocimiento sobre los problemas ambientales puede parecer lógicamente conectado con la preocupación ambiental y los comportamientos proambientales (Oskamp *et al.*, 1991); además, el conocimiento sobre conservación ambiental aparece como una variable que discrimina entre recicladores y no recicladores (Oskamp *et al.*, 1991) y, específicamente, el conocimiento sobre el reciclaje y la forma en que lo adquieren, diferencia a este tipo de individuos (Vining y Ebreo, 1990). En un análisis de estudios realizados entre 1968 y 1992, y 1990 y 2010, el conocimiento aparece como uno de los mejores predictores del comportamiento de reciclaje, al exhibir altas correlaciones (Hornik *et al.*, 1995; Miafodzyeva and Brandt, 2013). Sin embargo, la literatura también se ha referido a que el conocimiento no predice positivamente la intensidad de reciclaje y al débil poder predictivo de la información cuando no se combina con otras variables (Scott, 1999; Vining y Ebreo, 1990). Los estudios más recientes han señalado que el conocimiento y la conciencia sobre temas ambientales juegan un rol importante en el comportamiento de reciclaje, y cómo educar al público, a través de campañas y programas, puede mejorar el conocimiento frente al reciclaje y, en consecuencia, conducir a la adopción de este comportamiento (Ahmad *et al.*, 2016).

Por último, la conveniencia, como factor relacionado con el acceso a puntos de recolección, la frecuencia de recolección, así como el tiempo y el esfuerzo que demanda la práctica de reciclaje y otros aspectos asociados a la estructura para poder reciclar, ha estado positivamente relacionada con el comportamiento de reciclaje. Por ejemplo, Sorkun (2018) identificó cómo la distancia de las canecas de reciclaje —i. e. factor que disminuye la conveniencia— tenía efectos negativos en la

percepción de conveniencia y en el comportamiento de reciclaje. Los estudios que vinculan esta variable se han referido a la importancia de facilitar la práctica por parte de los individuos, al proveer acceso a los programas de recolección en la acera (Derksen y Gartrell [1993] citados en Scott, 1999), por ejemplo, y a la relevancia del poder predictor de esta variable en la participación, tendencia y propensión a reciclar (Hornik *et al.*, 1995; Miafodzyeva and Brandt, 2013; Scott, 1999).

Dentro de los factores que se han vinculado al análisis del comportamiento de reciclaje, las variables de carácter actitudinal, o que reflejan una motivación interna del individuo, han demostrado poder explicativo y han sido fundamentales para considerar el desarrollo de mecanismos que permitan adoptar este comportamiento, de forma sostenible, en el largo plazo (Hornik *et al.*, 1995; Miafodzyeva y Brandt, 2013). De ahí la relevancia que tiene mantener el estudio de este tipo de variables en relación con el reciclaje. Una de ellas es la Efectividad Percibida del Consumidor (EPC), que si bien se ha vinculado en los estudios empíricos sobre comportamientos proambientales mostrando un promisorio poder descriptivo y estableciendo relaciones positivas con estos (Berger y Corbin, 1992; Ellen *et al.*, 1991; Roberts, 1996; Straughan y Roberts, 1999; Webb *et al.*, 2008; Webster, Jr., 1975), no ha recibido mucha atención en relación directa con el comportamiento de reciclaje (Arias, 2017).

2.1.2. La Efectividad Percibida del Consumidor (EPC)

La Efectividad Percibida del Consumidor (EPC) es una percepción sobre la efectividad de las acciones individuales en términos de cómo estas pueden hacer la diferencia en la solución a un problema (Ellen *et al.*, 1991; Kinnear, Taylor y Ahmed, 1974a). El análisis de esta variable ha abarcado cerca de cuatro décadas, desde los primeros estudios de Kinnear *et al.*, (1974) y Webster, Jr., (1975). Algunos autores han hecho una conceptualización específica, relacionada con el medio ambiente, en la que la EPC se considera una medida del juicio del sujeto acerca de la capacidad de los consumidores individuales para afectar las problemáticas sobre los recursos ambientales (Antil y Bennett, 1979), o una estimación que el individuo hace con respecto al grado en que las actividades de consumo personal contribuyen a solucionar el problema ambiental (Allen, 1982; Ellen *et al.*, 1991). De manera más reciente, otros

autores se han referido a la percepción de efectividad del consumidor como una evaluación que hace el individuo de sus habilidades para contribuir a propósitos relacionados con el desarrollo sostenible, a través de comportamientos específicos (Hanss y Doran, 2019).

2.1.3. La Efectividad Percibida del Consumidor y la medición de comportamientos proambientales

La investigación previa ha demostrado el valor explicativo de la EPC para diferentes elementos relacionados con los comportamientos ambientalmente sostenibles. Diversos estudios han mostrado el promisorio poder descriptivo de la EPC sobre preocupación, actitudes, intenciones y comportamientos autoreportados (Berger y Corbin, 1992; Izagirre, Fernández y Vicente, 2015; Jaiswal y Kant, 2018; Kinnear *et al.*, 1974; Roberts, 1996; Straughan y Roberts, 1999; Webb *et al.*, 2008). Muchos de los estudios sobre la percepción de efectividad del consumidor se han enfocado en analizar su relación con comportamientos agregados, es decir, con un conjunto de comportamientos proambientales —e. g. ahorro de agua, ahorro de energía, compras de productos sostenibles y reciclaje en un mismo conjunto— (Ellen *et al.*, 1991).

Sin embargo, otros autores se han referido al valor del efecto de la EPC en comportamientos específicos, en particular, el uso de energía (Seligman *et al.*, 1979; Allen, 1982). Diferentes teorías (Gill, Crosby y Taylor, 1986; Rothbaum, Weisz y Snyder, 1982; Wiener y Doescher, 1991) y estudios empíricos (Ellen *et al.*, 1991) soportan la idea de que la EPC no debería usarse para predecir comportamientos proambientales generalizados, sino que, más bien, podría tener un mejor rol en la predicción de un comportamiento específico, pues, en un estudio agregado, el rol de la EPC podría ser distorsionado, es decir, «sobrestimado o subestimado, dependiendo de los comportamientos específicos incluidos» (Ellen *et al.*, 1991, p. 30). Hanss y Doran (2019), al revisar estudios en los que se ha investigado la conexión entre EPC y diferentes comportamientos de consumo sostenible, concluyen que el valor predictivo de la percepción de efectividad del consumidor en el comportamiento puede variar dependiendo del campo que esté bajo estudio. Esta investigación concuerda con esta línea de pensamiento, pues cada comportamiento proambiental tiene características propias que facilitan o inhiben su adopción. Así, un consumidor que ahorre

agua no necesariamente va a reducir también su consumo de carnes rojas o va a reciclar. Por lo anterior, este estudio propone analizar la Efectividad Percibida del Consumidor en relación con el comportamiento específico del reciclaje.

En particular, desde los estudios enfocados en la EPC, el comportamiento de reciclaje ha sido incluido en un conjunto de comportamientos ambientales (Berger y Corbin, 1992; Roberts, 1996; Straughan y Roberts, 1999; Webb *et al.*, 2008); es decir, no ha sido estudiada la relación específica de la percepción de efectividad de las acciones individuales con el reciclaje como único comportamiento de análisis. De forma reciente, Lee, Haley y Yang (2019) incluyeron la EPC en un estudio para mirar el rol de esta y otras creencias y percepciones del individuo en la efectividad de mensajes que promovían el reciclaje, e identificaron la percepción de efectividad del consumidor como un fuerte predictor. En este caso, aunque la efectividad del mensaje incluía una medición de intención o compromiso de realizar el comportamiento —i. e. «yo reciclaré»—, la investigación no buscaba medir la adopción.

Así, tres argumentos importantes dan relevancia al estudio de esta relación: en primer lugar, el poder explicativo que han exhibido las variables de carácter actitudinal —dentro de las que estaría la EPC— en el comportamiento de reciclaje; en segundo lugar, el planteamiento, desde la literatura, de que la EPC podría tener un mejor rol predictivo sobre comportamientos ambientales específicos; en tercer lugar, los resultados obtenidos de la EPC en relación con actitudes, intenciones y comportamientos proambientales que han incluido el reciclaje, en los que se ha mostrado una relación significativa y positiva (Berger y Corbin, 1992; Ellen *et al.*, 1991; Webster, Jr., 1975).

2.1.4. Planteamiento de hipótesis

Esta investigación busca entender cómo la percepción de la efectividad de la acción individual se relaciona con la actitud, el conocimiento y la acción de reciclar. A partir de la literatura previa es claro que la Efectividad Percibida del Consumidor ha tenido un efecto positivo en diferentes elementos asociados a comportamientos proambientales en conjunto. Así, dado que la EPC ha tenido efectos positivos en actitudes proambientales y en conocimiento sobre temas ambientales (Allen, 1982; Ellen *et al.*, 1991; Kinnear *et al.*, 1974), se espera que actúe de la

misma manera al analizarla en relación con la actitud y el conocimiento frente a un comportamiento específico como el reciclaje, y tenga un efecto positivo (Arias, 2017). Además, a partir de los estudios en los que la EPC ha sido analizada en relación con diferentes comportamientos proambientales, incluyendo el reciclaje (Berger y Corbin, 1992; Ellen *et al.*, 1991; Webster, Jr., 1975), se espera una relación significativa y positiva entre la EPC y la acción de reciclar. En resumen, se plantea como hipótesis de trabajo: las percepciones de efectividad del consumidor (EPC) estarán positivamente relacionadas con la actitud, el conocimiento y la acción de reciclar.

3. Metodología

El diagrama 1 muestra las etapas que se siguieron para el desarrollo metodológico. En este esquema, se parte de la hipótesis de trabajo y se propone un modelo para probarla. El modelo, desde una perspectiva agregada —i. e. involucrando tres dimensiones del reciclaje y de la EPC—, busca entender si existe una relación directa y positiva entre las creencias de efectividad y el reciclaje. Para analizar la relación entre Efectividad Percibida del Consumidor (EPC) y reciclaje, a partir de la hipótesis planteada, se definieron las variables de estudio. Para esto, Arias (2017) propone construir un índice para cada variable que reúne tres dimensiones, así:

Índice³ de Efectividad Percibida del Consumidor (EPC): con base en la conceptualización de la EPC como el grado en que el individuo cree en la utilidad de su acción individual para hacer la diferencia (Ellen *et al.*, 1991; Kinnear, Taylor y Ahmed, 1974), se propuso una operacionalización de la medida de la EPC que reúne:

- La percepción de efectividad de la acción individual *frente al medio ambiente*, que se denominó «EPC ambiental».
- La percepción de efectividad de la acción individual *frente al mundo*, que se denominó «EPC global».

3 Este es un índice cuyos componentes no constituyen la medición de un solo constructo, ya que tiene un Alpha de Cronbach bajo (< 0,5).

- La percepción de efectividad de la acción individual *frente a la gente*, que se denominó «EPC social».

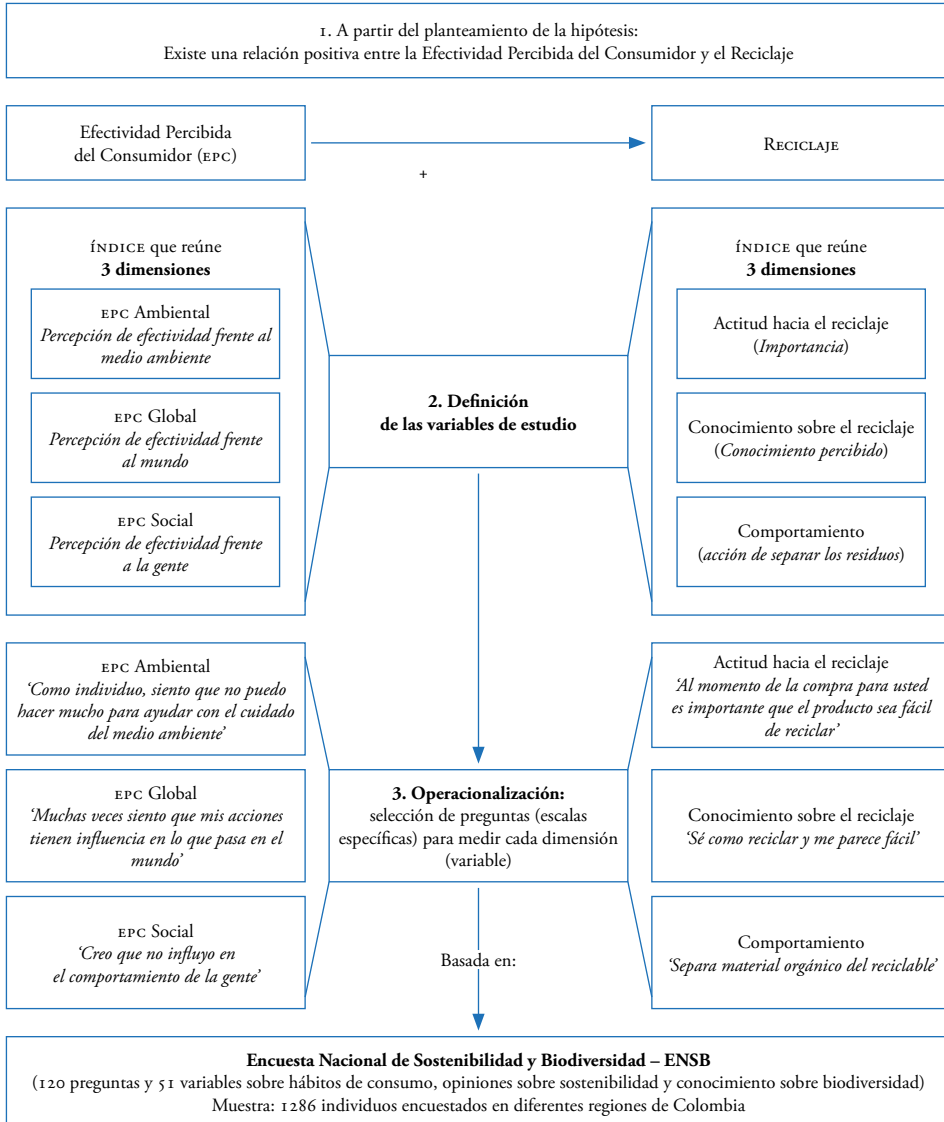


DIAGRAMA 1. Etapas propuestas en el desarrollo metodológico

Una vez definidas las variables de estudio, se procedió a su operacionalización. Como fuente de información, se utilizaron algunos de los datos recopilados en la Encuesta Nacional de Sostenibilidad y

Biodiversidad 2015 (ENSB)⁴, que se aplicó a 1286 individuos en Colombia. Para el propósito de esta investigación, se seleccionaron las preguntas que servían como indicadores de las variables de interés. Aunque en el diagrama 1 se hace una descripción general de estas, en la tabla 1 se muestra en detalle el manejo de las variables seleccionadas para el análisis, a partir de la información disponible en la ENSB; en esta, se especifican las variables originales con su escala de medición.

TABLA 1. Manejo de variables a partir de la base de datos – ENSB

VARIABLE	INDICADOR	ESCALA
Dependiente: Índice de Reciclaje		
Actitud (importancia)	Al momento de la compra para usted es importante que el producto sea fácil de reciclar	5: Muy importante; 1: Nada importante
Conocimiento (opinión conocimiento percibido)	Sé cómo reciclar y me parece fácil	4: Totalmente de acuerdo; 1: Totalmente en desacuerdo
Comportamiento	Separa el material orgánico del reciclable	4: Muy frecuentemente; 1: Nunca
Independiente: Índice EPC		
EPC Ambiental	Como individuo siento que no puedo hacer mucho para ayudar con el cuidado del medio ambiente	4: Totalmente de acuerdo; 1: Totalmente en desacuerdo
EPC Global (mundo)	Muchas veces siento que mis acciones tienen influencia en lo que pasa en el mundo	4: Totalmente de acuerdo; 1: Totalmente en desacuerdo
EPC Social (gente)	Creo que no influyo en el comportamiento de la gente	4: Totalmente de acuerdo; 1: Totalmente en desacuerdo

Fuente: Elaboración propia

4 Encuesta diseñada y dirigida por Carlos Trujillo (profesor asociado de la Universidad de los Andes), aplicada por la firma de mercadeo Invamer.

A continuación, se presentan los estadísticos descriptivos relacionados con las medidas de estos índices:

Como muestra la tabla 2, los individuos tienen una mayor actitud, en términos de importancia (M: 4,41, DE: 0,95), que conocimiento percibido (M: 3,34, DE: 0,86) con respecto al reciclaje; a su vez, declaran tener mayor conocimiento percibido sobre el reciclaje que una práctica específica como la separación de los residuos (M: 2,90, DE: 1,13). Lo anterior confirma el *green gap* discutido en la literatura previa, en el que los individuos exhiben mayores actitudes y conocimiento que comportamientos observados frente al reciclaje. Así, en promedio, es mayor el número de individuos que considera importante que los productos que compra sean fáciles de reciclar; una cifra menor está de acuerdo con la afirmación de que sabe y le parece fácil reciclar, y aún menor es el número de individuos que declara separar el material orgánico del reciclable con frecuencia.

La tabla 2 también muestra, con respecto a la EPC, que los individuos parecen tener una percepción de baja efectividad de las acciones individuales en los temas ambiental y social, pues, en promedio, están de acuerdo con la afirmación de que no pueden hacer mucho por el cuidado del medio ambiente (M: 2,92; DE: 1,07) y que no influyen en el comportamiento de la gente (M: 2,92; DE: 1,06); mientras que, con respecto a la EPC global, los individuos declaran una alta percepción de efectividad individual. En promedio, los individuos están de acuerdo con que sus acciones tienen influencia en lo que pasa en el mundo (M: 3,01; DE: 1,01).

Por último, como variables de control se tomaron en cuenta aquellas que los estudios previos han vinculado al análisis del reciclaje, esto es, variables sociodemográficas. En particular, y según los datos disponibles, se trabajó con tres variables relevantes para el reciclaje: la edad, el género y el tamaño del hogar. La tabla 2 presenta los datos sociodemográficos de la muestra. De acuerdo con estos, el 57 % de los entrevistados está entre los 18 y 42 años; el 60 % es de género femenino; el estado civil del 33 % es soltero, seguido por unión libre (31 %) y casados (28 %); el 68 % alcanza un nivel de educación de primaria y bachillerato; el 66 % pertenece a los estratos 2 y 3, y la mayoría vive en áreas urbanas (70 %).

TABLA 2. Estadísticos Descriptivos

VARIABLE	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	OBSERVACIONES
<i>Índice de Reciclaje</i>			
Actitud (importancia)	4,41	0,95	1277
Conocimiento (opinión conocimiento percibido)	3,34	0,86	1272
Comportamiento	2,9	1,13	1270
Índice EPC			
EPC Ambiental <i>No puedo hacer mucho por el medio ambiente</i>	2,92	1,07	1273
EPC Global (mundo) <i>Mis acciones tienen influencia en el mundo</i>	3,01	1,01	1261
EPC Social (gente) <i>No influyo en el comportamiento de la gente</i>	2,92	1,06	1270
<i>Características sociodemográficas</i>		<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Edad			
(18 – 22)	169	13,2	
(23 – 27)	153	11,9	
(28 – 32)	136	10,6	
(33 – 37)	140	10,9	
(38 – 42)	124	9,6	
(43 – 47)	124	9,6	
(48 – 52)	109	8,5	
(53 – 57)	91	7,1	
(58 – 62)	79	6,1	
(63 – 67)	66	5,1	
(68 o más)	94	7,3	
Total observaciones			1285
Género			
Masculino	509	39,6	
Femenino	777	60,4	
Total observaciones			1286
Estado civil			
Soltero(a)	419	32,6	
Casado(a)	350	27,2	

VARIABLE	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	OBSERVACIONES
Unión libre	401	31,2	
Divorciado(a)/Separado(a)	61	4,7	
Viudo(a)	55	4,3	
Total observaciones			1286
Educación			
Primaria	296	23,6	
Bachillerato	563	44,9	
Técnica/Tecnología	198	15,8	
Universidad	169	13,5	
Posgrado			
Total observaciones			1255
Vivienda			
Urbana	900	70	
Rural	386	30	
Total observaciones			1286

Fuente: Elaboración propia

4. Resultados

A través de un análisis de regresión múltiple⁵, se probó la hipótesis de trabajo. La tabla 3 muestra los resultados obtenidos para el modelo propuesto. De acuerdo con la hipótesis de trabajo, se esperaba que el índice compuesto de EPC estuviera positivamente relacionado con el índice compuesto de reciclaje. Como se ve en la tabla 3, existe una relación significativa y positiva entre el índice de EPC y el índice de reciclaje, lo que soporta la hipótesis planteada. Así, a medida que aumenta la percepción de la efectividad de la acción individual —en el mundo, la gente y el medio ambiente—, aumenta la actitud —en términos de importancia del atributo reciclable—, el conocimiento percibido y la acción hacia el reciclaje.

⁵ Testeado a través de modelos lineales por OLS, usando Plug in PROCESS 2.11 de SPSS (Hayes, 2013).

Con respecto a las variables de control, solo la edad muestra una relación positiva y significativa con el índice de reciclaje. El género y el tamaño del hogar no muestran relación significativa con esta variable.

TABLA 3. Resultados

MODELO	EFCCTO DIRECTO
<i>Relación entre Índice EPC e Índice Reciclaje</i>	
Índice EPC -> Índice Reciclaje	0,066*
<i>VARIABLES DE CONTROL</i>	
Edad	0,016*
Género	-0,004
Tamaño hogar	-0,006

* $p < 0,05$

Fuente: Elaboración propia

5. Conclusiones

Esta investigación resalta la importancia de vincular nuevos predictores al análisis del comportamiento de reciclaje. En particular, apela al análisis de la Efectividad Percibida del Consumidor (EPC), una variable de tipo actitudinal que está en línea con la literatura que ha resaltado el rol de este tipo de variables para lograr un comportamiento sostenible en el largo plazo, pero que, hasta el momento, no había recibido mucha atención en el estudio específico del comportamiento de reciclaje. Los resultados muestran que existe una relación directa entre la percepción de la efectividad de la acción individual —frente al mundo, la gente y el medio ambiente— y una medida de reciclaje compuesta por importancia, conocimiento percibido y comportamiento. Lo anterior es consistente con la literatura previa sobre el poder predictivo de la EPC en actitudes, conocimiento y comportamiento de reciclaje analizado en conjunto con otros comportamientos proambientales, y da una idea del valor de esta variable en el análisis de la práctica de reciclar.

Uno de los grandes interrogantes en el campo de la sostenibilidad ambiental, desde el punto de vista comportamental, ha sido cómo cerrar

la brecha entre actitudes, intenciones y comportamientos —i. e. *green gap*—. Aunque se sigue trabajando en encontrar mecanismos para superar esta discrepancia entre las actitudes y los comportamientos de los individuos hacia las problemáticas ambientales (Hornik *et al.*, 1995), esta investigación aporta un nuevo camino en este propósito, en principio para el comportamiento de reciclaje. Encontrar que la Efectividad Percibida del Consumidor es relevante en la predicción de un conjunto de dimensiones del reciclaje —actitudes, conocimiento y comportamiento— confirma la importancia del individuo y sus creencias sobre sí mismo para asumir un rol proactivo frente a la sostenibilidad.

Este estudio se basó en una encuesta realizada para otros propósitos de investigación. De ahí que se hayan usado medidas aproximadas para la EPC y el comportamiento de reciclaje, a partir de una escala ya definida. Como se especificó en la metodología, los índices construidos, aunque reúnen dimensiones importantes de cada variable de interés, no pueden tomarse como representaciones de los constructos de análisis. Así, el desarrollo de una escala específica que permita medir tanto el constructo de EPC como el de comportamiento de reciclaje podría ser valiosa. Al trabajar con una encuesta como método de recolección de información, se está apelando a comportamientos autoreportados; en el futuro sería importante, como ya la investigación previa lo ha sugerido, estudiar comportamientos observados para analizar los factores que influyen en su adopción.

Tener un panorama completo del comportamiento de reciclaje es fundamental para avanzar hacia un consumo más sostenible. Esta investigación contribuye a ese panorama al aportar un nuevo predictor que puede ser útil para entender y promover la adopción del reciclaje. Así, a partir de este estudio, las organizaciones y demás actores interesados en motivar la acción de la sociedad civil hacia el consumo sostenible encuentran en las percepciones de efectividad del individuo un posible camino en el que vale la pena profundizar. Hacia adelante, las creencias de efectividad del individuo pueden vincularse en mecanismos que promuevan el reciclaje y orienten estrategias y políticas de consumo hacia la sostenibilidad.

6. Referencias

- Ahmad, M. S.; Bazmi, A. A.; Bhutto, A. W.; Shahzadi, K.; Bukhari, N. (2016). Students' Responses to Improve Environmental Sustainability Through Recycling: Quantitatively Improving Qualitative Model. *Applied Research in Quality of Life*, 11(1), 253-270. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11482-014-9366-7>
- Allen, C. T. (1982). Self-Perception Based Strategies for Stimulating Energy Conservation. *Journal of Consumer Research*, 8(4), 381. DOI: <https://doi.org/10.1086/208878>
- Antil, J. A.; Bennett, P. D. (1979). Construction and Validation of a Scale to Measure Socially Responsible Consumption Behavior. *The Conserver Society*, (mayo), 51-68.
- Arias, C. (2017). The Role of Perceived Consumer Effectiveness in Recycling Behavior. *Latin American Advances in Consumer Research*, 4, 85-86.
- Barr, S. (2007). Factors Influencing Environmental Attitudes and Behaviors. *Environment and Behavior*, 39(4). DOI: <https://doi.org/10.1177/0013916505283421>
- Berger, I. E.; Corbin, R. M. (1992). Perceived Consumer Effectiveness and Faith in Others as Moderators of Environmentally Responsible Behaviors. *Journal of Public Policy & Marketing*, 11(2), 79-89. DOI: <https://doi.org/10.2307/30000276>
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2015). *Situación de la gestión de residuos sólidos en América Latina y el Caribe*.
- Botetzagias, I.; Dima, A. F.; Malesios, C. (2015). Extending the Theory of Planned Behavior in the context of recycling: The Role of Moral Norms and of Demographic Predictors. *Resources, Conservation and Recycling*, 95, 58-67. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.12.004>
- Crociata, A.; Agovino, M.; Sacco, P. L. (2015). Recycling Waste: Does Culture Matter? *Journal of Behavioral and Experimental Economics*, 55, 40-47. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.socec.2015.01.005>
- Derksen, L. y Gartrell, J. (1993). The Social Context of Recycling. *American Sociological Review*, 58(3), 434. DOI: <https://doi.org/10.2307/2095910>
- Echegaray, F.; Hansstein, F. V. (2017). Assessing the Intention-behavior Gap in Electronic Waste Recycling: The Case of Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 142, 180-190. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.064>

- Ellen, P.; Wiener, J. L. J.; Cobb-Walgren, C.; Scholder Ellen, P.; Wiener, J. L. J.; Cobb-Walgren, C. (1991). The Role of Perceived Consumer Effectiveness in Motivating Environmentally Conscious Behaviors. *Journal of Public Policy & Marketing*, 10(2), 102-117. DOI: <https://doi.org/10.2307/30000238>
- Eunomia and European Environmental Bureau. (2017). *Recycling – Who Really Leads the World? European Environmental Bureau*. Recuperado de <http://www.eunomia.co.uk/reports-tools/recycling-who-really-leads-the-world/>
- Fiorillo, D. (2013). Household Waste Recycling: National Survey Evidence from Italy. *Journal of Environmental Planning and Management*, 56(8), 1125-1151. DOI: <https://doi.org/10.1080/09640568.2012.709180>
- Gill, J. D.; Crosby, L. A.; Taylor, J. R. (1986). Ecological Concern, Attitudes, and Social Norms in Voting Behavior. *Public Opinion Quarterly*, 50(4). DOI: <https://doi.org/10.1086/269002>
- Hanss, D.; Doran, R. (2019). Perceived Consumer Effectiveness. En W. Leal Filho, A. Azul, L. Brandli, P. Özuyar y T. Wall (eds.), *Responsible Consumption and Production. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals*. (1-10). Cham: Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-71062-4_33-1
- Hayes, A. (2013). Introduction to Mediation, Moderation, and Conditional Process Analysis. *New York: Guilford*. DOI: <https://doi.org/978-1-60918-230-4>
- Hornik, J.; Cherian, J.; Madansky, M.; Narayana, C. (1995). Determinants of Recycling Behavior: A Synthesis of Research Results. *Journal of Socio-Economics*, 24(1), 105-127.
- Izagirre-Olaizola, J.; Fernández-Sainz, A.; Vicente-Molina, M. A. (2015). Internal Determinants of Recycling behavior by University Students: A Cross-country Comparative Analysis. *International Journal of Consumer Studies*, 39(1), 25-34. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijcs.12147>
- Jaiswal, D.; Kant, R. (2018). Green Purchasing Behaviour: A Conceptual Framework and Empirical Investigation of Indian Consumers. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 41(agosto 2017), 60-69. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2017.11.008>
- Kinnear, T. C.; Taylor, J. R.; Ahmed, S. A. (1974). Ecologically Concerned Consumers - Who Are They. *Journal of Marketing*, 38(2), 20-24. DOI: <https://doi.org/10.2307/1250192>
- Lee, Y. J.; Haley, E.; Yang, K. (2019). The Role of Organizational Perception, Perceived Consumer Effectiveness and Self-efficacy in Recycling

- Advocacy Advertising Effectiveness. *Environmental Communication*, 13(2), 239-254. DOI: <https://doi.org/10.1080/17524032.2017.1308407>
- McCarty, J. A.; Shrum, L. J. (2001). The Influence of Individualism, Collectivism, and Locus of Control on Environmental Beliefs and Behavior. *Journal of Public Policy & Marketing*, 20(1), 93-104. DOI: <https://doi.org/10.1509/jppm.20.1.93.17291>
- Miafodzyeva, S.; Brandt, N. (2013). Recycling Behaviour among Householders: Synthesizing Determinants Via a Meta-analysis. *Waste and Biomass Valorization*, 4(2), 221-235. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-012-9144-4>
- Peattie, K.; Collins, A. (2009). Guest Editorial: Perspectives on Sustainable Consumption. *International Journal of Consumer Studies*, 33(2), 107-112. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1470-6431.2009.00758.x>
- Peattie, K. (2010). Green Consumption: Behavior and Norms. *Annual Review of Environment and Resources*, 35, 195-228. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-032609-094328>
- Roberts, J. A. (1996). Green Consumer in the 1990: Profile and Implications for Advertising. *Journal of Business Research*, 36-3, 2963(95), 217-232. DOI: [https://doi.org/10.1016/0148-2963\(95\)00150-6](https://doi.org/10.1016/0148-2963(95)00150-6)
- Rothbaum, F.; Weisz, J. R.; Snyder, S. S. (1982). Changing the World and Changing the Self: A Two-process Model of Perceived Control. *Journal of Personality and Social Psychology*, 42(1), 5-37. DOI: <https://doi.org/10.1037/0022-3514.42.1.5>
- Scott, D. (1999). Equal Opportunity, Unequal Results: Determinants of Household Recycling Intensity. *Environment and Behavior*, 31(2), 267-290. DOI: <https://doi.org/10.1177/00139169921972100>
- Sorkun, M. F. (2018). How Do Social Norms Influence Recycling Behavior in a Collectivistic Society? A Case Study from Turkey. *Waste Management*, 80, 359-370. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.09.026>
- Straughan, R. D.; Roberts, J. A. (1999). Environmental Segmentation Alternatives: A Look at Green Consumer Behavior in the New Millennium. *Journal of Consumer Marketing*, 16(6), 558-575. DOI: <https://doi.org/10.1108/07363769910297506>
- Taberero, C.; Hernández, B.; Cuadrado, E.; Luque, B.; Pereira, C. R. (2015). A Multilevel Perspective to Explain Recycling Behaviour in Communities. *Journal of Environmental Management*, 159, 192-201. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.05.024>

- Terlau, W.; Hirsch, D. (2015). Sustainable Consumption and the Attitude-Behaviour-Gap Phenomenon - Causes and Measurements towards a Sustainable Development. *Proceedings in Food System Dynamics*, 0(0), 199-214. DOI: <https://doi.org/10.18461/pfsd.2015.1516>
- United Nations. (2018). *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. DOI: <https://doi.org/10.1891/9780826190123.ap02>
- Vining, J.; Ebreo, A. (1992). Predicting Recycling Behavior from Global and Specific Environmental Attitudes and Changes in Recycling Opportunities. *Journal of Applied Social Psychology*, 22(20), 1580-1607. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1559-1816.1992.tb01758.x>
- Webb, D. J.; Mohr, L. A.; Harris, K. E. (2008). A Re-Examination of socially Responsible Consumption and Its Measurement. *Journal of Business Research*, 61(2), 91-98. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2007.05.007>
- Webster Jr., F. E. (1975). Determining the Characteristics of the Socially Conscious Consumer. *Journal of Consumer Research*, 2(3), 188-196. DOI: <https://doi.org/10.1086/208631>
- Wiener, J. L.; Doescher, T. a. (1991). A Framework for Promoting Cooperation. *Journal of Marketing*, 55(abril), 38-47. DOI: <https://doi.org/10.2307/1252236>

CAPÍTULO III

**Diagnóstico socioambiental de la
microcuenca del río El Palmar del
municipio de Ubaque (Cundinamarca)**

GILBERTO VALLEJO MORENO¹
DANIEL ALEJANDRO HERRERA LADINO²
IVÁN ANDRÉS HERRERA LADINO³

1. Introducción

Esta investigación, que pertenece al semillero POAM, ha sido concebida en el marco de un proyecto de investigación mayor de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Libre de Colombia, denominado “Modelo para la sostenibilidad ambiental de microcuencas hidrográficas”; un

1 Universidad Libre (Colombia). Ingeniero geógrafo, magíster en Gestión Ambiental; investigador Grupo Tecnoambiental (Facultad de Ingeniería), director del proyecto de investigación, gilberto.vallejom@unilibre.edu.co. <https://orcid.org/0000-0003-4930-8527>.

2 Universidad Libre (Colombia). Estudiante de Ingeniería Ambiental; semillero de investigación POAM (Facultad de Ingeniería), daniel.herrera@unilibrebog.edu.co.

3 Universidad Libre (Colombia). Estudiante de Ingeniería Ambiental; semillero de investigación POAM (Facultad de Ingeniería), ivan.herreral@unilibrebog.edu.co.

estudio de caso la microcuenca del río El Palmar, ubicada en el municipio de Ubaque (Cundinamarca).

La investigación pone en evidencia la necesidad de documentar información mejor y más estructurada, acerca del conocimiento de la microcuenca del río El Palmar en lo que respecta a indicadores socioambientales de estado y presión en temas como factores físicos-bióticos, socioculturales y económicos. Esto, con el fin de cumplir las condiciones de la guía para la formulación de Planes de Manejo Ambiental de Microcuencas (PMAM) del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS, 2018), a partir de cuyo contenido fue construida una propuesta, también de contenido, para la microcuenca del río El Palmar. Aunque no hace parte de los alcances de la investigación, pero sí del proyecto mayor, los indicadores de estado y presión así identificados para la microcuenca de interés, se convirtieron en indicadores para dar cuenta de las condiciones de oferta, potencialidad y/o problemática general de un grupo representativo de microcuencas del país y de forma particular del Departamento de Cundinamarca al cual pertenece la microcuenca del río El Palmar, siendo uno de ellos la variedad de pisos térmicos, desde paramo hasta cálido, los que a su vez determinan una importante diversidad de ecosistemas claves para el Departamento.

2. Desarrollo del escrito

2.1. Descripción del problema

Las microcuencas del mundo se ven afectadas por una gran diversidad de factores antrópicos desmesurados, los cuales se originan por la falta de instrumentos normativos que sirvan de reguladores de las acciones que generan degradación en los ecosistemas donde estas se encuentran. La necesidad de llevar a cabo diagnósticos socioambientales en torno a estas unidades naturales es una preocupación también internacional. Por ejemplo, según lo descrito en el estudio “Disponibilidad del recurso hídrico en la microcuenca del río Bermúdez, región central de Costa Rica”, este país cuenta con una gran diversidad ecosistémica en donde se encuentra ubicada la microcuenca del río Bermúdez, la cual

fue sometida a estudios en los que se evaluó la oferta hídrica de esta, teniendo en cuenta su geomorfología y clima, con el fin de asegurar la disponibilidad del recurso hídrico para las poblaciones cercanas, evitando conflictos sociales, económicos y sanitarios (Hernando y Orozco, 2015).

Ya para Colombia se establece que la mayor parte de los problemas sobre el recurso hídrico del país se origina por el mal manejo y la explotación poco racional de los recursos naturales de las regiones de alta montaña, que se caracterizan por tener las principales fuentes de agua y ecosistemas que son asociados a las zonas de páramo, unidad natural fundamental en el país, ya que es allí donde se genera una interacción constante entre los elementos del paisaje con la circulación atmosférica. Para complementar lo anterior, se debe relacionar la información concerniente al ciclo hidrológico y sus interacciones.

Al analizar la imagen 1, se puede apreciar el modo en que el recurso del agua se desplaza. El llamado “ciclo hidrológico” inicia con las precipitaciones, las cuales abastecen las fuentes naturales de almacenamiento, como los bosques altos de montaña y los suelos, que a su vez, por saturación e infiltración, recargan sus depósitos internos “acuíferos”, donde el agua almacenada es utilizada para suplir las necesidades humanas básicas e industriales. El ciclo termina con la evaporación y la evapotranspiración de las aguas sobrantes al medio atmosférico, lo que hace que este se reinicie. Las etapas que componen el ciclo del agua forman una cadena, la cual, la mayoría de las veces se interrumpe por las acciones antrópicas: factores como el ascenso de la frontera agrícola por las laderas de los principales sistemas montañosos y la minería en zonas de páramo contribuyen de forma directa a la problemática en las microcuencas del país.

Al estudiar los paisajes montañosos presentes en Colombia, se destaca que de las tres cordilleras se deriva la sostenibilidad hídrica de las demás regiones, como llanuras, sabanas, valles y corredores de litoral; de ahí la necesidad de conservar los cuerpos de agua naturales alojados en dichos paisajes y sus áreas aportantes microcuencas, subcuencas y cuencas, especialmente las primeras donde se aloja la mayoría de los nacimientos de agua y que a su vez le dan origen a los sistemas de quebradas, cuerpos lagunares y ríos que surten acueductos y cubren otro sinnúmero de demandas socioeconómicas y de funciones ecológicas.

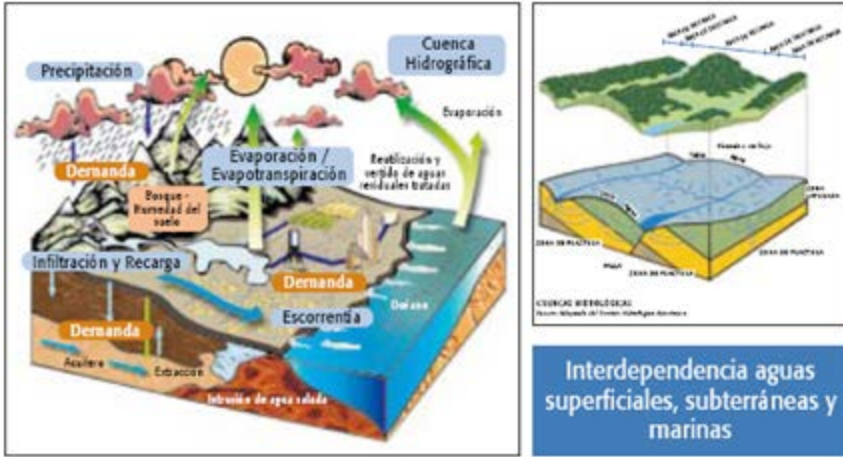


IMAGEN 1. Cuenca hidrográfica

Fuente: Guía para la ordenación y manejo de cuencas hidrográficas en Colombia. Segunda versión (Ideam, 2010).

Esta situación se reafirma con lo descrito en el Estudio Nacional del Agua ENA (IDEAM, 2014) al referirse a la huella hídrica, al establecer que los principales parámetros representativos del agua son: agua verde, el agua dulce que existe superficial o subterráneamente; agua azul, que corresponde al producto de la precipitación, y el agua gris, residuo de la cadena de suministros. Según este estudio, de la demanda nacional total del agua el 46,6 % se destina para actividades agrarias, donde para el riego de los cultivos se usan principalmente las aguas verdes y azules; el 21,5 %, para uso energético; el 8,5 %, para uso pecuario; el 8,2 %, al uso doméstico; el 5,9 %, para uso industrial; el 4,6 %, para actividades acuícolas; el 3,4 %, para uso minero e hidrocarburos, y el 1,3 %, para servicios.

Dicho esto, se puede contextualizar cómo las aguas de las microcuenas son utilizadas para todos los procesos económicos del país, lo explica la degradación ambiental que estas sufren, ya que la falta de rigurosidad normativa y de instrumentos de ordenación limita las acciones que permiten dar un mejor uso a los recursos que brindan los ecosistemas presentes. Esta una situación es en particular evidente en la microcuenca del río El Palmar, de ahí la necesidad de implementar un plan de manejo ambiental (PMA) sobre esta unidad natural, pues ayudará a la conservación de sus recursos.

2.2. Justificación

Este proyecto de investigación surge a partir de un convenio generado desde 2008 entre la Universidad Libre y el municipio de Ubaque (Cundinamarca), del cual se ha producido una serie de documentos investigativos de gran valor para el desarrollo socioeconómico de la población. Uno de los dos propósitos principales de esta investigación es alimentar de indicadores socioambientales del macroproyecto del semillero POAM “Modelo para la sostenibilidad de microcuencas hidrográficas”, y con ello responder la necesidad del país de que se le otorgue mayor relevancia y control a la explotación de los recursos en las microcuencas y que estas se valoren como unidades naturales fundamentales para todos los ecosistemas.

El otro propósito del proyecto de investigación es tomar como objeto de estudio la microcuenca del río El Palmar, ya que en la actualidad afronta problemas ambientales en los factores físicos-bióticos, socioculturales y económicos por la falta de instrumentos de gestión, como lo son los indicadores socioambientales, ocasionando la pérdida de la biodiversidad y poniendo en riesgo a los pobladores del municipio de Ubaque, que dependen por completo de este río. La falta de un plan de manejo ambiental (PMA) sobre esta unidad natural ocasiona que los recursos del sector estén en riesgo de degradación por su mala explotación, ya que, si se proporciona la suficiente información para la generación del instrumento normativo, se garantizará la sostenibilidad de la microcuenca y del municipio al cual pertenece.

En síntesis, se establece que la microcuenca del río El Palmar se ajusta totalmente a las necesidades del macroproyecto del semillero POAM ya mencionado, por clasificar como una unidad natural representativa de casi todos los pisos térmicos presentes en Colombia y particularmente de Cundinamarca. Dicho esto, el aporte de los indicadores socioambientales apoyará al modelo estudiado por el proyecto mayor de investigación, en su propósito de que puedan ser aplicados en otras microcuencas del departamento o el país.

Con relación al objeto de estudio, la microcuenca del río El Palmar, los pobladores del municipio de Ubaque dependen casi por completo de su sostenibilidad ambiental para llevar a cabo sus actividades productivas y económicas netamente agrícolas; sin embargo, el control

normativo de ellas es bajo al igual que el conocimiento de sus ofertas y potencialidades, lo que conduce a generar degradación en los distintos ecosistemas presentes en la microcuenca por sobreexplotación, entre otros factores.

Suplir de información relevante al municipio de Ubaque en lo relacionado con su oferta y potencialidades ambientales al igual que sobre sus problemáticas, en armonía con las condiciones establecidas por la guía metodológica para la formulación del plan de manejo ambiental de microcuencas (PMAM, MADS, 2018), es entonces una gran necesidad particularmente a nivel de la línea base ambiental. Es en esta medida que la investigación hace aportes, a través de una valoración de la importancia de la información existente y el contenido de lo que podría ser un PMA para la microcuenca del río El Palmar con enfoque de sostenibilidad para que sea acometido por la Autoridad Ambiental y/o el municipio.

2.3. Metodología

Para su desarrollo, la investigación implementó dos tipos de metodologías: la cualitativa, considerando el hecho de que el diagnóstico socioambiental se realizó por medio de información secundaria del orden local, regional y nacional, donde la información recolectada son documentos técnicos, temáticos y de la cartografía asociada de la región objeto de estudio. Por otra, parte se tomaron en cuenta los documentos generados por la corporación autónoma en jurisdicción del municipio de Ubaque (Corporinoquia) acerca de la microcuenca del río El Palmar y la normatividad general establecida por el MADS en lo relacionado con el PMAM y sus requerimientos. El control de la información se gestionó por medio de un formato de seguimiento con el cual se pudo determinar su estado en lo referente a los componentes ambientales sugeridos en la guía del PMA junto con los conceptos de especialistas en los temas ambientales de la microcuenca. Una vez finalizó la recopilación de información, esta se consignó en una base de datos de Acces que quedó a disposición del municipio. La información ya almacenada se evaluó por medio de una matriz de comparación y se estableció la importancia y utilidad de esta con respecto a la futura

necesidad de formular la guía para PMA de la microcuenca del río El Palmar, ya que gracias a este procedimiento bibliográfico se pudieron identificar los indicadores socioambientales necesarios para el modelo de microcuencas.

El segundo enfoque fue de tipo semicuantitativo, teniendo en cuenta que el objeto de investigación, la microcuenca del río El Palmar, se sometió a comparaciones y a la producción del documento técnico apoyado en datos numéricos existentes acerca de la calidad ambiental, los tipos de estadísticas y los mapas cartográficos en general. El esquema del Diagrama 2 simplifica la metodología descrita en la medida que sintetiza los procedimientos ejecutados en el diagnóstico socioambiental, mostrándolos como un ciclo cerrado y sistemático conducente a la obtención de los productos principales de la investigación: el contenido para un PMA y un documento técnico del diagnóstico socioambiental constituido en las memorias extensas de los resultados de la investigación.

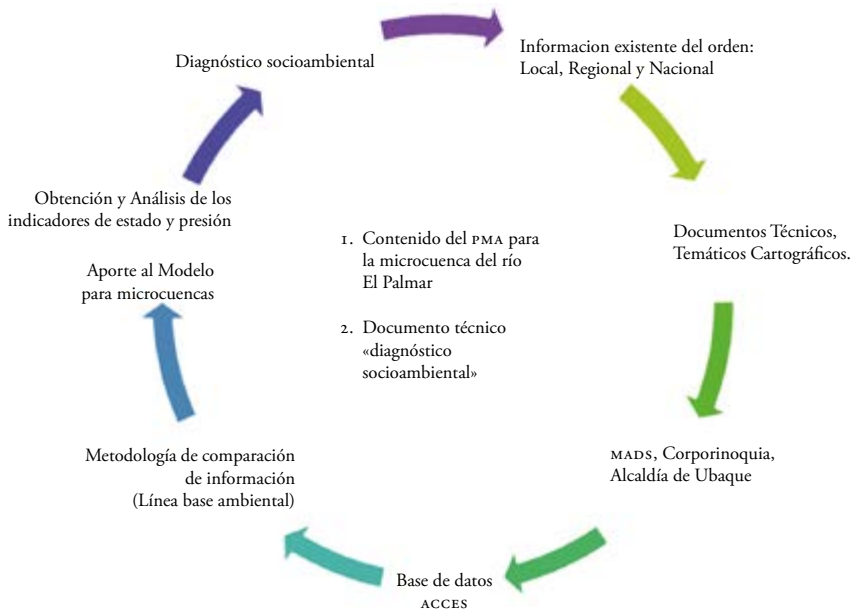


IMAGEN 2. Esquema metodológico del diagnóstico socioambiental

Fuente: elaboración propia.

2.4. Resultados

2.4.1. Determinación de la importancia de la información existente relacionada con los factores ambientales presentes en la microcuenca del río El Palmar

Una de las principales características del diagnóstico socioambiental es la valoración y determinación de la importancia de la información existente. Este proceso se desarrolló mediante la identificación de la información técnica referente a los factores físicos-bióticos, socioculturales y económicos relacionados en los documentos recopilados y consignados en la base de datos de Acces. El principal motivo para realizar este procedimiento es dar una guía a los gestores del PMA para la microcuenca del río El Palmar en lo referente al desarrollo de los componentes ambientales sugeridos en la línea base ambiental de la guía para PMAM propuesta por el MADS.

Los factores físicos-bióticos, socioculturales y económicos para el desarrollo del diagnóstico socioambiental se constituyen mediante cinco categorías, que a su vez se conforman por componentes del ambiente de la siguiente forma:

1. Categoría hidrosférica: se compone de hidrología, hidrogeología, hidrografía y calidad del agua.
2. Categoría geosférica: se compone de geología, geomorfología-pendientes y suelos.
3. Categoría atmosférica: se compone de climatología y calidad del aire.
4. Categoría biótica: se compone de fauna, vegetación y ecosistemas estratégicos.
5. Categoría sociocultural y económica: se compone de aspectos socioculturales, económicos y político-administrativos.

Según lo expresado en la metodología, los documentos consultados y analizados del orden local, regional y nacional son ocho como se describe en la tabla 1, fueron seleccionados según el tipo de información requerida para desarrollar el estudio de línea base ambiental del PMA.

TABLA 1. Documentos de referencia bibliográfica para el desarrollo del estudio de línea base ambiental para un PMA de la microcuenca del río El Palmar

CÓDIGO DEL DOCUMENTO SEGÚN BASE DE DATOS ACCESS	TÍTULO DEL DOCUMENTO	INSTITUCIÓN GESTORA DEL DOCUMENTO
DRB-001	Proyecto de investigación “Formulación de medidas de manejo ambiental para la laguna de Ubaque – Cundinamarca”	Universidad Libre de Colombia – Facultad de Ingeniería
DRB-002	Diagnóstico físico e identificación y formulación de estrategias de manejo para los riesgos ambientales significativos en la microcuenca del río El Palmar en el municipio de Ubaque (Cundinamarca)	Universidad Libre de Colombia – Facultad de Ingeniería
DRB-003	POMCA del río Negro	Corporinoquia
DRB-004	“Inventario: ordenamiento y reglamentación del recurso hídrico de la cuenca del río El Palmar, ubicado en el municipio de Ubaque, Cundinamarca”	Corporinoquia - Andean Geological Services Limitada - A.G.S. Ltda
DRB-005	EOT del municipio de Ubaque año 2000	Universidad Nacional de Colombia
DRB-006	EOT del municipio de Ubaque año 2009	Universidad Militar Nueva Granada
DRB-007	EOT del municipio de Ubaque año 2014	Global Environmental Consultancy Gec-Earth
DRB-008	Plan de manejo ambiental para el municipio de Ubaque año 1996	INGEOMINAS

Fuente: elaboración propia.

La información extraída de los documentos acerca de los factores del ambiente se plasmó en una base de datos de Access y en el documento técnico elaborado por los autores.

Para establecer los parámetros de valoración y determinación de la importancia de la información el presente proyecto de investigación, se usó la metodología relacionada en la “Guía Metodológica para la Formulación de los Planes de Manejo Ambiental de Microcuencas–PMAM”. En dicho documento se encuentra que la dirección de gestión integral del recurso hídrico del MADS estableció cuatro parámetros de valoración (fiabilidad, actualidad, pertinencia y calidad); en conjunto,

estos parámetros dan como resultado un rango de importancia acerca de la información secundaria para el desarrollo del PMA, lo cual aporta a los entes gestores para la toma de decisiones presupuestales con relación al levantamiento de la información técnica ambiental.

En la metodología descrita por la guía se precisa que el valor determinado será otorgado a cada documento consultado, sin embargo, un aporte del presente proyecto es que, simultáneamente, se calificó la información existente en los documentos relacionados en la base de Access con respecto a los factores del ambiente descritos y a los componentes que los conforman, a razón de que desde el inicio del proceso investigativo se requería encontrar las necesidades de información para conocer el estado de la calidad ambiental de la microcuenca del río El Palmar.

En las tablas 2 a 5, a continuación, se describen los criterios de evaluación establecidos por la guía metodológica para la formulación de los PMAM (MADS, 2018) para determinar la importancia de la información secundaria existente.

- **Fiabilidad**

Se describe como la funcionalidad del documento para las condiciones actuales dadas, a partir de la cual se establece la escala de valoración en características cuantitativas y cualitativas de la siguiente forma:

TABLA 2. Rangos cualitativos y cuantitativos para la valoración de fiabilidad

FIABILIDAD	
ESCALA CUALITATIVA	ESCALA CUANTITATIVA
Confiable	5
Poco confiable	3
No confiable	1

Fuente: elaboración propia.

- **Actualidad**

Se describe como el tiempo en el cual fue desarrollado el documento, estableciendo la escala de valoración en términos cuantitativos del rango de años de la siguiente forma:

TABLA 3. Rangos cualitativos y cuantitativos para la valoración de actualidad

ACTUALIDAD	
RANGO DE AÑOS	ESCALA CUANTITATIVA
< 5 años	10
5 - 15 años	5
> 15 años	1

Fuente: elaboración propia.

- Pertinencia

Se describe como la relación del documento con la temática susceptible en evaluación, estableciendo la escala de valoración en características cuantitativas y cualitativas de la siguiente forma:

TABLA 4. Rangos cualitativos y cuantitativos para la valoración de pertinencia

PERTINENCIA	
ESCALA CUALITATIVA	ESCALA CUANTITATIVA
Confiable	5
Poco Confiable	3
No confiable	1

Fuente: elaboración propia.

- Calidad

Se describe como el grado en el que un conjunto de características inherentes cumple los requisitos, estableciendo la escala de valoración en características cuantitativas y cualitativas de la siguiente forma:

TABLA 5. Rangos cualitativos y cuantitativos para la valoración de calidad

CALIDAD	
ESCALA CUALITATIVA	ESCALA CUANTITATIVA
Alta	10
Media	5
Baja	1

Fuente: elaboración propia.

La tabla 6, entre tanto, recoge los resultados de aplicar los anteriores criterios a los documentos seleccionados, en términos de importancia de la información para los factores ambientales que serían estudiados a través de un PMA de la microcuenca.

La metodología establece que la suma total de los valores otorgados a los cuatro parámetros dará el nivel de importancia de la información, tomando un rango de medición donde 30 es el nivel más alto y 4 el más bajo. De esta calificación surgen observaciones acerca de los componentes del ambiente que permiten a los gestores del PMA conocer el estado actual de la microcuenca.

A continuación, se relacionan la ficha de revisión de información secundaria, la cual se obtuvo de la guía para elaboración de PMAM. Se precisa que los autores del presente documento modificaron la ficha con el fin de ajustarla a las necesidades metodológicas del diagnóstico socioambiental, valorando la información de los documentos relacionada con los factores del ambiente específicos de la microcuenca objeto de estudio.

Se encuentra que la mayoría de los documentos relacionados cuentan con un nivel de importancia aceptable para poder ser utilizados en el estudio de línea base ambiental, el cual hace parte del diagnóstico socioambiental, que es uno de los pasos fundamentales para poder elaborar el PMA para la microcuenca del río El Palmar. El único criterio que altera la condición de importancia de los documentos es su año de elaboración, ya que algunos de los componentes que constituyen los factores relacionados varían en periodos de tiempo muy cortos, lo cual hace que la información pierda utilidad. Sin embargo, una de las ventajas de realizar el diagnóstico socioambiental es que los vacíos que surgen son cubiertos por documentos más actualizados.

El POMCA del río Negro (afluente del río Meta) a cuya cuenca pertenece la microcuenca de interés, debería ser el documento clave en que refiere a la pertinencia de la información necesaria para un PMA. No obstante, las escalas de trabajo 1:25 000 que maneja el documento hacen que se pierda detalle en algunos de los componentes del ambiente como: cobertura vegetal, usos y aptitud de los suelos, fauna, hidrología, hidrografía, hidrogeología y calidad del agua. Esta situación reafirma la necesidad de contar con el PMAM, ya que en este documento se establece que las escalas adecuadas de trabajo deben ser 1:10 000, evitando así la pérdida de detalle en los componentes ambientales de la microcuenca objeto de estudio.

TABLA 6. Ficha de valoración para la determinación de la importancia de la información

FACTORES DEL AMBIENTE	CÓDIGO	AUTOR	TIPO	AÑO	CRITERIOS DE CALIFICACIÓN					NIVEL DE IMPORTANCIA		
					FIABILIDAD	ACTUALIDAD	PERTINENCIA	CALIDAD				
Físicos - Bióticos, Socio - Culturales y Económicos	DRB-001	Universidad Libre de Colombia	Informes Técnicos	2010	Confiable	5 - 15 años	5	Confiable	5	Media	5	20
	DRB-002			2014	Confiable	< 5 años	10	Confiable	3	Alta	10	28
	DRB-003			2007	Confiable	5-15	5	Poco confiable	3	Media	5	18
	DRB-004	Corporinoquia - Andean Geological Services Limitada -A.G.S. Ltda		2003	Confiable	> 15 años	1	Confiable	5	Alta	10	21
	DRB-005			2000	Confiable	> 15 años	1	Confiable	5	Media	5	16
	DRB-006	Universidad Militar Nueva Granada		2009	Confiable	5 - 15	5	Confiable	5	Alta	10	25
	DRB-007	Global Environmental Consultancy Gec-Earth		2014	Confiable	< 15 años	10	Confiable	5	Alta	10	30
	DRB-008	Ingeominas		1996	Confiable	> 15 años	1	Poco confiable	3	Media	5	14

Fuente: elaboración propia.

2.4.2. Identificación de los indicadores socioambientales de estado y presión

Cualquier grupo humano se ubica en un entorno con el que guarda múltiples relaciones de diversa índole: sociales, económicas, políticas, culturales y “ambientales”. Estas últimas son interpretadas de manera muy distinta según la disciplina que las aborde, al punto que tienden a perder su sentido: para algunos el “ambiente” es prácticamente sinónimo de “entorno”, con lo que abarcaría los cuatro primeros tipos de relaciones que acaban de mencionarse, más los que existen entre los seres humanos y el medio natural en que se ubican; para otros, el “ambiente” es básicamente el medio natural al que algunos añaden el medio transformado por la acción humana.

La especificidad de lo ambiental se perdería si se adopta una definición excesivamente amplia y, por tal razón, se define lo ambiental como lo relacionado con el medio biofísico, natural o transformado por el ser humano. En este marco, lo socioambiental estaría definido por la relación entre las variables de tipo social y el medio biofísico natural o transformado en que se ubican (Cuervo, *et al.*, 2004, p. 17)

De lo descrito se puede inferir cómo en la actualidad el medioambiente es el resultado de la interacción entre los factores antrópicos y el medio natural; esta relación se da en los procesos orientados hacia el consumo de los recursos naturales para suplir las necesidades de subsistencia de las personas, por lo cual se requiere contar con las herramientas de gestión (indicadores socioambientales) de estado y presión que ayuden a contextualizar el modo de ver y utilizar los recursos obtenidos del medio, controlándolos para así poder establecer medidas de manejo ambiental que prevengan, mitiguen, reduzcan y compensen los impactos ambientales generados.

A continuación, en el diagrama 3 se muestra el esquema que contextualiza la forma en que se identificaron los indicadores socioambientales de estado y presión para la microcuenca a partir de la información de las ofertas y potencialidades ambientales aportada por el diagnóstico socioambiental:

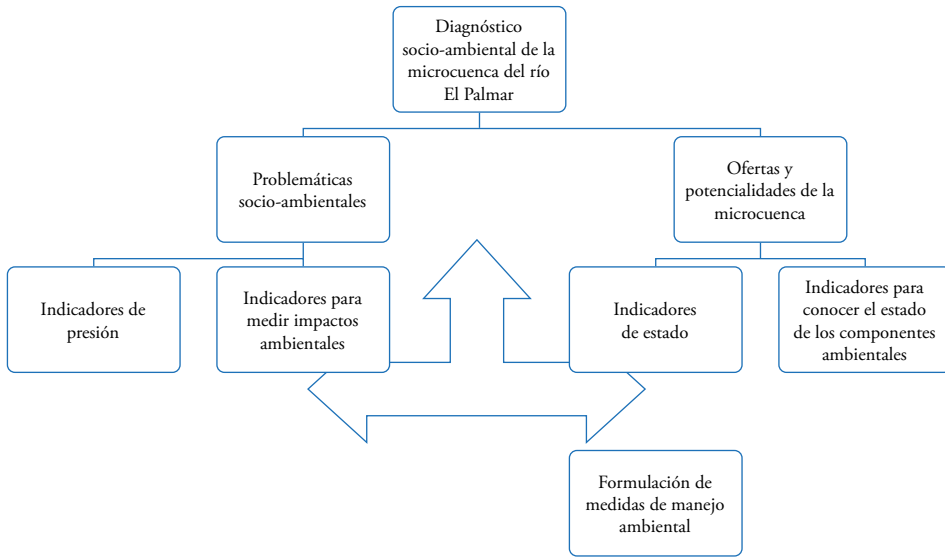


DIAGRAMA 3. Método para la identificación de los indicadores socioambientales de estado y presión

Fuente: elaboración propia.

De la recopilación y análisis de la información secundaria existente obtenida de los documentos de referencia en el proceso del diagnóstico socioambiental, se identificó una serie de impactos ambientales que suceden en la microcuenca del río El Palmar, los cuales ocasionan la degradación de los ecosistemas. Así, se genera la necesidad de establecer indicadores socioambientales de presión que ayuden a controlar los aspectos ambientales relacionados con los impactos.

Varias fuentes de información fueron consultadas con el propósito de identificar los indicadores socioambientales propuestos: Sistema de Indicadores Ambientales para Colombia SIAC (IDEAM), Observatorio Ambiental de Bogotá (Secretaría Distrital de Ambiente, SDA), ENA de 2014 y documento de indicadores ambientales clasificados por temáticas ambientales del (Ideam, 2012).

A continuación, en las tablas 7 a 10 se esbozan los tipos de impacto ambiental encontrados, y los respectivos indicadores de presión determinados. Así, en primer lugar (1) se relacionan los indicadores de presión (IP*) para los impactos ambientales a los recursos suelo, fauna, vegetación y agua para la microcuenca del río El Palmar, mientras que la definición de las variables de los indicadores (2) es tomada del documento del Ideam (2012).

TABLA 7. Impactos ambientales del recurso suelo e indicadores de presión para la microcuenca del río El Palmar

IMPACTOS AMBIENTALES RECURSO SUELO	Ampliación de la frontera agrícola por la tala de árboles en las rondas de los ríos ocasionando el desecamiento de los cuerpos de agua hacia sectores hídricamente estratégicos. IP* 1. (Ha de Cultivos en las Rondas de los Ríos) / (Ha Totales de las Rondas de los Ríos) x100; 2. $TD_{jil-2} = \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \right) * \ln \left(\frac{SCBE_{jt2}}{SCBE_{jt1}} \right) * 100$
	Deforestación en los cenos tutelares de la microcuenca, dejando desnudo el suelo y aumentando la erosión en las áreas de elevada pendiente. IP* 1. (Ha de Vegetacion Deforestada) / (Ha Totales de Vegetacion en los Centros) x100, 2. $SD_{jil-2} = SCB_{jil} - SCB_{jil2}$
	Contaminación del suelo por la inadecuada aplicación de los plaguicidas, insecticidas y agroquímicos. IP* (Ha de Suelo Contaminado) / (Ha Totales de Suelo) x100
	Procesos erosivos en terrac eta y pata de vaca por efecto combinado de la gravedad, el agua y pisoteo del ganado. Ir (Ha de Suelo Erosionado) / (Ha Totales de Suelo) x100
	Pérdida de la capacidad arable del suelo, por el inadecuado y no controlado uso de agua para riego. IP* (Ha de Suelo con Uso Inadecuado) / (Ha Totales de Suelo) x100
	Cambio de las aptitudes del suelo debido a las falencias tecnológicas y asistencia técnica a los agricultores. IP* (Ha de Suelo con Uso Inadecuado) / (Ha Totales de Suelo) x100

Fuente: elaboración propia.

TABLA 8. Impactos ambientales del recurso fauna e indicadores de presión para la microcuenca del río El Palmar

IMPACTOS AMBIENTALES FAUNA	Disminución de hábitats y fuentes de alimento por deforestación. IP* (Ha de bosque deforestado) / (Ha totales de bosque) x100
	Disminución de los recursos ictiológicos por pesca y deterioro de las fuentes hídricas. IP* (Número de especimenesprecentes) / (Área de la fuente hídrica) x100
	Pérdida de especies de peces en la laguna debido al proceso de eutrofización. IP* (Número de especímenes presentes) / (Área de la fuente hídrica) x100
	Explotaciones agropecuarias intensas. IP* (Ha de suelo explotadas) / (Ha totales de suelo) x100
	Extinción de algunos mamíferos y aves de la zona debido a la casa intensiva de los mismos. IP* (Número de especies presentes) / (Ha total de bosque) x100

Fuente: elaboración propia.

TABLA 9. Impactos ambientales del recurso vegetación e indicadores de presión para la microcuenca del río El Palmar

IMPACTOS AMBIENTALES VEGETACIÓN	Pérdida de la vegetación de páramo por la expansión de la frontera agrícola para la siembra de papa. $IP^* = \frac{\text{Ha sembradas}}{\text{Ha totales de páramo}} \times 100$
	Pérdida de la vegetación circundante a laguna de ubaque por la contaminación de las viviendas aledañas a la misma. $IP^* = \frac{\text{Ha de vegetación afectada}}{\text{Ha totales de vegetación}} \times 100$
	Agotamiento de los recursos para las especies endémicas de la zona por inserción de especies invasoras. $IP^* = 1 - \frac{\text{Número de especies invasoras}}{\text{Ha totales de bosque}} \times 100$; 2. $SCVI_{jt} = \sum_{i=1}^n SCVAI_{ijt}$
	Pérdida de nutrientes en el suelo para la vegetación por acciones agrícolas. $IP^* = \frac{\text{Ha de suelos afectados}}{\text{Ha totales de suelo}} \times 100$
	Cambios en el paisaje creando grandes cicatrices o áreas en deterioro por procesos erosivos o por deslizamientos activos. $IP^* = \frac{\text{Ha de suelos afectados}}{\text{Ha totales de suelo}} \times 100$

Fuente: elaboración propia.

TABLA 10. Impactos ambientales del recurso hídrico e indicadores de presión para la microcuenca del río El Palmar

IMPACTOS AMBIENTALES RECURSO HÍDRICO	Color amarillento en el agua por vertimientos de aguas residuales sin tratamiento previo por lavado de las granjas en las partes altas de las montañas. $IP^* = \frac{\text{Volumen en litros de agua contaminada}}{\text{Volumen en litros de agua vertida}} \times 100$
	Alteración de la calidad fisicoquímica e hidro-biológica del agua debido a la inadecuada disposición de los residuos sólidos y líquidos en las márgenes de los cuerpos de agua. $IP^* = 1 - \frac{\text{Parametros fisicoquímicos alterados en el agua}}{\text{Parametros fisicoquímicos normales en el agua}} \times 100$; 2
	$IACAL_{jt-año\ sec} = \frac{\sum_{i=1}^n CATIACAL_{ijt.año\ sec}}{n}$
	Sedimentación de los cauces de agua por procesos erosivos presentes en el área, debidos al mal manejo de los suelos; deforestación y carencia de obras de control a la minería. $IP^* = \frac{\text{Número de causas erosionadas}}{\text{Numero total de causas}} \times 100$
	Malgasto del recurso hídrico por la falta de implementación de programas de educación ambiental a los pobladores. $IP^* = 1 - \frac{\text{Número de pobladores capacitados}}{\text{Número de pobladores totales}} \times 100$; 2
$IUA_{jt} = \left(\frac{Dh_{jt}}{Oh_{jt}} \right) * 100$	

	Deficiencia en la cobertura y calidad de los servicios públicos básicos en el área rural; ocasionando la generación de vertimiento de aguas residuales y de excretas a campo abierto, los cuales por los procesos de escorrentía van a parar a los cauces de la microcuenca. IP^* (Número de acueductos veredales) / (Veredas totales del municipio) $\times 100$
	Eutrofización temprana en la laguna a causa de la presencia de vegetación acuática alimentada por las aguas residuales ricas en materia orgánica que son depositadas en la laguna. IP^* (Número de fuentes colmatadas) / (Número de fuentes totales) $\times 100$

Fuente: elaboración propia.

Por su parte, para establecer los indicadores de estado, se determinaron de antemano las condiciones de oferta y potencialidades ambientales presentes en la microcuenca del río El Palmar, las cuales dan cuenta de la riqueza de los recursos que ofrece esta unidad natural a los habitantes presentes en ella y a la región en donde se ubica.

TABLA 11. Ofertas y potencialidades ambientales en la microcuenca del río El Palmar e indicadores de estado

OFERTA Y POTENCIALIDADES EN LA MICROCUENCA		INDICADORES DE ESTADO	
<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	Bosque natural protector con aptitud de suelo clases VI y VII, con fuerte enraizamiento para evitar la erosión en laderas de pendientes entre 20 a 50 %.	<input type="checkbox"/>	1. (Ha de suelo con aptitud adecuadas), (Ha totales III de suelo) $\times 100$: 2. $CSBN_{jtl-2} = SR_{jtl-2} - SD_{jtl-2}$ 3. $PSBN_{jt} = \left(\frac{SCBN_{jc}}{AUBR_{jc}} \right) * 100$
<input type="checkbox"/>	Zona vital de potencialidad hídrica (Paramo de Cruz Verde).	<input type="checkbox"/>	(Ha de zonas con potencial hídrico) / (Ha totales de la microcuenca) $\times 100$
<input type="checkbox"/>	Zonas boscosas de protección al cauce normal ¿el río El Palmar.	<input type="checkbox"/>	(Ha de vegetación protectora al cauce) / (Ha totales I-I del cauce) $\times 100$
<input type="checkbox"/>	Quebradas principales del río El Palmar donde se realizan ciclos de producción y alimentación temporal, así como reproducción de especies animales de valor singular para la región.	<input type="checkbox"/>	1. (Número de quebradas representativas) / (Número total de quebradas) $\times 100$; 2. $ICA_{njt} = \left(\sum_{i=1}^n W_i I_{ikjt} \right)$ 3. $VAP_{jt} = \frac{Vads_{jt}}{pt_{jt}}$

OFERTA Y POTENCIALIDADES EN LA MICROCUENCA		INDICADORES DE ESTADO	
<input type="checkbox"/>	Zona de infiltración (Acuíferos).	<input type="checkbox"/>	(Número de acuíferos) / (Área total de la microcuenca) x100
<input type="checkbox"/>	Áreas de producción agropecuaria corresponde a la zona de cultivos limpios, permanentes, transitorios, misceláneos y frutales, sistemas agroforesta, pastos y pastos con rastrojos.	<input type="checkbox"/>	1. (Ha de cultivos adecuados) / (Ha totales en la zona) x100; 2. $PSGEN(i) = \frac{SGE(t)}{STF} 100$
<input type="checkbox"/>	Áreas de producción forestal.	<input type="checkbox"/>	(Ha de producción forestal) / (Ha totales en la zona) x100
<input type="checkbox"/>	Laguna de ataque sena turística y de recreación.	<input type="checkbox"/>	(Número total de visitantes) / (1 Mes) x100

Fuente: elaboración propia.

Así, en primer lugar (1) se relacionan los indicadores de estado obtenidos a partir de las ofertas y potencialidades ambientales de la microcuenca del río El Palmar, mientras que la definición de las variables de las opciones 2 y 3 de los indicadores, también han sido tomadas del documento del Ideam (2012).

Los indicadores hallados para la microcuenca darán sustento a los elementos claves del modelo de sostenibilidad para microcuencas de la investigación mayor, en la medida que la información analizada se obtuvo de tres periodos de tiempo con una diferencia de ocho años en promedio.

3. Conclusiones

- a. Mediante el diagnóstico socioambiental se determinó que en la información recopilada no existen mapas cartográficos acordes a la escala recomendada por la guía metodológica para la formulación de los PMA, ya que en los mapas generados como anexos para los EOT del municipio de Ubaque y el POMCA del río Negro se relacionan escalas 1:25 000, 1:30 000 y 1:100 000. Sin embargo, por medio del uso de SIG se puede generar cartografía a escala 1:10 000 para temas claves, como usos y

aptitud del suelo, zonificación ambiental, cobertura vegetal, calidad del agua e hidrología.

- b. La identificación de los impactos ambientales y las condiciones de oferta presentes en la microcuenca del río El Palmar reafirma la necesidad de elaborar un PMA para esta unidad natural, con motivo de la progresiva degradación de sus ecosistemas, lo cual, con el tiempo, se traducirá en factores de amenazas, vulnerabilidad y riesgo para la calidad de vida de los pobladores.
- c. Una de las principales fuentes de contaminación del recurso hídrico son los vertimientos puntuales, generados por las actividades de avicultura, porcicultura y ganadería; procesos que se desarrollan en las partes altas de la microcuenca. No existen estudios relacionados con la calidad del agua de la red hidrológica, situación que pone en riesgo la salud de los pobladores de la región, ya que el río El Palmar y sus afluentes son las principales fuentes de abastecimiento del recurso hídrico para los pobladores de las zonas rural y urbana del municipio de Ubaque. Como consecuencia, surge la necesidad de que en próximos estudios se realicen estudios físico-químicos del agua del río El Palmar, siguiendo los parámetros a medir sugeridos por la guía para PMAM.
- d. Para alimentar el modelo de sostenibilidad de microcuencas hidrográficas los indicadores socioambientales de presión y estado van acompañados de la información presentada en los mapas anexos al EOT de 2014, ya que es la cartografía más actualizada que existe de la microcuenca del río El Palmar. Esta información es la base que dará los parámetros iniciales del modelo cuyo fin es predecir los riesgos ambientales a los que son susceptibles las diferentes microcuencas del país.
- e. Como complemento a la formulación de las medidas de manejo ambiental necesarias para responder a los impactos ambientales identificados, se hace necesario establecer programas de educación ambiental y de tecnificación en procesos agrícolas para los pobladores en general, ya que de estas dos variables surge la mayoría de los problemas ambientales que deterioran los ecosistemas de la zona.
- f. Se hace necesario que la administración municipal, de la mano de la autoridad ambiental de la zona, termine la delimitación

total del páramo Cruz Verde, determinando las áreas estrictas a protección ambiental por su alta importancia en la regulación hídrica de la región. Asimismo, se debe analizar la influencia directa que tienen los fenómenos de la Niña y el Niño sobre el páramo particularmente, ya que en los estudios consultados no se encontraron mayores detalles sobre estos sucesos, que son determinantes para los ecosistemas y que ocasionan cambios que afectan a las poblaciones, yendo en contraposición de lo sugerido por la guía para PMAM.

- g. vComo un proyecto de investigación a futuro, se hace necesario establecer la importancia de la microcuenca del río El Palmar en la regulación alimentaria de la región.

4. Referencias

- Barrera, C. P. y Castañeda, J. (2010). *Formulación de medidas de manejo ambiental para la laguna de Ubaque–Cundinamarca* (trabajo de grado). Universidad Libre de Colombia.
- Corporinoquia. (2003). *Inventario, ordenamiento y reglamentación del recurso hídrico de la cuenca del río El Palmar, ubicado en el municipio de Ubaque, Cundinamarca*.
- Corporinoquia. (2007). *Pomca río Negro*.
- Cuervo, A., Guttman, E., Ramírez, J. y Zorro, C. (2004). *Diseño de un sistema de indicadores socioambientales para el distrito capital de Bogotá*. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/4800-diseno-un-sistema-indicadores-socio-ambientales-distrito-capital-bogota>.
- Global Environmental Consultancy Gec-Earth. (2014). *Esquema de ordenamiento territorial (EOT) del municipio de Ubaque, Cundinamarca—cartografía anexa*.
- Hernando, L. y Orozco, R. (2015). *Disponibilidad del recurso hídrico en la microcuenca del río Bermúdez. Región Central de Costa Rica*. <https://revistas.ucm.es/index.php/OBMD/article/viewFile/51289/47595>.
- Ingeominas. (1996). *Plan de manejo ambiental para el municipio de Ubaque Cundinamarca*. Ingeominas.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). (2014). *Estudio Nacional del Agua (ENA)*. Ideam.

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). (2012). *Indicadores ambientales clasificados por temáticas ambientales*. Bogotá: Ideam.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). (2010). Bogotá: Guía para la Ordenación y Manejo de cuencas hidrográficas en Colombia. Segunda versión.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (2018). Guía metodológica para la formulación de los planes de manejo ambiental de microcuencas (PMAM).
- Pinto, W. R. y Pinzón, B. D. (2014). *Diagnóstico físico e identificación y formulación de estrategias de manejo para los riesgos ambientales significativos en la microcuenca del río el palmar en el municipio de Ubaque (Cundinamarca)* (trabajo de grado). Bogotá, Universidad Libre de Colombia.
- Universidad Militar Nueva Granada. (2009). *Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del municipio de Ubaque–Cundinamarca*. (Contrato de cooperación interinstitucional Alcaldía de Ubaque – UMNG).
- Universidad Nacional de Colombia. (2000). *Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del Municipio de Ubaque–Cundinamarca*. (Contrato de cooperación interinstitucional Alcaldía de Ubaque – MAVDT-UNAL).

CAPÍTULO IV

Observatorio sobre desarrollo sostenible y población: ¿una reflexión necesaria acerca de Bogotá y la Región Metropolitana?

ÁLVARO LUIS MERCADO SUÁREZ¹
MARGARITA ROSA MEDINA VARGAS²

Resumen

Aunque Bogotá cuenta con la información requerida para construir los indicadores asociados a la mayoría de las metas de los ODS, resulta fundamental revisar la producción de información concerniente e identificar los datos faltantes. En este estudio se realiza un análisis comparativo de los observatorios de ciudad actualmente activos, veintiún observatorios públicos y privados creados casi todos ellos por la administración pública en la última década. A partir de esta exploración se busca identificar los

1 <https://orcid.org/0000-0002-9928-0190>. Fundación Universitaria Los Libertadores. Colombia. alvaro.mercado@libertadores.edu.co

2 <https://orcid.org/0000-0002-0602-616X> Universidad Nacional de Colombia. Colombia. margaritamedi@hotmail.com

ámbitos de análisis ya cubiertos y conocer las fuentes y métodos que se están utilizando para generar nuevos datos sobre la población de la ciudad y la región, necesarios para monitorear el cumplimiento de los ODS (Organización de Naciones Unidas, 2016). En la exploración realizada se encontraron observatorios acerca de asuntos poblacionales manejados casi todos por oficinas del Distrito, cada uno de ellos dedicado a asuntos específicos. Entre los principales se encuentran: problemas de género, LGTBI, poblaciones desplazadas por conflicto armado, convivencia escolar, población diferencial —habitantes de calle y población con discapacidad—. Es evidente que los observatorios vigentes trabajan problemas de poblaciones particulares de manera aislada, y no existe una integración de las diferentes dimensiones de la población ni en la recolección y sistematización de la información disponible ni en la producción de nuevos datos en procesos de investigación. En ninguno de los observatorios vigentes se maneja el enfoque poblacional integrado al desarrollo sostenible. Con base en esta exploración, en este estudio se plantea la posibilidad de crear un observatorio sobre la «región Bogotá» que sirva como referente para reflexionar sobre los problemas de la población de la ciudad y la región, contribuyendo con la información requerida para la toma de decisiones orientadas a lograr un desarrollo urbano sostenible.

Palabras clave: Objetivos de Desarrollo Sostenible, región Bogotá, enfoque poblacional, observatorio sobre la población, desarrollo urbano sostenible.

Abstract

Although Bogotá has indicators to assess the great majority of the goals related to the Sustainable Development Goals, it's essential to review them and identify the existing gaps with a view to planning the production of missing information. In this study, has been made a comparative analysis of the observatories of city currently active. From this exploration sought to identify the areas of analysis already covered and know the sources and methods to generate the information. In the exploration, some observatories were found about population issues handled almost all by District offices, each one dedicated to specific issues: gender problems, LGTBI, populations displaced by armed conflict, school coexistence, differential population (street inhabitants and

population with disability). It's evident the existing observatories work with particular population problems and there isn't one that integrates the different dimensions of the population; in none of these experiences is the integrated population approach to sustainable development. This research raises the possibility of creating an Observatory on the "Bogota Region" that serves as a reference for reflection of the problems of the city and the region, contributing with the information required for decision making aimed at achieving sustainable urban development.

Keywords: Sustainable Development Goals, Bogotá region, population approach, population observatory, sustainable urban development.

1. Línea temática

La presente investigación está orientada en dos líneas principales de la sostenibilidad: ambiente y crecimiento económico sostenible y responsable socialmente —en términos de la reducción de la desigualdad social—. Así mismo, la investigación aporta herramientas de análisis enfocadas hacia el cumplimiento de uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): ciudades y comunidades sostenibles.

2. Enfoque del desarrollo sostenible

2.1. Ámbitos económicos y poblacionales incluidos en los Objetivos de Desarrollo Sostenible

En 2015 la Organización de Naciones Unidas (ONU) lanzó la agenda referida a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que, en particular para la región latinoamericana, se enfoca en la reducción de la desigualdad social y económica. Buena parte de los ODS tiene que ver directamente con las problemáticas económicas y poblacionales, entre ellos: (1) la erradicación de la pobreza; (2) el pleno empleo productivo y decente; (3) ciudades inclusivas seguras, resilientes y sostenibles, que garanticen el acceso a servicios básicos, como energía, vivienda y transporte amigables con el medio ambiente; (4) modalidades de consumo y producción sostenibles, que involucran la innovación tecnológica y

la productividad económica, y (5) sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible que permitan acceder a la justicia mediante instituciones eficaces, responsables e inclusivas.

En el marco de los ODS, el concepto de *desarrollo urbano sostenible* considera el desarrollo de las ciudades con una visión de largo plazo, donde los recursos naturales y la infraestructura ya creada permitan las condiciones necesarias para procurar la calidad de vida de la población. Lograr este desarrollo implica una planeación urbana estratégica basada en el crecimiento económico sostenible y responsable socialmente, y la conservación de los recursos naturales (Organización de Naciones Unidas [ONU], 2016).

Los ODS en parte orientan los planteamientos del Plan Distrital de Desarrollo (PDD) y el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) en los ámbitos de ambiente, economía y población. El PDD 2016-2020, «Bogotá Mejor para Todos», tiene tres dimensiones principales: la poblacional, la territorial y el desarrollo urbano sostenible, inspirado en los ODS (ONU, 2016). La dimensión poblacional clasifica a la población bogotana según el ciclo vital, la condición socioeconómica y de salud, entre los principales aspectos sociodemográficos. La dimensión territorial permite dar una mirada a las localidades de Bogotá organizadas por zonas. La tercera dimensión, referida al desarrollo urbano sostenible, considera la planeación urbana estratégica basada en el crecimiento económico sostenible y responsable socialmente, y la conservación de los recursos naturales (Secretaría Distrital de Planeación, 2016).

El POT, instrumento para la planificación, ordenamiento y utilización del suelo urbano del municipio, considera entre sus objetivos y metas la sostenibilidad ambiental, el acceso a los servicios urbanos y las mejoras en la calidad de vida de la población de la ciudad, que justamente son los planteamientos básicos de los ODS. Llama la atención que en el instrumento el enfoque referido al ordenamiento territorial privilegia la relación entre territorio y población: mejorar la calidad de vida de los habitantes mediante el acceso a las oportunidades y beneficios que ofrece el desarrollo de la ciudad, para lo cual plantea posibilitar el acceso de la ciudadanía tenga a los servicios comunes de la ciudad —vías, parques, colegios, hospitales, servicios públicos y vivienda digna—, velar por la sostenibilidad ambiental y la seguridad de la población ante riesgos naturales, y procurar la utilización racional del suelo para favorecer el interés común.

La reflexión acerca de los observatorios existentes sobre Bogotá, así como las iniciativas para organizar un nuevo observatorio, pueden orientarse mediante las consideraciones acerca del desarrollo urbano sostenible contenidas en los ODS (ONU, 2016). Los ODS refieren un «deber ser ideal» sobre el medio ambiente, la población, el territorio y el desarrollo económico. Justamente, estos son los ámbitos de trabajo de los observatorios existentes sobre la ciudad y la región. De igual modo, estos son dimensiones básicas con las que se estructuran los instrumentos oficiales que regulan el orden del municipio, el POT y el Plan de Desarrollo Municipal vigentes (Secretaría Distrital de Planeación, 2016).

2.2. Objetivos de Desarrollo Sostenible versus Objetivos de Desarrollo del Milenio

En las últimas décadas, las distintas agencias de la ONU han venido planificando e implementando su asesoría técnica y apoyo financiero a los gobiernos locales según las prioridades establecidas en los ODM y los ODS (ONU, 2000 y 2015). Cabe resaltar que los ODS (ONU, 2015) representan un avance importante en comparación con los ODM (ONU, 2000) en los planteamientos referidos a combatir el hambre, la salud, la educación y la capacitación de la población de todas las edades, la sostenibilidad del medio ambiente, el desarrollo económico sostenible y la promoción de sociedades pacíficas.

Analistas sobre el tema plantean que, para el caso colombiano, se necesitan esfuerzos importantes para la erradicación de la pobreza y el hambre, la mejora de los servicios de salud y educación, la adaptación de nuevos modelos de desarrollo para ciudades más sostenibles, inteligentes y seguras, así como políticas coherentes para enfrentar el cambio climático, entre otros importantes temas. Aunque con los ODS se proponen metas hasta 2030, la complejidad de los problemas incluidos exige al país cambios sustanciales en periodos relativamente cortos.

La producción de indicadores rigurosos y actualizados para monitorear estos objetivos es un reto para el país y, más aún, para los municipios cuyas estadísticas sociales son más limitadas. Justamente, un trabajo reciente valora la disponibilidad de indicadores asociados a los distintos ODS que se pueden estimar con las estadísticas sociales disponibles para ciudades principales del país. Se advierte que, de las 169 metas propuestas por los ODS en el mundo, 78 son pertinentes

para las ciudades de Colombia; sin embargo, en el país tan solo hay indicadores disponibles para monitorear 62 metas. Entonces, no hay indicadores disponibles para monitorear las dieciséis metas de los ODS pertinentes a las ciudades del país. Se hace evidente la necesidad de refinar los indicadores existentes y producir los faltantes. Por lo anterior, para monitorear el cumplimiento de los ODS es necesario continuar con la tarea de desarrollar los sistemas de recolección y diseminación de la información pertinente para el país (Fundación Corona, Red Ciudades Cómo Vamos, Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2017).

Aunque Bogotá cuenta con indicadores para valorar la mayoría de estas metas, la creación de un nuevo observatorio sobre la población de la ciudad y la región implica revisar los indicadores asociados con los ODS considerados en los observatorios vigentes, e identificar aquellos que aún no han sido incluidos, con miras a planificar la producción de información faltante.

Se propone crear un nuevo observatorio que contribuya a la producción de la información requerida para afrontar la toma de decisiones tendientes a lograr un desarrollo urbano sostenible. La propuesta considera la importancia de definir en qué medida la información que produciría el nuevo observatorio, articulada con los observatorios sobre el tema ya existentes, puede ser útil para la planificación de políticas públicas relacionadas con la planeación urbana y el desarrollo urbano sostenible de la región. La iniciativa se refiere a la posibilidad de crear un observatorio que incluya una oferta integral de información acerca de la ciudad y la región en el amplio espectro de temas sobre población y desarrollo, población y medio ambiente, y demografía y población. Se sugiere que el nuevo observatorio recolecte, sistematice y difunda la información existente sobre el tema, detecte los vacíos en el conocimiento de estas problemáticas y produzca la información faltante.

3. Metodología

3.1. Tipo de investigación

Esta es una investigación de tipo descriptivo, pues busca describir fenómenos, situaciones, contextos y eventos, tal como son y se manifiestan

en la realidad (Hernández, 2006). A partir de la descripción de los observatorios vigentes sobre la ciudad y la región, y su examen a la luz de los planteamientos, metas e indicadores de los ODS, se propone crear un observatorio sobre la región Bogotá que sirva como referente de reflexión sobre los problemas poblacionales de ciudad y las áreas que la rodean, contribuyendo con la información requerida para tomar decisiones que tiendan a lograr un desarrollo urbano sostenible.

3.2. Objetos de estudio

El principal objeto de estudio de la presente investigación son los observatorios de ciudad activos: cerca de veintiún, impulsados por el sector público y privado, la mayoría de ellos creada por la administración distrital en la última década.

Estos observatorios tienen a su vez como principal objeto de estudio la ciudad de Bogotá con las veinte localidades que la conforman: Usaquén, Chapinero, Santa Fe, San Cristóbal, Usme, Tunjuelito, Bosa, Kennedy, Fontibón, Engativá, Suba, Barrios Unidos, Teusaquillo, Los Mártires, Antonio Nariño, Puente Aranda, La Candelaria, Rafael Uribe Uribe, Ciudad Bolívar y Sumapaz —única localidad completamente rural) (Secretaría Distrital de Planeación de Bogotá, 2015—.



IMAGEN 1. Mapa de Bogotá D. C. y sus veinte localidades

Fuente: Secretaría Distrital de Gobierno de Bogotá, 2015.

En ciertos aspectos algunos observatorios consideran la producción de información acerca del área metropolitana de Bogotá, conurbación no oficialmente constituida, pero existente *de facto*. De acuerdo con

el censo de 2005 (DANE, 2007), el área está compuesta por el Distrito Capital como su centro y los municipios de Bajacá, Cajicá, Chía, Cota, Facatativá, Funza, Gachancipá, La Calera, Madrid, Mosquera, Sibate, Soacha, Sopó, Tabio, Tenjo, Tocancipá y Zipaquirá. En la práctica se incluyen dentro del área metropolitana tres municipios adicionales: El Rosal, Fusagasugá y Subachoque. Según esta clasificación, el área metropolitana de Bogotá estaría conformada por veinte municipios conurbados y, obviamente, el Distrito Capital (imagen 2) (Secretaría Distrital de Planeación de Bogotá, 2015).



IMAGEN 2. Mapa de Bogotá - área metropolitana

Fuente: Proyecto de Acto Legislativo 088 de la Cámara de Representantes.

«Resultados del censo 2005 por Área Metropolitana de Bogotá Hacia una Bogotá ciudad-región».

Así mismo, algunos observatorios producen información sobre la región Bogotá, que incluye el área metropolitana y otros municipios adicionales. Al igual que en el área metropolitana, no hay un consenso en esta delimitación que existe *de facto*. El PDD actual, que entre sus objetivos estratégicos incluye la consolidación del proceso de integración de Bogotá con la región, considera ocho subgrupos de municipios, con lo cual la región de Bogotá estaría constituida por el Distrito Capital más 32 municipios³. El Observatorio de la Dinámica Urbana Regional, liderado por la Universidad del Rosario, incluye once municipios adicionales, que junto, con el área metropolitana conforman, la región Bogotá, para un total de treinta y un municipios en el área; estos municipios son las cabeceras de las provincias de Cundinamarca⁴ (Observatorio de la Dinámica Urbana Regional, 2015).

La reflexión acerca de las localidades y la región Bogotá, analizada por los observatorios existentes sobre la ciudad, es clave para orientar la propuesta de un nuevo observatorio sobre población y desarrollo, población y medio ambiente, y demografía y población.

3.3. Técnicas y procedimientos de investigación utilizados

En esta investigación, se lleva a cabo una exploración de los observatorios vigentes sobre Bogotá, el área metropolitana y la región, que trabajan ámbitos relacionados con el cumplimiento de los ODS. Para este examen, se considera la información disponible al público en general fuentes secundarias y, con base en ella, los observatorios se clasifican en cinco ámbitos: dinámica regional y urbana, medio ambiente y salud, economía población y territorio, administración pública y asuntos políticos. En

-
- 3 Occidente: incluye los municipios de Mosquera, Funza, Madrid, Facatativá, Zipacón, Bojacá, Sibaté y Soacha.
 Noroccidente: incluye los municipios de Cota, Tabio, Tenjo, El Rosal y Subachoque.
 Norte: incluye los municipios de Chía, Cajicá y Zipaquirá.
 Nororiente: incluye los municipios de Sopó, Tocancipá y Gachancipá.
 Nororiente (cerros): incluye el municipio de La Calera.
 Oriente: incluye los municipios de Choachí, Ubaque, Chipaque, Une y Gutiérrez.
 Suroriente (Llanos): incluye los municipios de Guamal, Cubarral y Uribe.
 Suroccidente (borde Tolima): incluye los municipios de Pasca, San Bernardo, Cabrera, Arbeláez y Colombia.
- 4 Cáqueza, Chocontá, Gachetá, Girardot, Guaduas, La Mesa, Medina, Pacho, San Juan de Río Seco, Ubaté y Villeta.

cada uno de estos ámbitos se identifica tanto la información que sistematizan y los datos originales que producen los observatorios como las estrategias que utilizan para difundir la información. En cada observatorio se examinan los indicadores vinculados con los ODS que producen y difunden, y se identifica la información faltante en términos de las metas propuestas por el enfoque del desarrollo sostenible. A partir de estos hallazgos, se propone crear un observatorio sobre población y desarrollo, que integre la información producida y difundida por los distintos observatorios vigentes, y que produzca la información faltante requerida para monitorear metas de los ODS.

4. Resultados y discusión

4.1. Observatorios vigentes sobre Bogotá y la región

Los observatorios vigentes sobre Bogotá y la región tienen como tarea la recolección metódica de datos de fuentes primarias y secundarias, la sistematización técnica de los datos y su georreferenciación, la construcción de indicadores y la consolidación de estadísticas, y el análisis y socialización periódica de información en función de la comprensión o el seguimiento a situaciones o fenómenos que deban ser intervenidos por la administración pública, el sector privado y la ciudadanía misma.

En la medida en que las políticas públicas sociales, ambientales, de salud y territoriales buscan garantizar diferentes grupos de derechos humanos de la población, los observatorios se enfocan en temas específicos para la superación de las inequidades en salud, el mejoramiento de la calidad de vida y de las condiciones ambientales, la ocupación óptima del espacio urbano, el mejor aprovechamiento de los recursos naturales y la promoción del crecimiento económico, entre los principales enfoques.

Para la ciudad y la región, en la actualidad se obtiene información acerca de dieciséis observatorios distritales, cuatro creados por la academia y uno gestionado por la Cámara de Comercio de Bogotá, los cuales trabajan en los siguientes ámbitos: uno en dinámica regional y urbana, dos sobre asuntos de la economía, tres en temas de medio ambiente, cinco se dedican a temas políticos y de administración pública, y once cubren los asuntos sobre población y territorio (diagrama 1).

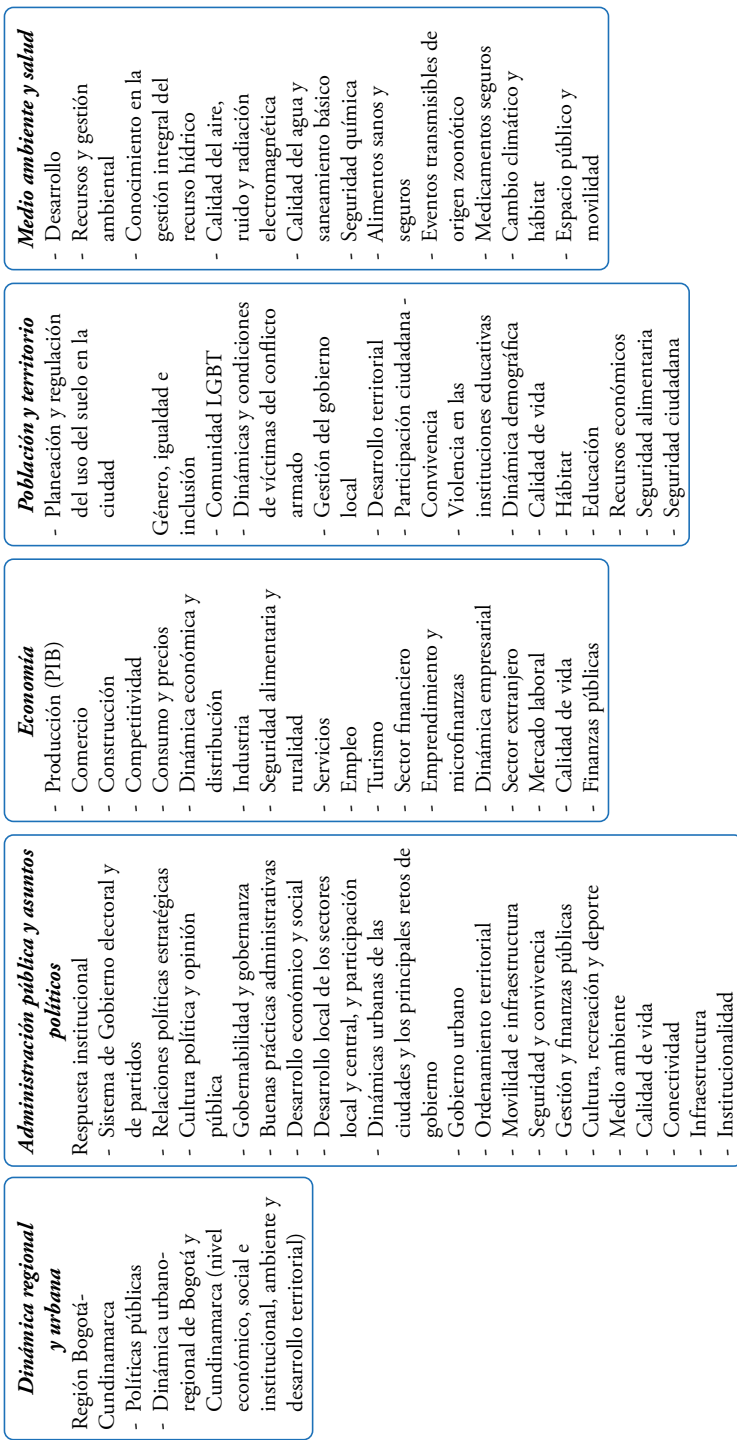


DIAGRAMA 1. Clasificación de los observatorios de Bogotá. Ámbitos de trabajo

Fuente: sistematización de los autores.

Los observatorios de la ciudad y la región incluyen cinco ámbitos de acción: dinámica regional y urbana; medio ambiente y salud; economía; población y territorio; administración pública y asuntos políticos. En cada uno de ellos se analizan problemáticas particulares en el orden descrito en el siguiente gráfico (diagrama 2).



DIAGRAMA 2. Ámbitos de acción y líneas de trabajo de los observatorios de Bogotá

Fuente: sistematización de los autores.

A continuación, cada uno de los observatorios examinados se clasifica según el ámbito de acción, institución responsable, año de creación, propósito principal, líneas de trabajo y productos (tabla 1).

TABLA 1. Observatorios vigentes sobre Bogotá y la región según ámbito de acción, propósito principal, línea de trabajo y productos. Observatorios vigentes en 2017

ÁMBITO DE ACCIÓN	No. ORDEN	NOMBRE	INSTITUCIÓN RESPONSABLE	AÑO CREACIÓN	PROPÓSITO PRINCIPAL	LÍNEAS DE TRABAJO	PRODUCTOS
Dinámica regional y urbana	1	Observatorio de Dinámica Urbana y Regional (ODUR)	Centro de Pensamiento en Estrategias Comunitivas (CEPEC) de la Universidad del Rosario y la Secretaría Distrital de Planeación	N.D.	Generar información y conocimiento, informar, optimizar y monitorear	Región Bogotá-Cundinamarca, políticas públicas, dinámica urbano-regional de Bogotá y Cundinamarca a nivel económico, social, institucional y ambiente territorial, desarrollo territorial	Indicadores y estructuras de agregación
	2	Observatorio Ambiental de Bogotá (OAB)	Secretaría Distrital de Ambiente	2011	Evaluación y seguimiento del Plan de Acción Cuatrigenal Ambiental del Distrito Capital (PACA), de las metas ambientales del Plan de Desarrollo y los retos ambientales del Plan de Ordenamiento Territorial (POT)	Desarrollo, recursos y gestión ambiental	Boletines electrónicos, indicadores e índices
Medio ambiente y salud	3	Observatorio Regional Ambiental y Desarrollo Sostenible del Río Bogotá (ORARBO)	Consejo Estratégico de la Cuenca Hidrográfica del Río Bogotá	N.D.	Contribuir al cumplimiento de la Sentencia del Consejo de Estado en relación con la recuperación de la cuenca hidrográfica del Río Bogotá (CHRB), promover la adopción de las Buenas Prácticas de Gestión Ambiental (BPGA) en los diferentes sectores que abarcan el río	Conocimiento en la gestión integral del recurso hídrico	Boletines e indicadores

ÁMBITO DE ACCIÓN	Nº. ORDEN	NOMBRE	INSTITUCIÓN RESPONSABLE	AÑO CREACIÓN	PROPÓSITO PRINCIPAL	LÍNEAS DE TRABAJO	PRODUCTOS
Economía	4	Observatorio del Sector Salud (oss)	Secretaría Distrital de Salud	2016	Contribuir con el cumplimiento de la política distrital de salud ambiental	Gestión de la salud ambiental, calidad del aire, ruido, radiación electromagnética, calidad del agua, saneamiento básico, seguridad química, alimentos sanos y seguros, enfermedades de transmisión zoonótica, medicamentos seguros, cambio climático y hábitat, espacio público y movilidad	N.D.
	5	Observatorio de Desarrollo Económico (ODE)	Secretaría de Desarrollo Económico	2012	Democratizar información, generar datos, concimiento y reflexión y consolidar información estadística	Comercio al por menor, Comercio Exterior, Construcción, Competitividad, Consumo y Precios, Dinámica Económica y Distribución, Emprendimiento y Micro-finanzas, Industria, Seguridad Alimentaria y Ruralidad, Servicios, y Trabajo Decente y Digno	Boletines, notas editoriales, cuadernos, folios, libros y otros medios de difusión
	6	Observatorio de Turismo (OT)	Instituto Distrital de Turismo	N.D.	Implementar, desarrollar, administrar y aportar al Sistema de Información Turística de Bogotá	Investigación de viajeros, perfil y grado de satisfacción del turista en Bogotá, mediciones en eventos de ciudad, perfiles de mercados y estudios de oferta turística	Boletines y estudios

ÁMBITO DE ACCIÓN	No. ORDEN	NOMBRE	INSTITUCIÓN RESPONSABLE	AÑO CREACIÓN	PROPÓSITO PRINCIPAL	LÍNEAS DE TRABAJO	PRODUCTOS
Población y territorio	7	Observatorio de Dinámicas del Territorio (ODT)	Secretaría Distrital de Planeación	2006	Recopilar, organizar, administrar, producir y analizar información	Planeación y regulación del uso del suelo en la ciudad, aspectos económicos, sociales, demográficos, ambientales, territoriales y de competitividad	Boletines
	8	Observatorio de Mujeres y Equidad de Género de Bogotá (OMEG)	Secretaría Distrital de la Mujer	2015	Realiza seguimiento, estudia y monitorea las relaciones políticas de la Administración Distrital	Situación, posición o condiciones de las mujeres que habitan en el Distrito Capital Contexto socio-demográfico, paz y convivencia con equidad de género, vida libre de violencias, participación y representación con equidad, trabajo en condiciones de igualdad y dignidad, salud plena, educación con equidad, cultura libre de sexismos, hábitat y vivienda digna, y bienestar y calidad de vida, dinámica poblacional, el envejecimiento de la población, la mortalidad, los desplazamientos, tamaño y composición de los hogares	Indicadores

ÁMBITO DE ACCIÓN	No. ORDEN	NOMBRE	INSTITUCIÓN RESPONSABLE	AÑO CREACIÓN	PROPÓSITO PRINCIPAL	LÍNEAS DE TRABAJO	PRODUCTOS
	9	Observatorio de la Política Pública LGBT (OPP LGBTI)	Secretaría de Planeación	2014	Soportar y retroalimentar la implementación, seguimiento y evaluación de la Política Pública LGBTI	Ejecución de la Política Pública LGBT	Boletines, estudios e investigaciones
	10	Observatorio Distrital para las Víctimas del Conflicto Armado (OD-VCA)	Alta Consejería para los Derechos de las Víctimas, la Paz y la Reconciliación	2012	Fortalecer el Sistema Distrital de Atención y Reparación Integral a las Víctimas	Dinámicas y condiciones relacionadas con las víctimas del conflicto armado en la ciudad, sus familias y entornos, derechos de las víctimas, la dinámica del conflicto armado, la reconciliación y construcción de paz	Boletines, investigaciones y documentos de trabajo
	11	Observatorio Local de Empatía (OLE)	Secretaría de Gobierno de Bogotá	N.D.	Desarrollar estudios e investigaciones que tengan como referente la información de la base predial y las demás relacionadas con la misión de Catastro	Condiciones sociales urbanas, desarrollo económico y gestión del gobierno local, desarrollo territorial, participación ciudadana, y seguridad, convivencia y paz	Investigaciones
	12	Observatorio de Convivencia Escolar	Secretarías Distritales de Gobierno, Educación, Salud, Integración Social, Cultura Recreación y Deporte	2010	Dirigir, coordinar, ejecutar programas; monitorear, analizar, reflexionar, incentivar y encaminar la investigación	Situaciones de violencia escolar en las Instituciones Educativas Públicas y Privadas del Distrito Capital	Encuesta de Clima Escolar y Victimización e índices

ÁMBITO DE ACCIÓN	No. ORDEN	NOMBRE	INSTITUCIÓN RESPONSABLE	AÑO CREACIÓN	PROPÓSITO PRINCIPAL	LÍNEAS DE TRABAJO	PRODUCTOS
	13	Observatorio Poblacional Diferencial de Bogotá (OPD)	Secretaría Distrital de Planeación	2016		Temas poblacionales solicitados por la administración	
	14	Observatorio Javeriano de Juventud (OJJ)	Pontificia Universidad Javeriana y el Instituto de Estudios Sociales y Culturales PENSAR	N.D.	Informar	N.D.	Boletines virtuales, publicaciones, libros y documentos
Administración pública y asuntos políticos	15	Observatorio Técnico Catastral (OTC)	Unidad administrativa Especial de Catastro Distrital de la Secretaría de Hacienda Distrital	2012	Gestión, asesoramientos, apoyo y generación de información	Información catastral	N.D.
	16	Observatorio de Asuntos Políticos (OAP)	Secretaría Distrital de Gobierno	N.D.	Realiza seguimiento, estudia y monitorea las relaciones políticas de la Administración Distrital	Respuesta Institucional, Sistema de Gobierno, Electoral y de Partidos; Relaciones Políticas Estratégicas; y Cultura Política y Opinión Pública; gobernabilidad y gobernanza	N.D.

ÁMBITO DE ACCIÓN	No. ORDEN	NOMBRE	INSTITUCIÓN RESPONSABLE	AÑO CREACIÓN	PROPÓSITO PRINCIPAL	LÍNEAS DE TRABAJO	PRODUCTOS
	17	Observatorio Sectorial de la Transparencia (OST)	Secretaría de Gobierno de la Alcaldía mayor de Bogotá	N.D.	Gestionar del conocimiento, promover la reflexión, medición y generación de información	Buenas prácticas administrativas	N.D.
	18	Observatorio de Gestión Pública Local y Participación (OGDLP)	Secretaría Distrital de Gobierno	N.D.	Generar información, analizar e informar	Desarrollo local de los sectores local y central y Participación	Boletines, índices, análisis e investigaciones
	19	Observatorio de Gobierno Urbano (OGU)	Estudios Urbanos de la Universidad Nacional de Colombia	N.D.	Participar, analizar y contribuir en la generación de información	Dinámicas urbanas de las ciudades y los principales retos de gobierno, Gobierno urbano, Ordenamiento territorial y Hábitat, Desarrollo económico y social, Movilidad e infraestructura, Seguridad y convivencia, Gestión y finanzas públicas, Cultura, recreación y deporte, Medio ambiente, Educación y ciudadanía, y Salud	Programa radial, boletines de prensa y debates

Fuente: Sistematización de los autores.

5. Conclusiones y líneas de trabajo futuras

En la exploración realizada se encontraron observatorios acerca de asuntos poblacionales manejados casi todos por oficinas del Distrito, cada uno de ellos dedicados a asuntos específicos: problemas de género, comunidad LGTBI, poblaciones desplazadas por conflicto armado, situación de la población en determinadas localidades de la ciudad, convivencia escolar, población diferencial —familia, habitantes de calle y población que presenta discapacidad— y juventud —este último a cargo de una universidad privada—. Es evidente que los observatorios vigentes trabajan problemas particulares de poblaciones específicas de forma aislada, y que no existe un observatorio que integre las diferentes dimensiones de la población; en ninguna de estas experiencias se maneja el enfoque poblacional integrado al desarrollo sostenible.

Considerando los temas cubiertos por los observatorios vigentes sobre la ciudad y la región, se propone consolidar un observatorio integral sobre asuntos de la población orientado por enfoques como el de desarrollo sostenible. Considerando que el enfoque de la planeación y el desarrollo urbano sostenible incluyen la calidad de vida de la población como uno de los objetivos prioritarios (ONU, 2016), se propone que el nuevo observatorio sobre la ciudad y la región sistematice, analice y difunda información que contribuya al desarrollo económico y social inclusivo de la ciudad estable en el tiempo.

Con base en el acopio de estadísticas sociales ya disponibles, se propone construir y actualizar periódicamente indicadores trazadores referidos a las etapas vitales de la población para dimensiones como: dinámica demográfica, educación, salud, mortalidad, discapacidad, pobreza, trabajo, acceso a la seguridad social y violencia. El país y la ciudad cuentan con estadísticas sociales que ya han sido utilizadas como fuente de información para construir indicadores trazadores referidos a las etapas vitales de la población, y que aún pueden serlo para nuevos análisis; encuestas de la ciudad que tienen representatividad por localidades, tales como: la Encuesta Multipropósito de Bogotá y la Encuesta Bienal de Cultura y otras grandes encuestas sociodemográficas, así como registros sistemáticos de representatividad nacional, e incluso los censos de población y las proyecciones de población derivadas. Con base en estas fuentes de información, y adoptando los enfoques propuestos, el nuevo observatorio sobre asuntos de la población puede producir y difundir

información actualizada sobre el Distrito Capital y sus localidades, y, en la medida de la disponibilidad de información, se pueden incluir el área metropolitana y el conjunto de la región Bogotá. Todos estos datos pueden ser útiles para monitorear el cumplimiento de los ODS, en la medida en que el nuevo observatorio contribuya al desarrollo de los sistemas de recolección y disseminación de la información pertinente.

El observatorio sobre asuntos poblacionales propuesto podría ofrecer información para consolidar las líneas de base que requieren las políticas públicas sociales del Distrito Capital y las políticas sociales que involucran a los municipios de la región. Información para la planeación y focalización de las acciones de política pública, así como para el monitoreo, el seguimiento y la evaluación del impacto y efecto de las estrategias sobre las condiciones de vida de la población.

La academia, el sector privado, las comunidades y grupos específicos de usuarios pueden encontrar la información actualizada sobre problemas concretos de la población, según sus necesidades y demandas. Incluso, en el sitio web del observatorio se podrían crear módulos interactivos para que un usuario produzca sus propias tablas y gráficas. El observatorio propuesto puede ser reconocido como centro de reporte y divulgación de las estadísticas sociales oficiales que se producen acerca de los asuntos de la población de la ciudad. De igual modo, el nuevo observatorio puede reunir la información producida por el sector privado y, junto con las demás fuentes mencionadas, realizar metaanálisis sobre distintas temáticas; este tipo de estudios puede ser objeto de publicaciones periódicas.

6. Referencias

- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2017). *Encuesta Bienal de Culturas*. Recuperado de <http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/es/cultura-ciudadana/observatorio-de-culturas/encuesta-bienal-de-culturas>
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2017). *Localidades de Bogotá definen sus planes de desarrollo para los próximos 4 años*. Recuperado de <http://www.bogota.gov.co/articulo/temas-de-ciudad/planeacion/localidades/localidades-de-bogota-definen-sus-planes-de-desarrollo-para-los-proximos-4-anos>
- Alta Consejería para los Derechos de las Víctimas, la Paz y la Reconciliación de la Secretaría General (2017). *Observatorio Distrital de Víctimas del*

- Conflicto Armado*. Recuperado de <http://www.victimasmogota.gov.co/observatorio/index.html>
- América Economía y Cámara de Comercio de Bogotá (2015). Anexos. Evolución en el cierre de brechas competitivas de Bogotá en el contexto de América Latina 2012-2014. Bogotá.
- América Economía y Cámara de Comercio de Bogotá (2015). Evolución en el cierre de brechas de competitividad de Bogotá en el contexto de América Latina. Bogotá.
- América Economía (2014). *Las mejores ciudades para hacer negocios en América Latina*. Recuperado de <http://rankings.americaeconomia.com/mejores-ciudades-para-hacer-negocios-2014/metodologia/>
- Angulo, R.; Díaz, Y.; Pardo, R. (2011). Índice de pobreza multidimensional para Colombia (IPM-Colombia): 1997-2010. *Archivos de Economía, Documento 382*.
- CAF - Banco de Desarrollo de América Latina (2013). *Qué es movilidad urbana*. Recuperado de <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2013/08/que-es-movilidad-urbana/?parent=14062>
- Cámara de Comercio de Bogotá. (2010). *Mejores ciudades para hacer negocios en América Latina 2010. Posicionamiento competitivo de la región Bogotá - Cundinamarca*. Bogotá: Cámara de Comercio de Bogotá.
- Cámara de Comercio de Bogotá. (2011). *Mejores ciudades para hacer negocios en América Latina 2011. Posicionamiento competitivo de la región Bogotá - Cundinamarca*. Bogotá: Cámara de Comercio de Bogotá.
- Cámara de Comercio de Bogotá. (2017). *Gobernanza*. Recuperado de <http://www.ccb.org.co/Preguntas-frecuentes/Investigaciones-Bogota-Region-Seguridad-Ciudadana/Gobernanza>
- Cámara de Comercio de Bogotá (2017). *Innovación*. Recuperado de <http://www.ccb.org.co/Transformar-Bogota/Competitividad/Innovacion>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (s. f.). *Escalafón de la competitividad de los departamentos en Colombia*. Recuperado de <http://www.cepal.org/es/escalafon-de-la-competitividad-de-los-departamentos-en-colombia>
- Consejo Estratégico de la Cuenca Hidrográfica del Río Bogotá (CECH). (2017). *Orarbo - Observatorio Regional Ambiental y de Desarrollo Sostenible del Río Bogotá*. Recuperado de <http://www.orarbo.gov.co/es/inicio>
- Consejo Privado de Competitividad. (2013). *Índice Departamental de Competitividad 2013*. Bogotá: Zelta Comunicadores.

- Consejo Privado de Competitividad. (2016). *Índice de Competitividad 2016*. Bogotá: Zelta Comunicadores.
- Contraloría General de la República (2017). *Evaluación de Desempeño*. Recuperado de <http://www.contraloria.gov.co/contraloria/talento-humano/evaluacion-del-desempeno>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2017). *Información histórica Encuesta de Cultura Política*. Recuperado de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cultura/cultura-politica/informacion-historica-encuesta-de-cultura-politica>
- DANE. (s. f.). *Dirección de metodología y de producción estadística*. Recuperado de diciembre de 2015, de http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/fichas/ficha_NBI.pdf
- Decreto 548 de 2016, *Por medio del cual se fusionan y reorganizan los Observatorios Distritales con fundamento en las facultades extraordinarias otorgadas al Alcalde Mayor de Bogotá por el artículo 118 del Acuerdo 645 de 2016, y se dictan otras disposiciones*. Recuperado de <http://www.bogotajuridica.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=6765>
- Departamento Nacional de Planeación. (2016). *Hay que diseñar ciudades no solo inteligentes sino equitativas, amables y felices: DNP*. Recuperado de <https://www.dnp.gov.co/Paginas/Hay-que-dise%C3%B1ar-ciudades-no-solo-inteligentes-sino-equitativas,-amables-y-felices-DNP.aspx>
- Instituto de Estudios Urbanos. (2017). *Observatorio de Gobierno Urbano*. Recuperado de <http://www.institutodeestudiosurbanos.info/observatorio-de-gobierno-urbano/presentacion>
- Instituto de Estudios Urbanos de la Universidad Nacional de Colombia. (2017). *Observatorios locales*. Recuperado de www.institutodeestudiosurbanos.info/observatorios-locales
- Instituto Distrital de Comercio. (2017). *Observatorio de Turismo*. Recuperado de <http://bogotaturismo.gov.co/Observatorio%20de%20Turismo>
- Observatorio Ambiental de Bogotá. (2017). *Información general Chapinero*. Recuperado de <http://oab.ambientebogota.gov.co/es/el-observatorio-y-las-localidades/informacion-general-chapinero>
- Observatorio de Impacto Social y Económico de la Localidad de Chapinero, Universidad Piloto de Colombia (2009). *Cartilla del Observatorio OISEL*. Recuperado de http://institutodeestudiosurbanos.info/dmdocuments/cendocieu/3_Extension/043_2011_OISEL/Documentos/Cartilla_OISEL.pdf

- Observatorio de la Dinámica Urbano Regional (2015). *Documentos de investigación y análisis*. Bogotá: Panamericana Formas e Impresos S.A.
- Observatorio Javeriano de Juventud. (2017). *Boletines del Observatorio Javeriano de Juventud*. Recuperado de http://puj-portal.javeriana.edu.co/portal/page/portal/vice_academica/plt_viceaca_estudiantesobservatorio/Bolet%EDN%20del%20Observatorio%20Javeriano%20de%20Juventud
- Observatorio Local de Tunjuelito (2017). Recuperado de <http://www.tunjuelito.ultrabyte.co/>
- Organización de Naciones Unidas (ONU). (2016). *Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Una oportunidad para América Latina y Caribe*. Santiago de Chile: ONU.
- Ramírez, J.; De Aduas, J. (2015). *Escalafón de la competitividad de los departamental en Colombia*. Bogotá: Cepal.
- Ramírez, J.; Osorio, H.; Parra, R. (2007). *Escalafón de competitividad de los departamentos en Colombia*. Bogotá: Cepal Bogotá.
- Resolución 2095 de 2015, Secretaría Distrital de Salud de Bogotá- Fondo Financiero Distrital de Salud.
- Secretaría de Desarrollo Económico de Bogotá. (2017). *Observatorio de Desarrollo Económico*. Recuperado de <http://observatorio.desarrolloeconomico.gov.co/portal/>
- Secretaría Distrital de Gobierno. (2017). *Observatorio Local de Engativá*. Recuperado de <http://www.observatoriolocaldeengativa.info/>
- Secretaría de Planeación, Instituto Distrital de Participación y Acción Comunal. (Idpac). (2013). *Lo esencial del Plan de Ordenamiento Territorial*. Bogotá.
- Secretaría Distrital de Gobierno. (2017). *Observatorio de Asuntos Políticos. Dirección de Seguimiento y Análisis Estratégico - DSAE*. Recuperado de <http://www.gobiernobogota.gov.co/content/observatorio-asuntos-politicos>
- Secretaría Distrital de Gobierno. (2017). *Observatorio de Gestión Pública Local y Participación*. Recuperado de <http://www.gobiernobogota.gov.co/observatorio>
- Secretaría Distrital de Gobierno. (2017). *Observatorio Distrital de la Transparencia*. Recuperado de <http://www.gobiernobogota.gov.co/content/observatorio-sectorial-la-transparencia>
- Secretaría Distrital de la Mujer. (2017). *Observatorio de Mujeres y Equidad de Género de Bogotá*. Recuperado de <http://omeg.sd mujer.gov.co/OMEG/>
- Secretaría Distrital de Movilidad. (2017). *SIMUR*. Recuperado de <http://www.movilidadbogota.gov.co/web/simur>

- Secretaría Distrital de Planeación. (2017). *Nueva herramienta para generar información socioeconómica de Bogotá y la región*. Recuperado de http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalsDP/Noticias2015/Nueva_herramienta_para_generar_informacion_socioeconomica_de
- Secretaría Distrital de Planeación. (2017). *Observatorio Dinámicas del Territorio*. Recuperado de <http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalsDP/InformacionTomaDecisiones/Estadisticas/ObservatorioDinamicasTerritorio/2014>
- Secretaría Distrital de Planeación de Bogotá. (2014). *Índice de gobernabilidad para las localidades de Bogotá*. Recuperado de http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/InformacionTomaDecisiones/Estadisticas/Bogot%E1%20Ciudad%20de%20Estad%EDsticas/2014/Indice_gobernabilidad_para_localidades_Bogota_UV.pdf
- Secretaría Distrital de Planeación de Bogotá. (2015). *Región metropolitana de Bogotá: una visión de la ocupación del suelo*. Recuperado de www.sdp.gov.co: http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalsDP/actualidad-SDP-home/REGION-digital.pdf
- Secretaría Distrital de Planeación de Bogotá. (2015). *Índice de gobernabilidad para las localidades de Bogotá, 2015, Actualización de resultados*. Recuperado de http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalsDP/InformacionTomaDecisiones/Estadisticas/Bogot%E1%20Ciudad%20de%20Estad%EDsticas/2017/83-1GOB_localidades_Bogot_2015.pdf
- Secretaría Distrital de Planeación de Bogotá. (2016). *Plan de Distrital de Desarrollo “Bogotá Mejor para Todos” 2016 - 2020*. Bogotá: Multi-impresos S. A. S.
- SIMUR (2017). *Qué es SIMUR*. Recuperado de <http://www.simur.gov.co/quienes-somos>
- Sistema Nacional de Competitividad, Ciencia, Tecnología e Innovación. (2016). Recuperado de <http://www.colombiacompetitiva.gov.co/sneci/Paginas/indicadores-nacionales-icd.aspx>
- Tuirán Castro, S. (2016). <https://dnp.gov.co>. Recuperado de https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/_layouts/15/WopiFrame.aspx?sourcedoc=/CDT/Vivienda%20Agua%20y%20Desarrollo%20Urbano/jica/Seminario%20de%20SmartCities/8_Sirly%20Castro%20-%20Observatorio%20Sistema%20de%20Ciudades.pdf&action=default
- Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital. (2017). *Observatorio Técnico Catastral (OTC)*. Recuperado de <https://www.catastrobogota.gov.co/es/observatorio-tecnico-catastral-otc>

CAPÍTULO V

Eficiencia relativa y posicionamiento estratégico de las empresas de elaboración de productos lácteos en Colombia

SINDY VIVIANA GIRALDO ARCILA¹

1. Introducción

El desarrollo sostenible «es un elemento esencial de la competitividad. La cadena láctea es sustentable si funciona como modelo de organización económica y social, basada en una visión de desarrollo participativo y equitativo» (Contexto ganadero, 2017), para el mejoramiento de la eficiencia, la productividad y la competitividad, en contribución a los once pilares para la sostenibilidad del sector lácteo. La finalidad de la presente investigación fue evaluar la eficiencia relativa de 37 empresas del sector de productos alimenticios, subsector CIU D1530, que corresponde a la elaboración de productos lácteos, a través de la metodología Análisis Envolverte de Datos (DEA, por sus siglas en inglés), con variables de los

¹ <https://orcid.org/0000-0002-4097-9351>. Universidad Libre de Colombia, seccional Pereira. Colombia. sindyv.giraldoa@unilibre.edu.co

estados financieros obtenidos de la plataforma del Sistema de Información y Reporte Empresarial (SIREM) de la Superintendencia de Sociedades de Colombia², y un diagnóstico de posicionamiento estratégico realizado por medio de la Matriz de Factores Internos y Externos (MIE). Por lo anterior, este estudio contribuye a sentar las bases para el desarrollo de estrategias de gestión en cuanto al diseño de alianzas entre empresas orientadas por los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), a través del mejoramiento de los indicadores de formalidad laboral, como trabajo decente y crecimiento económico, la propensión al cuidado del clima y la buena práctica de los modelos de gestión, producción y consumo responsable (Conpes, 2018), que servirían como experiencias significativas para otras organizaciones.

2. Desarrollo económico de las organizaciones

Las empresas en el desarrollo de sus actividades económicas contribuyen a la responsabilidad social empresarial, al cumplimiento de uno de los ODS: industria, innovación e infraestructura, el cual busca «construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación» (Chavarro *et al.*, 2017). Esto, bajo la pretensión de generar proyectos exitosos en función de la expansión, crecimiento, sostenibilidad y competitividad teniendo presente «la innovación tecnológica como acto frecuentemente repetido para aplicar cambios técnicos nuevos a la empresa» (Urquiola Sánchez, Zulueta Torres y Llano Rodríguez, 2017), que permitirían a través de la tecnificación, un mayor nivel de ingresos, mejor rentabilidad por un menor costo; independiente de requerir una mayor inversión de capital financiero y humano (Zarta Ávila, 2018). Lograr este objetivo implica para las organizaciones ser productivas, lo cual puede verse condicionado por factores como la «globalización, la competencia, los desequilibrios en el comercio internacional, el capital humano, los avances tecnológicos, etc.» (Delfín Pozos y Acosta Márquez, 2016).

2 Entidades vigiladas en el periodo, según los decretos 4350 de 2006 y 2300 de 2008; controladas según el artículo 85 de la Ley 222 de 1995 y una muestra de sociedades inspeccionadas, determinado en el artículo 83 de la Ley 222 de 1995.

De igual forma, se considera que la productividad del capital invertido mejora cuando aumenta la rentabilidad (Salas Fumas, 2005) «que se logra a través de la consecución de la máxima calidad en los procesos de fabricación de productos y en toda la dimensión a la que se enfrenta la empresa» (Delfín Pozos y Acosta Márquez, 2016), con los actores internos, como colaboradores, y accionistas, y actores externos, como clientes, proveedores, distribuidores, el Gobierno y competidores. De otro modo, es importante generar valor agregado en los resultados financieros, el crecimiento, la gestión de procesos y la transparencia, puesto que este incide en la sustentabilidad a través del tiempo de las organizaciones, mejorando la calidad de vida de los empleados y sus familias, como de la comunidad local y la sociedad en general, al ser conscientes los empresarios que no solo se trata de aumentar el valor de la empresa económicamente sino de la concientización de los efectos que las operaciones pueden ocasionar dentro y fuera de la compañía (Pérez Espinoza, Espinoza Carrión y Peralta Mocha, 2016).

El presente estudio tuvo como objetivo analizar la eficiencia financiera de algunas empresas dedicadas a la elaboración de productos lácteos, mediante el modelo de DEA, para revisar, a través de la metodología de rendimientos a escala constante y variable, las empresas que se encuentran en la frontera eficiente como modelo a seguir para otras, de acuerdo con el comportamiento relativo. A continuación, se presenta el desarrollo del estudio.

3. Análisis envolvente de datos

El Análisis Envolvente de Datos (DEA) determina la eficiencia de unidades con múltiples modelos enfocados en diferentes mediciones a variables específicas de entrada y salida (*inputs - outputs*), mediante aproximaciones no paramétricas, que facilita la realización de distintos diagnósticos y análisis, teniendo en cuenta los excesos y la escasez del valor de las variables para orientar el mejoramiento en función del nivel de eficiencia de la unidades de toma de decisiones denominadas *Decision Making Units* (DMU) (Buitrago Suescún, Palacio León, Britto Agudelo y Adarme Jaimes, 2016). Así se determina la DMU que puede ser el modelo de otra, aplicado en la formulación total de salidas (*outputs*) / total de entradas (*inputs*), de la programación lineal del DEA que

mide la eficiencia relativa de las unidades de la operación de toma de decisiones, con los mismos objetivos y recursos (Sánchez Gooding y Rodríguez Lozano, 2016).

La eficiencia relativa surge al tener en cuenta múltiples entradas y salidas, con el fin de comparar diferentes unidades de decisión, donde cada DMU corresponde a las organizaciones objeto de estudio para las cuales se adopta un conjunto de pesos para cada entrada y salida favorable respecto a las otras unidades. «De tal manera que, si se propone maximizar la eficiencia de una unidad organizacional específica, es partiendo del hecho de que la eficiencia de todas las unidades estudiadas sea menor o igual que 1» (Rodríguez Lozano y Sarmiento Muñoz, 2017), lo que conforma una frontera eficiente, definida como:

La cantidad máxima del producto que una determinada firma puede producir a partir de un conjunto dado de insumos x , donde el límite superior del conjunto de posibilidades de producción y la mejor selección de la combinación de insumo-producto localizado sobre la frontera de producción se considera la más eficiente a diferencia de aquella unidad que se sitúa por debajo de la frontera. (Galicia Palacios, Flores Ortega y Coria Páez, 2015)

Lo anterior permite identificar las unidades ineficientes y prolongar un amplio estudio y un correctivo al respecto. Algunos modelos reconocidos son el CCR y BCC. El primero, propuesto por Charnes, Cooper y Rhodes, consiste en retorno a escala constante, lo que permite comparar una unidad DMU con otra de diferente tamaño (Sarmiento, Mutis, Cepeda y Pérez, 2018), con el fin de poner en evidencia la eficiencia por medio de distintas variables de entrada y salida, calculada mediante la «maximización del radio de la suma ponderada de las salidas sobre la suma ponderada de las entradas para todas las unidades» (Carrillo Zambrano y Gómez Aguilar, 2017). El segundo fue desarrollado por Banker, Charnes y Cooper en 1989, orientado a los *outputs* con retorno a escala variable, y tiene como objetivo maximizar el nivel de *outputs* de las DMU, manteniendo constante el nivel de *inputs* observados (Marrero Ancízar y Ortiz Torres, 2016).

El modelo DEA ha sido empleado para medir la eficiencia relativa de las entidades financieras y prestadoras de salud desde una perspectiva de rentabilidad y productividad, la eficiencia del sector educativo, enfocado

en educación superior (Buitrago Suescún, Espitia Cubillos y Lisbeth, 2016), la predicción de la eficiencia técnica en empresas transportadoras y exportadoras por la metodología DEA y de redes neuronales (Fontalvo, De La Hoz y De La Hoz, 2018).

Para la presente investigación, en el aplicativo de DEA se aplicó los modelos CCR y BBC, orientado a los *inputs*, el cual refiere que a un «dado nivel de salidas (*outputs*), busca la máxima reducción proporcional en el vector de entradas (*inputs*) mientras permanece en la frontera de posibilidades de producción» (Villarreal y Tohmé, 2017). De acuerdo con lo anterior, se tomaron como unidades de decisión (DMU) las empresas dedicadas a la elaboración de productos lácteos que registran en los estados financieros del Sistema de Reporte Empresarial (Sirem) de la Superintendencia de Sociedades, con todas las variables de entrada y salida sin saldos en cero con el fin de la mejorar la confiabilidad de la información para procesar los datos en el simulador de eficiencia. Las variables, *inputs* y *outputs*, seleccionadas a partir de una evaluación econométrica fueron las siguientes:

- *Inputs*: disponible, deudores corto plazo, obligaciones financieras corto plazo, proveedores corto plazo y capital social.
- *Outputs*: ingresos operacionales, gastos operacionales de administración, gastos operacionales de ventas, ingresos no operacionales y efectivo generado en la operación.

En la decisión de elegir una cantidad significativa de variables *inputs* y *outputs* se tuvo en cuenta la regla recomendada por Cooper, Seiford y Tone (2000), que especifica que las variables de entrada y salida no deben ser superiores a las DMU, a partir de la siguiente fórmula (Hipólito, Pumisacho y Alvarado Ramírez, 2018):

$$\text{Número de DMU} > = \text{Max} \{m*s, 3(m+s)\}$$

Donde: m= número de *inputs* y s= número de *outputs* en el análisis.

La medición de eficiencia en el modelo DEA corresponde a la división de las salidas sobre las entradas. Para la aplicación de este método, se tuvieron en cuenta 37 DMU, a través del BCC-*input* (Banker, Charnes y Cooper), un modelo con retorno a escala variable.

A continuación, se presentan los resultados por cada método, de acuerdo con la codificación de los indicadores enunciados a continuación:

Código	Cuenta
A	<i>Score</i>
B	Disponible
C	Deudores
D	Obligaciones financieras
E	Proveedores
F	Capital social
G	Ingresos operacionales
H	Gastos operacionales
I	Gastos operacionales
J	Ingresos no operacionales
K	Efectivo generado

La tabla 1 hace referencia a las empresas que son eficientes de acuerdo con la medida de eficiencia técnica con *score* entre 0 y 1, donde el último es eficiente; valores inferiores demuestran que, para poder ser eficientes, es necesario que aumenten o disminuyan los recursos financieros utilizados según las variables de entrada y salida tenidas en cuenta en el modelo. Como resultado, se tiene que once empresas son eficientes según ambos modelos aplicados; siete empresas no tienen excesos y escasez en el modelo como mejora en las variables, pues su comportamiento se encuentra en un punto de dispersión fuera de la frontera eficiente, donde el resultado está dado como máxima operación de optimización, y trece empresas que dentro de la clasificación *score* son eficientes, pero que aún pueden mejorar la disponibilidad de recursos financieros ya que «el valor de 1 significa que ya no existe la posibilidad de reducir las cantidades de *inputs* empleados, y por lo tanto, la producción se considera eficiente» (Córdova y Alberto, 2018).

TABLA 1. Análisis de eficiencia CCR-input vs. BCC-input

DMU	EXCESO (EXCESS) (VALORES EN MILES DE PESOS)						ESCASEZ (SHORTAGE) (VALORES EN MILES DE PESOS)															
	A		B		C		D		E		F		G		H		I		J		K	
	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC
1	I	I	-	-	-	41,43	-	31,56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	I	I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	I	0,39	-	-	-	-	123,58	34,21	-	189,13	190,51	-	-	14,478	-	6,45,40	717,89	25,41	15,24	203,49	157,26	-
4	I	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	0,56	0,52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	I	I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	I	I	31,28	35,92	-	-	-	-	55,62	52,73	-	-	167,69	102,21	107,62	4,14	-	21,30	-	-	-	-
8	I	I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	0,49	0,48	-	-	-	-	317,42	267,65	-	-	-	-	-	43,420	372,52	125,06	157,30	-	-	609,72	584,73	-
10	I	I	137,97	103,18	-	-	-	-	-	228,28	249,48	3,230,75	2,313,21	-	-	-	-	145,64	150,18	336,17	274,71	-
11	0,64	0,63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	0,96	0,84	-	-	-	-	507,14	422,54	-	446,37	481,54	2,256,65	1,948,08	-	-	-	-	136,62	24,76	2,330,47	2,196,36	-
13	I	I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	0,48	0,46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	I	I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	I	I	-	-	-	-	-	-	-	9,89	94,19	44,00	-	-	-	392,28	465,61	75,48	63,03	632,32	672,67	-
17	I	I	-	-	-	-	120,21	75,49	-	41,64	-	-	-	170,98	26,95	330,21	463,48	-	-	435,61	136,46	-
18	0,64	0,64	2,55	-	-	-	-	34,73	-	-	-	-	-	-	-	188,45	175,56	73,66	68,39	135,71	152,84	-
19	0,53	0,44	95,71	94,16	-	-	486,85	428,23	-	236,55	238,27	-	-	113,93	23,51	1,508,77	1,525,36	266,08	252,05	641,62	609,26	-

DMU	RANK		EXCESO (EXCESS) (VALORES EN MILES DE PESOS)												ESCASEZ (SHORTAGE) (VALORES EN MILES DE PESOS)																				
	A		B			C			D			E			F			G			H			I			J			K					
	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC					
20	0,37	0,34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
21	0,82	0,79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
22	I	I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
23	I	I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
24	I	I	-	-	-	-	-	-	-	71,53	91,49	-	-	-	-	-	166,37	94,10	-	-	-	-	-	-	36,03	13,95	-	-	-	-	-				
25	I	I	149,57	130,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	382,85	364,20	-	-	-	-	-	-	-	-	515,55	508,63	1.172,71	1.177,95	312,18	319,04	1.479,28	1.484,69			
26	0,61	0,59	-	-	-	-	-	-	-	1,536,41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
27	0,46	0,45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
28	I	0,36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
29	I	I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
30	I	I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
31	I	I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
32	I	I	-	36,19	-	158,87	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	47,05	-	90,73	-	170,63	-		
33	I	0,94	80,10	84,68	26,34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
34	I	0,81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	0,50	0,47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36	I	I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37	I	I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: elaboración propia a partir de la aplicación del *software* de Análisis Envolvente de Datos (DEA).

En consecuencia, la buena gestión financiera que lograron estas empresas radica en el buen desempeño del ejercicio de planificación, organización, dirección y control en las actividades económicas que generan flujos de efectivo, «a partir de la toma de decisiones financieras de corto plazo con el objetivo de lograr la estabilidad en el riesgo/rentabilidad» (Hernández de Alba Álvarez, Espinosa Chongo y Salazar Pérez, 2014).

Por lo tanto, las organizaciones que presentaron un *score* inferior a 1 deben mejorar no solo su gestión financiera, sino los principios requeridos en las organizaciones, como el fortalecimiento de la cultura y clima organizacional, las alianzas estratégicas, el mejoramiento de prácticas de recursos humanos, la potencialización de la marca e imagen de la empresa, la optimización de la cadena de abastecimiento, la capacitación del recurso humano a mediano plazo, innovar en la distribución y desarrollo continuo de nuevos productos, desarrollar nuevas segmentaciones de mercado, estructurar el presupuesto anual, implementar programas de TIC y planificar e innovar en procesos productivos (Fernández, Montes y Vásquez, 1997).

Esto es en particular importante por las barreras de entrada que se sumergen en las economías de escala y las circunstancias cruciales que se presentan a diario en las compañías; variaciones y toma de decisiones que impactan en el posicionamiento del mercado, exigiendo mayor investigación e innovación en los modelos de negocios (IMN) que son re combinaciones de ideas, conceptos y modelos previamente existentes, basados en crear un nuevo modelo de negocio, transferir un modelo de negocio existente a otro, combinar dos o más modelos para generar uno nuevo e innovador y potenciar el modelo existente a otra nueva área de la industria (Mejía Trejo y Sánchez Gutiérrez, 2015).

Por consiguiente, en la investigación se consideró necesario evaluar las empresas eficientes como modelo a seguir para las que aún necesitan mejorar sus indicadores de acuerdo con los resultados obtenidos en el DEA por los modelos BCC y CCR, en cuanto a la relación de la información obtenida del *score* en los cruces de las empresas, como se muestra a continuación:

TABLA 2. Empresas ejemplo de seguimiento validado a través de los modelos BCC-CCR (*input*)

DMU	2	4	7	10	15	16	17	23	24	25	29	30	31	32	36	37	33
3	CCR		CCR					CCR						CCR			
5		BCC CCR	BCC CCR	BCC CCR								BCC CCR					
9			BCC CCR	BCC CCR								BCC CCR	BCC CCR	BCC CCR			
11		BCC CCR	BCC CCR	BCC								BCC CCR		BCC CCR	BCC CCR		
12		BCC	BCC CCR	BCC CCR								BCC CCR	CCR		BCC	BCC CCR	BCC
14	BCC CCR		BCC CCR					BCC CCR							BCC	BCC CCR	
18		BCC CCR		BCC	BCC CCR	BCC					BCC CCR			BCC CCR			
19			BCC	BCC	BCC			CCR		BCC CCR				BCC CCR	BCC CCR		
20		BCC CCR	BCC CCR	BCC CCR				BCC CCR								BCC	BCC
21			BCC CCR	BCC								BCC CCR					
26		BCC CCR	BCC CCR	BCC	BCC CCR	BCC CCR	BCC CCR				BCC CCR			CCR			
27		BCC	BCC CCR			BCC CCR						BCC CCR					
28		CCR			CCR		CCR		CCR		CCR						
33		CCR		CCR	CCR			CCR			CCR						
34							CCR							CCR			
35		CCR		BCC CCR	BCC CCR							BCC CCR		BCC CCR			

Fuente: elaboración propia a partir del *software* DEA Solver.

Las compañías que más impacto presentaron como modelo a seguir de otras empresas por su manejo financiero y operacional fueron la 23, como modelo a seguir de tres empresas, fue la 3, 19 y 33, a través de la metodología CCR; mediante la metodología BCC, la organización 10 fue modelo a seguir de las empresas 11, 18, 19, 21 y 2; por último, la 7 fue ejemplo a seguir de nueve empresas por ambas metodologías, BCC y CCR: las compañías 5, 9, 11, 12, 14, 20, 21, 26 y 27.

Lo anterior permite definir estrategias comparativas de mejoramiento de acuerdo con la escala de las empresas, con la ayuda del posicionamiento estratégico obtenido para cada empresa a partir de la Matriz Interna-Externa (MIE).

4. Evaluación de factores internos y externos

La Evaluación de Factores Internos (EFI) y la Evaluación de Factores Externos (EFE) se realizan a través de una matriz diseñada para la toma de decisiones, basada en información generada por información interna y externa, donde se resumen y evalúan las debilidades y fortalezas en aspectos financieros y de mercado. Está matriz posiciona la organización dentro de un cuadro de nueve celdas, y está basada en dos dimensiones claves: los totales de la Matriz de Evaluación de Factores Internos (MEFI), los cuales se presentan en el eje X, y los totales de la Matriz de Evaluación de Factores Externos (MEFE), en el eje Y.

La matriz se divide en tres espacios, que plantean implicaciones estratégicas: «Crecer y construir», mediante estrategias intensivas y de integración; la primera, enfocada en la penetración y desarrollo del mercado, y la segunda, en la integración hacia adelante y hacia atrás. Así mismo, se encuentra el cuadrante de posicionamiento estratégico de «conservar y mantener», que incluye penetración en el mercado y desarrollo del producto, y, por último, «cosechar o enajenar», lo cual implica la desinversión y el atrincheramiento. Las empresas exitosas son aquellas capaces de lograr una posición en el cuadrante I (Limas Suárez, 2018), esto argumentado en el propósito inherente que tienen las organizaciones de crecer, con el fin de «obtener un beneficio que les permita ser sostenibles, crear una imagen corporativa positiva, implementar el bienestar institucional y garantizar su permanencia y consolidación en el ámbito empresarial; la Responsabilidad Social

Empresarial puede contribuir con este propósito» (Aguilera Castro y Puerto Becerra, 2012).

Con el fin de cumplir los propósitos de la investigación, se efectuó la evaluación de factores externos a partir de los indicadores de endeudamiento, rentabilidad, liquidez y operacionales, de acuerdo con los indicadores calculados por la Superintendencia de Sociedades para cada una de las empresas objeto de estudio. Se analizó el comportamiento del sector para determinar los factores más importantes que se debe tener presentes a la hora de tomar decisiones dentro de las compañías, puesto que los factores externos, como variables microeconómicas y macroeconómicas, afectan de manera simultánea el desarrollo y comportamiento del mercado, interfiriendo con la gestión en efectos de operación, la producción por oferta y demanda, las decisiones financieras por la inflación, costos, escasez, infraestructura y competencia, entre otros factores. Como resultado, surge un mercado en condiciones fluctuantes y desafiantes para los empresarios.

Es así como se determinó que para el subsector lácteo existen algunos factores cuantitativos de índole económica, que impactan directamente en la administración, como son la inflación, las tasas de interés de los créditos, el Índice de Precios al Consumidor (IPC), las importaciones, las exportaciones y la tasa de cambio.

En la matriz *EFI* fue asignando un peso equitativo que corresponda a la sumatoria del 100 %, por lo cual cada clasificación asumió un valor inicial de 25 %; seguidamente, para cada clasificación, se requiere dividir el 100 % en el número de indicadores que componen la clasificación (endeudamiento, rentabilidad, liquidez y operacional), como se presenta a continuación:

TABLA 3. Pesos relativos indicadores financieros

ENDEUDAMIENTO	PESO	RENTABILIDAD	PESO	LIQUIDEZ	PESO	OPERACIONAL	PESO
Apalancamiento (veces)	16,70 %	Margen Bruto	16,70 %	Capital de trabajo neto (millones \$)	20,00 %	EVA	33,30 %
Concentración del pasivo en el corto plazo	16,70 %	Margen Neto	16,70 %	Capital de trabajo neto operativo (millones \$)	20,00%	PDC	33,30 %
Endeudamiento con el sector financiero	16,70 %	Margen operacional	16,70 %	Razón corriente (veces)	20,00 %	Variación en ventas vs. variación en ventas del sector	33,30 %
Concentración endeudamiento financiero	16,70 %	Retorno operacional sobre los activos (ROA)	16,70 %	EBITDA (millones \$)	20,00 %		
Razón de endeudamiento	16,70 %	Retorno sobre el patrimonio (ROE)	16,70 %	Prueba ácida (veces)	20,00 %		
Endeudamiento corto plazo con proveedores	16,70 %	Margen no operacional	16,70 %				

Fuente: elaboración propia.

Así mismo, se crearon los criterios de medición para asignación de calificación entre 1 y 4, en la cual 1 es debilidad mayor, 2 debilidad menor, 3 fortaleza menor y 4 fortaleza mayor, a partir de la comparación de los resultados de los indicadores comparado con el sector.

En cuanto a los indicadores externos, los criterios de calificación por variable se determinaron con el promedio anual de cada una de las variables y la desviación de los resultados por variable para todos los años; a fin de establecer por cada variable de EFE los rangos sigma como Límite de Efectividad Superior (LES), que es la media más una desviación (1 sigma), y el Límite de Efectividad Inferior (LEI), que se refiere a la media menos una desviación (-1 sigma), típica de las distribuciones de probabilidad, que, de acuerdo con el número de repeticiones que se sume o se reste la desviación a la media, se determina -2 sigma o 2 sigma en caso de ser dos veces (Gómez, 2004).

A continuación, se presentan los resultados de posicionamiento estratégico de las empresas, obtenido al aplicar la matriz interna y externa, lo que muestra la necesidad de crecer o edificar, y mantener o conservar en la mayoría de los casos

TABLA 4. Resultados modelo matriz BCG

EMPRESA	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4
1	Crecer o edificar	Crecer o edificar	Crecer o edificar	Crecer o edificar
2	Mantener y conservar	Mantener y conservar	Mantener y conservar	Mantener y conservar
3	Mantener y conservar	Mantener y conservar	Mantener y conservar	Mantener y conservar
4	Crecer o edificar	Crecer o edificar	Crecer o edificar	Crecer o edificar
5	Crecer o edificar	Mantener y conservar	Crecer o edificar	Crecer o edificar
6	Crecer o edificar	Crecer o edificar	Crecer o edificar	Crecer o edificar
7	Mantener y conservar	Mantener y conservar	Mantener y conservar	Mantener y conservar
8	Crecer o edificar	Crecer o edificar	Crecer o edificar	Crecer o edificar

EMPRESA	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4
9	Crecer o edificar	Crecer o edificar	Crecer o edificar	Crecer o edificar
10	Cosechar o desechar	Mantener y conservar	Mantener y conservar	Mantener y conservar
11	*	Crecer o edificar	Crecer o edificar	Crecer o edificar
12	Mantener y conservar	Mantener y conservar	Crecer o edificar	Mantener y conservar
13	Crecer o edificar	Crecer o edificar	Crecer o edificar	Mantener y conservar
14	Mantener y conservar	Mantener y conservar	Mantener y conservar	*
15	Crecer o edificar	Crecer o edificar	Crecer o edificar	Crecer o edificar
16	Mantener y conservar	Mantener y conservar	Mantener y conservar	Mantener y conservar
17	Crecer o edificar	Crecer o edificar	Crecer o edificar	Crecer o edificar
18	Crecer o edificar	Crecer o edificar	Crecer o edificar	Crecer o edificar
19	Crecer o edificar	Mantener y conservar	Crecer o edificar	Crecer o edificar
20	Crecer o edificar	Crecer o edificar	Crecer o edificar	Crecer o edificar
21	Mantener y conservar	Mantener y conservar	Mantener y conservar	Mantener y conservar
22	Crecer o edificar	Crecer o edificar	Crecer o edificar	Crecer o edificar
23	Mantener y conservar	Mantener y conservar	Mantener y conservar	Mantener y conservar
24	Crecer o edificar	Crecer o edificar	Crecer o edificar	Mantener y conservar
25	Crecer o edificar	Crecer o edificar	Crecer o edificar	Crecer o edificar
26	Crecer o edificar	Mantener y conservar	Mantener y conservar	Mantener y conservar
27	Mantener y conservar	Mantener y conservar	Mantener y conservar	Mantener y conservar

EMPRESA	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4
28	Crecer o edificar	Crecer o edificar	Mantener y conservar	Crecer o edificar
29	Crecer o edificar	Crecer o edificar	Crecer o edificar	Crecer o edificar
30	Crecer o edificar	Crecer o edificar	Crecer o edificar	Mantener y conservar
31	Crecer o edificar	Mantener y conservar	Mantener y conservar	Mantener y conservar
32	Crecer o edificar	Crecer o edificar	Crecer o edificar	Crecer o edificar
33	Crecer o edificar	Crecer o edificar	Crecer o edificar	Mantener y conservar
34	Crecer o edificar	Crecer o edificar	Crecer o edificar	Crecer o edificar
35	Crecer o edificar	Crecer o edificar	Mantener y conservar	Mantener y conservar
36	Crecer o edificar	Mantener y conservar	Mantener y conservar	Mantener y conservar
37	Cosechar o desechar	Mantener y conservar	Mantener y conservar	Mantener y conservar

* No registra indicadores financieros en el periodo, según la página de la Superintendencia de Sociedades

Fuente: elaboración propia.

Para el primer año de evaluación de posicionamiento estratégico, veinticinco empresas se encontraban en el cuadrante de crecer o edificar. En el segundo periodo, la posición continuó, pero disminuyó el número de empresas, pasando a veintiún compañías. En el tercer año, la posición la ocupó veintidós empresas. Por último, en el cuarto año, se evaluaron dieciocho organizaciones en la misma posición de crecer o edificar, dieciocho empresas se encontraban en el cuadrante de mantener y conservar y 1 compañía no registró indicadores financieros en el periodo, según la página de la Superintendencia de Sociedades.

Con estos resultados y el *ranking* de eficiencia de las empresas modelo a seguir, se obtiene información importante para que el empresario tome decisiones de cambio, en busca de la competitividad y de conquistar nuevos mercados, con miras al mejoramiento continuo a través de las estrategias integradoras con empresas de mayor, igual o menor eficiencia.

A continuación, se presenta la caracterización de las estrategias:

TABLA 5. Estrategias para la creación de valor

REGIONES	ESTRATEGIAS		
Crecer o edificar Cuadrantes I, II y IV	Intensivas	Penetración de mercado	*Mercadotécnica*Aumento de vendedores*Incremento en publicidad, mayores gastos publicitarios*Oferta de artículos de promoción de venta*Aumento de canon*Ajuste del producto, precio, plaza y promoción de la empresa de acuerdo con los requerimientos del consumidor
		Desarrollo de mercado	*Introducción de productos o servicios en nuevas áreas geográficas*Internacionalización desde la perspectiva económica, de procesos y de teoría de redes
		Desarrollo de productos	*Investigación y desarrollo, incremento del gasto *Generación de catálogos *Segmentación de producto o servicio por especificaciones y características de clientes y/ zonas
	Integración	Integración hacia atrás, hacia adelante y horizontal	
Mantener y conservar Cuadrantes III, V y VII	*Penetración de mercado		
	*Desarrollo de productos		
Cosechar o desechar Cuadrantes VI, VIII y IX	Reducción	*Reagrupación de la empresa a través de la reducción de costos y activos *Automatización de procesos*Reducción del número de empleados *Implementación de sistemas de control de gastos	
	Desinversión	*Venta de una división o parte de la empresa	
	Liquidación	*Vender todos los activos de una empresa, en partes, por su valor tangible	

Fuente: Fred, 2003, Tabares Arroyave, 2012 y Delgadillo Moreira, 2011.

Promoviendo el mejoramiento continuo, la teoría de recursos y capacidades de Barney (Cardona, 2011) explica que las empresas que desarrollan su actividad en el mismo medio competitivo, y sujetas a los mismos factores de éxito en determinado sector económico, consiguen

niveles de rentabilidad diferentes, donde el análisis de los recursos y capacidades tiene como objetivo identificar el potencial de la empresa para instaurar ventajas competitivas por medio de la identificación de los recursos y las destrezas que los se tiene o podría tener acceso, concentrando su atención en el estudio de los recursos y capacidades que exhiben las empresas, así como en sus diferencias y en la importancia que esta situación tiene para declarar la evolución de sus resultados.

Entre las estrategias intensivas más adecuadas para el crecimiento y la competitividad se encuentra la penetración de mercado, que se basa en aumentar la participación de la empresa en este con sus productos actuales; es decir, mejorar la forma que se atraen nuevos clientes y estimular a los actuales para que compren más productos; por ejemplo, bajando precios o mejorando la atención al cliente. De otro lado, el desarrollo de mercado consiste en generar mejores condiciones en el comercio y crear la necesidad del producto que se piensa introducir, el lanzamiento de productos ya existentes mejorados y la innovación de nuevas líneas. Así mismo, existen estrategias integradoras, de integración vertical hacia adelante, vertical hacia atrás y horizontal.

Las estrategias de integración apuntan al mejoramiento de la competitividad en diferentes escalas. La tendencia actual corresponde, más allá de una integración, a una formación de aglomerados, cuyos beneficios son numerosos en el frente de la competitividad, debido a que incrementan la productividad de las empresas en un territorio determinado y manejan la dirección y el espacio de las innovaciones, lo que favorece la creación de nuevos negocios, los cuales expanden y fortalecen el clúster (García y Marquetti, s. f.).

5. Conclusiones

Las empresas evaluadas que se dedican a la elaboración de productos lácteos tienen la oportunidad de elegir, según los resultados de los modelos DEA y matriz MIE, el tipo de integración vertical que más les interese, de acuerdo con el nivel de eficiencia de las demás compañías y la estrategia a implementar.

Se hace evidente la necesidad de un alto control en el ingreso de productos lácteos al país, los precios de los insumos y la accesibilidad de entrada de los productos extranjeros al país generados por el

Gobierno con los tratados de libre comercio. También, se requiere un fortalecimiento de las empresas con ayudas a los pequeños productores, impulsando las alianzas estratégicas con estudios y capital humano capacitado para acompañar el proceso entre compañías dentro y fuera de las actividades propias del subsector, las cuales puedan llegar a beneficios comunes mediante la implementación de un clúster. Las consecuencias serán ventajas competitivas para el subsector, lo que contribuiría a los Objetivos de Desarrollo Sostenible en el país, como el de producción y consumo responsable que incide en la sostenibilidad y mejora de la tecnificación de procesos; lo que permitiría no solo mayores utilidades, sino también la disminución de la contaminación en el medio.

Es importante que el Estado y sus agentes publiquen todos los estudios realizados con el fin de aprobar proyectos y programas en función de apoyos sectoriales en sus diferentes campos, así como los realizados para evaluar la viabilidad de los tratados de libre comercio; esto, con el fin de que profesionales, investigadores y expertos analicen e identifiquen la objetividad, las bases sobre las cuales el Gobierno decidió convenientes y viables las diferentes negociaciones; lo que daría posibilidad a un voto popular de los ciudadanos para ejercer una vez más el derecho de participación ciudadana, ya que esto impacta bastante los diferentes sectores, por ende, también comerciantes, empresarios y demás.

Se considera importante realizar este estudio aplicado a los predios lecheros por zonas para proponer estrategias de asociatividad de acuerdo con la ubicación geográfica, con el fin de superar las dificultades actuales, por desconocimiento contable y financiero de mercado, puesto que al existir la competencia desleal, el rechazo a un valor de compra justo por litro de leche, el difícil acceso a la educación, tecnificación por las dificultades de acceso a recursos financieros, infraestructura, modernización y problemas en el sistema de distribución, y la inocuidad en condiciones sanitarias y fitosanitarias, que afectan el cumplimiento de los requisitos exigidos por las grandes empresas que realizan la transformación del producto base.

6. Referencias

Aguilera Castro, A.; Puerto Becerra, D. P. (2012). Crecimiento empresarial basado en la Responsabilidad Social. *Pensamiento y gestión*, (32), 1-26.

Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1657-62762012000100002

- Arroyave, T. (2012). Revisión analítica de los procesos de internacionalización de las PYMES. *Pensamiento y gestión*, (33), 67-92. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1657-62762012000200004
- Buitrago Suescún, O. Y.; Espitia Cubillos, A. A.; Molano García, L. (2016). Análisis envolvente de datos para la medición de la eficiencia en instituciones de educación superior: una revisión del estado del arte. *Científica general José María Córdova*, 15(19), 147-173. DOI: <http://dx.doi.org/10.21830/19006586.84>
- Buitrago Suescún, O.; Palacio León, O.; Britto Agudelo, R.; Adarme Jaimes, W. (2016). Propuesta metodológica para la selección de la configuración de centros de distribución inmóticos utilizando análisis envolvente de datos. *Ingeniare*, 24, 480-492. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/772/77246569012.pdf>
- Cardona, R. A. (2011). *Estrategia basada en recursos y capacidades*. Recuperado de <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/forum-doctoral/article/download/1754/1755/>
- Carrillo Zambrano, E.; Gómez Aguilar, Y. (2017). Medición de la eficiencia de hoteles: caso de estudio en Colombia. *Universidad Católica del Norte*, 143-155. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/1942/194252398010.pdf>
- Chavarro, D.; Vélez, M. I.; Tovar, G.; Montenegro, I.; Hernández, A.; Olaya, A. (2017). *Los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Colombia y el aporte de la ciencia, la tecnología y la innovación*. Recuperado de https://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/objetivos_de_desarrollo_sostenible_y_aporte_a_la_cti_v_3.5.pdf
- Consejo Nacional de Política Económica y Social (Conpes). (2018). *Conpes 3918*. Recuperado de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3918.pdf>
- Contexto ganadero. (2017). *Cómo lograr un desarrollo sostenible de la cadena láctea*. Recuperado de <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/como-lograr-un-desarrollo-sostenible-de-la-cadena-lactea>
- Cooper, W.W.; Seiford, L. M.; Tone, K (2000), *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and Dea-Solver Software*. Dordrecht, Kluwer Academic.
- Córdova, F.; Alberto, C. (2018). *Medición de la eficiencia en la industria de la construcción y su relación con el capital de trabajo*. Revista ingeniería

- de construcción, 33(1), 69-82. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732018000100069>
- Decreto 2300 de 2008 (25 de junio), *Por el cual se reglamenta el artículo 124 de la Ley 1116 de 2006, sobre la vigilancia de las sucursales de sociedades extranjeras y la aprobación del inventario del patrimonio social, y se dictan otras disposiciones*. Diario Oficial, núm. 47031.
- Delfín Pozos, F. L.; Acosta Márquez, M. P. (2016). Importancia y análisis del desarrollo empresarial. *Pensamiento y gestión*, (40), 184-202. DOI: <http://dx.doi.org/10.14482/pege.40.8810>
- Delgado Moreira, M. (2011). *Estrategias defensivas para generar poder de mercado*. *Perspectivas*(27), 73-90. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/4259/425941231005.pdf>
- Fenil. (s.f.). *Los 11 pilares para la sostenibilidad del sector lácteo*. Recuperado de <http://fenil.org/sostenibilidad-del-sector-lacteo/>
- Fernández, E.; Montes, J.; Vásquez, C. (1997). *La competitividad de la empresa. Un enfoque basado en la teoría de recursos*. Oviedo: Universidad de Oviedo.
- Fred, D. (2003). *Conceptos de administración estratégica*. Pearson. Recuperado de <https://maliaoceano.files.wordpress.com/2017/03/libro-fred-david-9a-edicion-con-estrategica-fred-david.pdf>
- Fontalvo, T.; De La Hoz, E.; De La Hoz, E. (2018). Método análisis envolvente de datos y redes neuronales en la evaluación y predicción de la eficiencia técnica de pequeñas empresas exportadoras. *Información Tecnológica*, 29(6): 267-276. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000600267>
- Galicia Palacios, A.; Flores Ortega, M.; Coria Páez, A. L. (2015). Fronteras de eficiencia en la producción de electricidad en México 1999-2009. *Análisis Económico*, (75), 113-138. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/413/41343702007.pdf>
- García, A. y Marquetti, H. (s. f.). *Cadenas, redes y clústeres productivos: aspectos teóricos*. Recuperado de http://www.nodo50.org/cubasigloxxi/economia/galvarez_300806.pdf
- Giraldo Velásquez, C. M.; Valderrama Castañeda, A. S.; Zapata Aguirre, S. (2015). Las infraestructuras aeroportuarias: tipo de propiedad y su relación con la eficiencia. *Ingenierías*, 14(27), 179-194. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v14n27/v14n27a12.pdf>
- Hernández de Alba Álvarez, N.; Espinosa Chongo, D.; Salazar Pérez, Y. (2014). La teoría de la gestión financiera operativa desde la perspectiva marxista.

- Economía y desarrollo*, 151(1): 161-173. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0252-85842014000100013
- Hipólito, V.; Pumisacho, Á.; Alvarado Ramírez, K. M. (2018). Evaluación de eficiencia y productividad de PyMEs productivas usando análisis envolvente de datos e índice Malmquist. *Espacios*, 39(33). Recuperado de <https://www.revistaespacios.com/a18v39n33/18393310.html>
- Marrero Ancízar, Y.; Ortiz Torres, M. (2016). Procedimiento para medir la eficiencia técnica de los negociadores comerciales mediante el análisis envolvente de datos (AED). *Economía y Desarrollo*, 157(2): 147-165. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0252-85842016000200011
- Mejía Trejo, J.; Sánchez Gutiérrez, J. (2015). Factores determinantes de la innovación del modelo de negocios en la creación de ventaja competitiva, *Recein*, 11(42): 105-128 Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/342/34235376004.pdf>
- Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2006). *Actualícese*. Recuperado de <http://actualicese.com/normatividad/2006/12/04/decreto-4350-de-04122006/>
- Moreira, D. (2011). Estrategias para generar poder de mercado. *Perspectivas*, 27, 73-90. Obtenido de Limas Suárez, S. J. (2018). El sector farmacéutico, eje de desarrollo estratégico. Una perspectiva desde el ámbito local. *Innovar*, 149-174. DOI: <https://doi.org/10.15446/innovar.v28n69.71733>
- Pérez Espinoza, M. J.; Espinoza Carrión, C.; Peralta Mocha, B. (2016). La responsabilidad social empresarial y su enfoque ambiental: una visión sostenible a futuro. *Universidad y sociedad*, 8. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202016000300023
- Rodríguez Lozano, G. I. y Sarmiento Muñoz, M. H. (2017). La eficiencia relativa del sector real versus la del sector financiero de la economía colombiana. *Apuntes del CENES*, 36(64), 111-138. DOI: <https://doi.org/10.19053/01203053.v36.n64.2017.5258>
- Sánchez Gooding, S. P.; Rodríguez Lozano, G. I. (2016). Indicadores de eficiencia relativa del proceso de gestión de crédito en un banco colombiano, mediante Análisis Envolvente de Datos (DEA). *Cuadernos de Contabilidad*, 17(43): 13-41. DOI: <http://dx.doi.org/10.11144/Javeriana.cci17-43.ierp>
- Sarmiento, M.; Mutis, H.; Cepeda, A.; Pérez, J. (2018). Impacto de las fusiones y adquisiciones en la eficiencia de la banca en Colombia. *Economía*

- Institucional*, 20(38): 157-183. DOI: <http://dx.doi.org/10.18601/01245996.v20n38.07>
- Softhome. (2006). *User's Guide to DEA-SOLVER-PRO (Professional version 7.0)*. Recuperado de http://ftp.softhome.com.tw/files/3/9381_j_2ab2ss1rs1rs7_h5.pdf
- Superintendencia de Sociedades. (s. f.). *Sistema de Información de Reporte Empresarial*. Recuperado de <http://sirem.supersociedades.gov.co/Sirem2/index.jsp>
- Tabares Arroyave, S. (2012). *Revisión analítica de los procesos de internacionalización de las PYMES. Pensamiento y gestión*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1657-62762012000200004
- Urquiola Sánchez, O.; Zulueta Torres, O. R.; Llano Rodríguez, R. (2017). La innovación para el desarrollo sostenible. Una experiencia en Cienfuegos, Cuba. *Universidad y Sociedad*, 9(1). Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202017000100015
- Villarreal, F.; Tohmé, F. (2017). Análisis envolvente de datos. Un caso de estudio para una universidad argentina. *Estudios Gerenciales*, 33, 302-308. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.estger.2017.06.004>
- Zarta Ávila, P. (2018). La sustentabilidad o sostenibilidad: un concepto poderoso para la humanidad. *Tabula Rasa*, 409-423. DOI: <https://doi.org/10.25058/20112742.n28.18>

CAPÍTULO VI

Cielos oscuros como patrimonio científico y cultural de la humanidad: una base para el desarrollo del turismo científico, responsable y sostenible en Colombia

CRISTIAN GÓEZ THERÁN¹
SANTIAGO VARGAS DOMÍNGUEZ²

1. Introducción

Colombia se caracteriza por una gran riqueza en cuanto a su diversidad biológica, que lo ubica como el segundo país con mayor biodiversidad del mundo. Esto denota un alto potencial en multitud de campos socioeconómicos y culturales que pueden fortalecer la economía de varias regiones y, en general, de todo el país.

1 <https://orcid.org/0000-0001-8640-2649>. Universidad Libre de Colombia. Olimpiadas Colombianas de Astronomía y Astrofísica - UAN. Colombia. cristian.goezt@unilibre.edu.co.

2 <https://orcid.org/0000-0002-5999-4842>. Observatorio Astronómico Nacional - Universidad Nacional de Colombia. Colombia. svargasd@unal.edu.co

Pero se ha preguntado usted en algún momento: ¿puede ser Colombia un referente Latinoamericano y mundial de un astroturismo ecológico y responsable que conlleve la sostenibilidad? ¿Puede Colombia usar la astronomía como un valioso recurso y una forma de ofrecer a los turistas experiencias nuevas, atractivas e interesantes para que visiten lugares que cumplan con las condiciones mínimas del astroturismo? ¿Se están protegiendo los cielos y los lugares astronómicos en Colombia que son potencialmente convenientes para el desarrollo del astroturismo responsable y sostenible?

En la actualidad el astroturismo es una actividad que ha mostrado un rápido crecimiento en diversas partes del mundo, trayendo consigo notables beneficios para las comunidades que la desarrollan. Concretamente, el astroturismo aprovecha múltiples recursos naturales y culturales en lugares libres de contaminación lumínica, e integra el conocimiento científico a la promoción de la protección de espacios con alto valor ecológico, creando un turismo sostenible y responsable con el medio ambiente. Colombia, a pesar de estar ubicada en la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), y de no contar con magníficas condiciones meteorológicas y cielos como los de Chile, Hawái y las Islas Canarias, va por un buen camino para seguir creciendo y ser reconocida como un lugar que, además de sus riquezas más célebres —café, esmeraldas, biodiversidad y selvas, entre otras—, también pueda ofrecer a los visitantes nacionales e internacionales zonas para el disfrute de la observación nocturna del firmamento. El desplazamiento y acceso a estos parajes se puede hacer a muy bajo costo —por vía terrestre— para que los visitantes se regocijen con noches despejadas en las que puedan apreciar fenómenos astronómicos como las llamadas «lluvias de estrellas» y eclipses, y observar cometas, galaxias, planetas y la Vía Láctea, casi imposibles de ver desde las ciudades.

Suena romántico, pero sin duda alguna, ¿a quién no le llama la atención visitar un lugar para apreciar el firmamento y todo lo que acontece en él? Se debe tener presente que el crecimiento del astroturismo, combinado con la divulgación científica de punta, viene fortaleciéndose rápidamente y le aporta a la sustentabilidad y sostenibilidad de los territorios y sus pobladores. Cuidar los lugares con capacidad de ofrecer estas alternativas le permite a la comunidad aumentar sus ingresos y, por ende, mejorar su calidad de vida.

Los principales inconvenientes radican en la poca inversión que se hace en Colombia en observatorios astronómicos turísticos y profesionales, así como en la falta de directivos y entes gubernamentales que entiendan la importancia de la astronomía y las ciencias del espacio para el desarrollo de las comunidades y del país. La escasa inclusión de políticas y normas aplicadas que dejan por fuera la conservación de varios lugares como posibles destinos astroturísticos es otra de nuestras falencias, que limitan un crecimiento necesario con el que se pueda valorar el cielo como patrimonio científico, cultural, medioambiental y económico de la humanidad, y que, a la vez, promuevan el potencial de este tipo de turismo sostenible y sustentable.

En este capítulo los autores desarrollan una investigación que aborda el astroturismo en el contexto colombiano, tema sobre el cual hasta el momento hay escasas referencias, con el propósito de visibilizar su potencial y consolidar estrategias para su adecuado fortalecimiento en nuestro país.

2. El boom del astroturismo

El concepto de *astroturismo* es relativamente nuevo, si lo comparamos con la actividad de observación del cielo, que desarrolla la astronomía desde hace milenios. La astronomía comienza a popularizarse en diversos ámbitos de la sociedad a finales del siglo XIX y principios del XX, cuando sale de los círculos más científicos y académicos para llegar a los ciudadanos del común atraídos por las maravillas del universo. Algunos detonantes fueron la publicación en 1880 del libro *Astronomía popular* por el reconocido astrónomo francés Camille Flammarion, que dio un impulso importante a miles de interesados en estos temas, y la apertura en 1926 del primer planetario en la ciudad de Jena (Alemania), fabricado por la empresa Carl Zeiss. Después de la Segunda Guerra Mundial se consolidó una multitud de asociaciones de astrónomos aficionados que después del alunizaje en 1969 serían la mejor vitrina para promover el interés por la astronomía y las ciencias del espacio entre los habitantes del planeta Tierra.

En la actualidad la astronomía se nutre de instrumentos cada vez más sofisticados, tanto para profesionales como para aficionados. Lugares como Chile, Hawái (Estados Unidos), Sudáfrica y las Islas Canarias

(España) se caracterizan por ser puntos del planeta propicios para la observación astronómica, y allí se encuentran algunos de los mejores y más grandes observatorios astronómicos del mundo, que generan cada año miles de visitas de curiosos que se maravillan con el universo.

Tomemos por ejemplo el caso de Chile, país donde, según el Servicio Nacional de Turismo (Sernatur), entre el 30 % y el 40 % de los mejores observatorios profesionales del mundo tiene su casa. Estos porcentajes siguen aumentando cada año gracias a la inversión de las grandes potencias, que se unen para poder disponer de los mejores «ojos» en el cielo. Se estima que pueden llegar al 70 % en los próximos diez años, con una inversión cercana a los 4500 millones de dólares; cifra que, aunque pueda parecer «astronómica», está orientada hacia la inversión en nuevos y más potentes observatorios, que atraerán a millones de curiosos del cielo, revirtiéndose en beneficios económicos para esa nación.

En Chile hay trece observatorios profesionales de alto impacto y trabajo científico, que tienen sus puertas abiertas al público en general; siete de ellos son universitarios y seis internacionales. Existen alrededor de 35 observatorios turísticos en el país: cinco son públicos, veintitrés pertenecen a entes privados y siete a organizaciones sin fines de lucro —nacieron hace casi dos décadas— (Sernatur, 2017). Si nos vamos al campo de alojamientos exclusivos para atender a la población con ganas de aprender e involucrarse en el mundo de la astronomía, existen veintiséis servicios de este tipo que les brindan a los visitantes y amantes del astroturismo todas las garantías para aprovechar al máximo su afición; es la región de Coquimbo la que más espacios de este tipo ofrece, y en donde se concentran los servicios de astroturismo en mayor proporción. Hemos tomado como ejemplo Chile, y específicamente la región de Coquimbo, por contar con sesenta servicios distintos de turismo, que incluyen visitas astronómicas nocturnas a los observatorios, observaciones astronómicas, recorridos a cielo abierto dirigidos por expertos y la posibilidad de alquilar equipos e instrumentos astronómicos.

3. Observación del cielo en Colombia

¿Se ha preguntado cuántos planetarios y observatorios hay en Colombia? En la actualidad, el país cuenta con seis planetarios ubicados en Bogotá,

Medellín, Barranquilla, Pereira y Bucaramanga, y más de veinticinco observatorios astronómicos a lo largo del territorio nacional. En cuanto a lugares que ofrecen el servicio de astroturismo ecológico y responsable, muchos sin duda señalarán al desierto de la Tatacoa, que en realidad es un bosque tropical seco a unos 500 m. s. n. m, con temperaturas que oscilan entre los 38 °C y los 40 °C, 60 % de humedad y una extensión de 330 km². También se destaca la zona de Villa de Leyva, en Boyacá, a unos 2150 m. s. n. m y con una humedad más alta (>70 %). Estos dos lugares acogen año tras año a través de sus festivales astronómicos —Star Party— a los apasionados por el firmamento, expertos o iniciados. Sin embargo, el crecimiento poblacional a lo largo del territorio y el uso de iluminación inadecuada que se extiende hacia el cielo y no al suelo hacen que conseguir un lugar para admirar las maravillas del cosmos sea cada vez más difícil.

Por nuestra ubicación geográfica no contamos con las condiciones ideales para la astronomía óptica.

La alta nubosidad, sumada a la elevada humedad y los vientos fuertes, no son buenos aliados para poder disfrutar del cielo (*Góez et al.*). Estas condiciones son producto de estar en la llamada ZCIT, con bajas presiones y confluencia de los vientos alisios del norte y el sur, situación adversa para Colombia y todos los países ubicados en latitudes similares para desarrollar astronomía de punta. Sin embargo, cuando en estos lugares las condiciones meteorológicas son un poco más favorables —durante los meses de enero, agosto, septiembre y diciembre—, nos deleitamos y sorprendemos de todo lo que se puede apreciar en sus cielos —galaxias, cúmulos, nebulosas, estrellas, lluvias de meteoros, la Vía Láctea y planetas, entre otros (imagen 1).

Consolidar a Colombia como un lugar propicio para el desarrollo del turismo, específicamente astronómico y ecológico, que genere ingresos a las comunidades aledañas a estas y otras zonas que ofrezcan el servicio sostenible y responsable, es una gran tarea. Este objetivo requiere comprometernos más con el cuidado de los cielos como patrimonio científico y cultural de la humanidad, tal como lo propende la Unesco (2017), que indica: «El cosmos ha cautivado la imaginación de las civilizaciones a lo largo de los siglos. El deseo de entender o interpretar lo que ven en el cielo a menudo se refleja en la arquitectura, los petroglifos, la planificación urbana y otras representaciones culturales». Estos «testimonios materiales» de observaciones astronómicas, que se

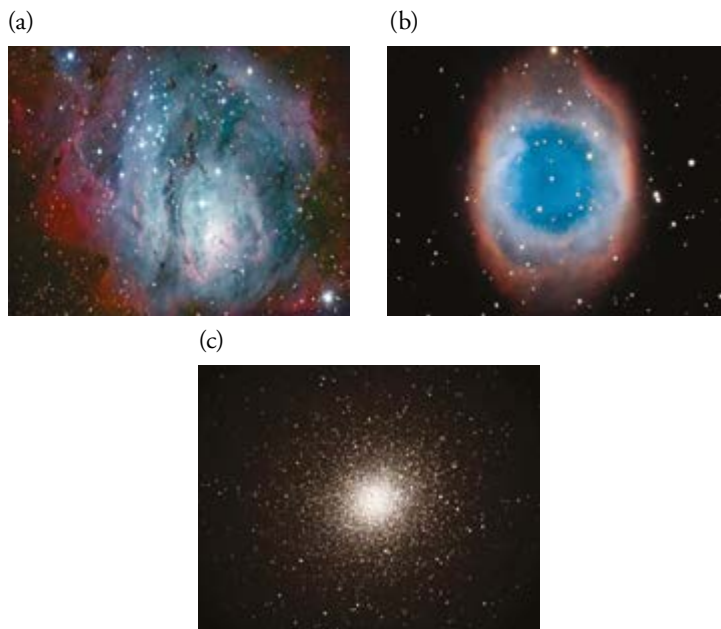


IMAGEN 1. Fotografías de objetos astronómicos: (a) nebulosa M8, (b) nebulosa de la Hélice y (c) cúmulo globular Omega Centauri.

Fuente: fotos tomadas por Andrés Molina, de la Universidad Nacional de Colombia (a y b), y por Javier Fernando Rúa, del Observatorio Astronómico Astrosur (c), desde la Tatacoa, en el Departamento del Huila (Colombia).

encuentran en todas las regiones geográficas, abarcan todos los periodos, desde la prehistoria hasta nuestros días. La Unesco y la Unión Astronómica Internacional (UAI) trabajan juntas para promover la colaboración en investigación y educación como parte de la iniciativa temática de la Unesco «Astronomía y Patrimonio Mundial», proyecto que ofrece la posibilidad de evaluar y reconocer la importancia del patrimonio astronómico en términos de enriquecimiento de la historia de la humanidad, la promoción de la diversidad cultural y el desarrollo del intercambio internacional (Unesco, 2007).

4. La contaminación lumínica nos hace perder las estrellas

Los grandes avances tecnológicos de la civilización contemporáneos, que han permitido el desarrollo de sofisticados telescopios, son, a su vez,

responsables del crecimiento de ciudades con una iluminación artificial incorrecta, que hace de la contaminación lumínica un serio problema que empieza a volverse preocupante. En 1992 la Unesco declaró el cielo nocturno Patrimonio Inmaterial de la Humanidad, pues a través de él podemos entender nuestro origen y destino (Unesco, 2007).

En 2010 se ratificó definitivamente este título y se aprobó la Declaración Mundial en Defensa del Cielo Nocturno y el Derecho a Observar las Estrellas, que establece que «el derecho a un cielo nocturno no contaminado debe considerarse como un derecho inalienable de la humanidad, equiparable al resto de los derechos ambientales, sociales y culturales» (Unesco, Unión Astronómica Internacional [IAU], 2007).

Esta situación va más allá de lo astronómico y científico, pues el desarrollo y expansión de las pequeñas y grandes ciudades conlleva un crecimiento desproporcional e incontrolado de la contaminación lumínica que estanca el potencial del astroturismo ecológico y sostenible como fuente de ingresos para las comunidades que habitan en los lugares que cumplen adecuados para ello. Pero ¿qué es la contaminación lumínica? ¿Cómo se clasifica? ¿Qué implicaciones tiene y cómo amenaza el desarrollo del turismo astronómico, ecológico sostenible y responsable? Las consecuencias e implicaciones de la contaminación lumínica, que nos roba el derecho a ver las estrellas, son también sociales, culturales y ambientales (NOAO, Observatorio Nacional de Astronomía Óptica, 2009).

A lo largo de los años, la contaminación lumínica ha crecido en el país, lo que ha generado una gran preocupación para diversos trabajos en ciencias ambientales, astronomía óptica y en debido a que genera interferencia y ruido. En ámbito global, se cuenta con el Observatorio Nacional de Astronomía Óptica (NOAO, por sus siglas en inglés), que tiene sede de investigaciones permanentes en Tucson, (Arizona, Estados Unidos), a través del observatorio Kitt Peak, y La Serena (Chile), en el observatorio de Cerro Tololo. Actualmente Hoy en día se vienen desarrollando actividades y proyectos que proponen fortalecer la conciencia ciudadana, la importancia y la enseñanza del estudio, y el cuidado de la calidad de los cielos como patrimonio científico y cultural de la humanidad. El cielo nocturno ha inspirado a las personas durante años, por lo que una de nuestras misiones es informar al público para que tome conciencia de ello y sepa qué hacer para corregir los problemas relacionados con la contaminación lumínica, que han venido creciendo años tras año, afectando negativamente no solo el trabajo astronómico,

sino la vida silvestre, la salud, el consumo energético y la seguridad (Unesco y IAU, 2007).

En Colombia, son muchos los grupos astronómicos y personas en el campo de la investigación, educación y divulgación que están trabajando en este tema y transmiten la importancia de mantener los cielos limpios de contaminación lumínica. Entre las actividades que estos grupos lideran, se encuentran el uso de *kits* y talleres para procurar solucionar esta problemática.

4.1. Clasificación de la contaminación lumínica

Los tipos de contaminación lumínica se adaptan a la clasificación sugerida por la International Dark Skies Awareness (IDA) en 2013 (Dark Skies, 2013). Se encuentran principalmente cuatro clases de contaminación lumínica, a saber: resplandor del cielo urbano, luz excedente, deslumbramiento y confusión. Para efectos de este capítulo, se definen estas clases como:

- a. Resplandor del cielo urbano (*urban sky glow*): es el brillo nocturno producido por la luz artificial emitida directamente por las luminarias; esto quiere decir que las fuentes artificiales proyectan luz hacia el cielo, ya que dirigen su flujo de radiación a la atmósfera, provocando así la disminución en la observación del cielo nocturno. Un ejemplo es el exceso de luz en las ciudades, en las vías y en diferentes tipos de instalaciones.
- b. Luz excedente (*light trespass*): aquella luz que cae directamente en zonas donde no se requiere o no es necesario disponer de un alumbrado, desperdiciando, además, gran cantidad de energía.
- c. Deslumbramiento (*glare*): aquel brillo que se observa en exceso debido a grandes cantidades de luminarias que provocan una molestia visual y a la vez son perjudiciales para la salud ocular, ya que disminuyen la visibilidad.
- d. Confusión (*clutter*): aquel brillo que, de una u otra manera, debido a grandes cantidades de luz —es decir, muchas luminarias—, genera un exceso de fuente de luz, provocando un resplandor en el cielo que excede los niveles lumínicos. Este tipo de contaminación se ve comúnmente en zonas urbanas que se encuentran sobreiluminadas.

4.2. Umbrales de contaminación lumínica

Los umbrales de contaminación lumínica, según los valores dados en unidades de mag/arcseg² equivalen a la magnitud aparente del flujo emitido por un arcosegundo cuadrado del objeto (Zamorano, 2011). Se considera un buen lugar para el astroturismo (por lo menos como destino turístico) aquel que cuente con condiciones mínimas de cielos despejados (50 %), brillo del cielo (>21 mag/arcseg²), nitidez del cielo (*seeing*) ($\leq 3''$), magnitud límite (mag 6), temperatura ideal, baja humedad y fácil acceso.

La unidad de mag/arcseg² es utilizada en astronomía para describir el brillo aparente de objetos astronómicos; se trata de una medida logarítmica, pues los grandes cambios en el brillo del cielo corresponden a cambios numéricos relativamente pequeños. Una diferencia de 1 magnitud se define como un factor de $10^{1/5}$ en la cantidad fotones recibidos.

4.3. Antecedentes internacionales sobre contaminación lumínica

Los datos que se presentan a continuación están basados en el estudio realizado por el grupo de observación de la Tierra (Earth Observation Group, EOG) y se pueden consultar en el sitio web *Light Pollution Map* (Stare, s. f.). Contar con un valor menor a 18 mag/arcseg² no es del todo descalificador (tabla 1), debido a que, en ocasiones, las condiciones de baja humedad y de noches despejadas lo pueden hacer ideal y básico para hacer un recorrido por el cielo estrellado, y si a ello se le suma la ausencia de luz reflejada de la Luna —fase de Luna nueva—, la combinación puede ser favorable para el astroturismo.

TABLA 1. Antecedentes internacionales de mediciones de la contaminación lumínica en jardines botánicos

NOMBRE DEL JARDÍN BOTÁNICO	UBICACIÓN	VALOR
Jardín des plantes	Museo Nacional Natural de Francia	< 19 mag/arcseg ²
Jardín Botánico José Celestino Mutis	Bogotá, Colombia	< 18 mag/arcseg ²
Real Jardín Botánico	Valencia, España	< 19 mag/arcseg ²
Jardín Botánico Faustino Miranda	Ciudad de México	< 19 mag/arcseg ²
Jardín Botánico Dr. Rafael Moscoso	República Dominicana	< 19 mag/arcseg ²

Fuente: adaptación de Light Pollution Map hecha por los autores.

En la tabla 1 se muestra la distribución de la contaminación lumínica en algunos jardines botánicos del mundo en los datos de la plataforma del Centro Nacional de Datos Geofísicos del Grupo de Observación de la Tierra (NOAA) (Stare, s. f.), como ejemplo de valores asignados a la contaminación lumínica en espacios naturales (NOAA, 2009).

4.4. Antecedentes de estudios sobre contaminación lumínica y calidad del cielo en Colombia

A continuación, se listan algunos de los principales y más recientes estudios realizados en Colombia asociados a investigaciones en astronomía y su relación con la contaminación lumínica.

- a. «Monitoreo de la calidad del cielo en el desierto de la Tatacoa para la obtención de la certificación Starlight como destino astroturístico» (Fontur-UNAL, 2018-2019).
- b. El artículo «Variaciones en el brillo del cielo durante un eclipse lunar», en la *Revista Iraní de Astronomía y Astrofísica* (2016). (Gómez y Vargas *et al.*, 2014)
- c. Estudio astrometereológico para el diagnóstico y emplazamiento de observatorios astronómicos ópticos en Colombia (Gómez, 2014).
- d. Identificación de lugares potenciales para observaciones astronómicas en el norte de Suramérica (Pinzón *et al.*, 2014).
- e. Evaluación del impacto de la contaminación lumínica en Bogotá (Aguilera, 2012).

Retomando el interés por el cuidado de los cielos y su preservación para las presentes y futuras generaciones, Colombia tiene el potencial para convertirse en una referencia mundial en astroturismo ecológico, sostenible y responsable, y que sus cielos y la preservación de estos como patrimonio de la humanidad sean una alternativa para el crecimiento del turismo. De igual forma, el astroturismo, además de promover el conocimiento y disfrute el cielo nocturno, es una vigorosa herramienta para mostrar las demás riquezas con la que cuenta el país, y que este pueda ser valorado como un lugar para el desarrollo del turismo a todas las dimensiones.

Lo anterior muestra la importancia de que comunidades, gobernantes, científicos, aficionados, operadores turísticos y personas del común sean conscientes de la «normativa» que existe en Colombia al momento de usar luminarias de forma inadecuada en sus actividades diarias, las cuales conllevan un consumo energético y económico desmedido”. Cuando se utiliza luz de manera excesiva, no se garantizan la seguridad, el desarrollo económico ni la calidad de vida. Tampoco hay efectos que se vean reflejados en beneficios a la movilidad y activación de zonas públicas o privadas de interés, ni su incidencia favorable en los componentes bióticos y abióticos; por el contrario, provoca derroche energético y elevados costos y perjuicios que conviene evitar. La intención no es dejar a las comunidades y espacios con iluminación deficiente durante la noche, sino generar una conciencia sobre la reducción de la contaminación lumínica que aporte a alcanzar un desarrollo sostenible; es decir, que contribuya a mejorar la calidad de vida y al uso eficiente de la iluminación ambiental adecuada, para disminuir los efectos directos sobre la flora y la fauna nocturnas, y mantener su equilibrio, robusteciendo de paso el astroturismo.

El consumo energético irracional que genera la contaminación lumínica tiene acción directa y consecuencias negativas en los ámbitos económico, ambiental y social (Urrego *et al.*, 2016), como el uso inadecuado de los recursos naturales y el sobreconsumo de combustibles fósiles, energía y otros recursos. En cuanto a lo social, una inadecuada y excesiva iluminación se convierte en un peligro para la movilidad, la salud humana y la seguridad. Es importante recalcar que en Colombia no hay una normatividad que regule el crecimiento de la contaminación lumínica (imagen 2), que constituye otro de los problemas ambientales provocados por el ser humano y que nos afecta a todos, sin olvidar su evidente impacto en las observaciones e investigaciones astronómicas.

Puede pensarse que la contaminación lumínica no resulta tan molesta o incómoda como la contaminación acústica o los olores desagradables. El exceso de luz es una forma de contaminación silenciosa que la sociedad tolera y a la que se acostumbra con relativa facilidad. Sin embargo, no debería ser así, porque ningún exceso debe ser aceptado si es innecesario y puede evitarse, como sucede en muchos casos con las intrusiones lumínicas (Algarra, 2007).

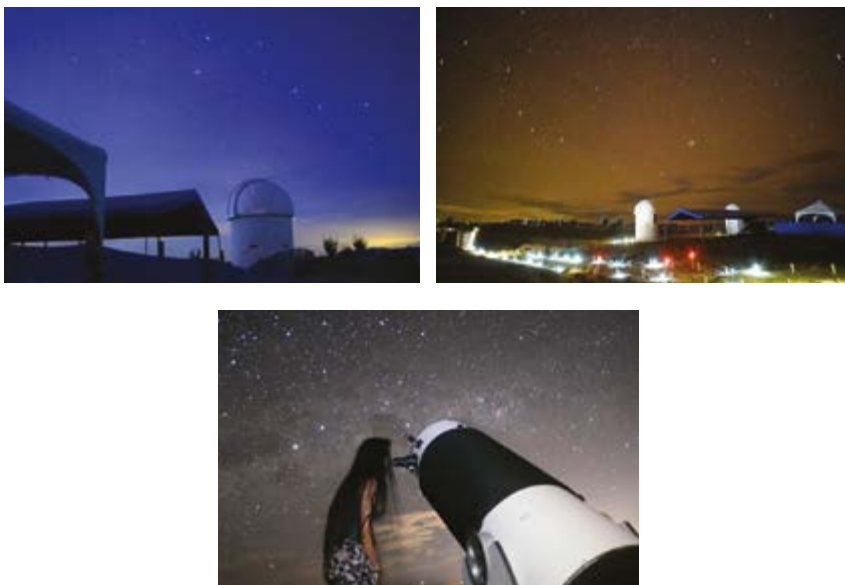


IMAGEN 2. Las fotos muestran vestigios de contaminación lumínica provenientes de municipios cercanos a la Tatacoa, en el departamento del Huila. Sin embargo, las condiciones se prestan para hacer observaciones astroturísticas, pues es uno de los lugares más reconocidos para realizar esta actividad en el país

Fuente: Javier Fernando Rúa. Astrosur Tatacoa.

Para efectos de este capítulo, cuyo tema principal es la contaminación lumínica y el astroturismo sostenible y responsable, con el fin de preservar las condiciones óptimas de observación del cielo y así mitigar su impacto negativo, es importante resaltar que su impacto sobre la biodiversidad y el medio ambiente, en los ritmos biológicos de las especies, y en la psicología y biología del ser humano (Góez *et al.*, 2014). Al reunir *estos tipos de contaminación* se destacan diferentes efectos negativos que con el tiempo logran disminuir los recursos naturales y la capa de ozono. Sumado a lo anterior, encontramos que la indiscriminada emisión de la luz artificial tanto en zonas rurales como dentro de los ecosistemas nocturnos es otro tipo de contaminación con consecuencias negativas a largo plazo, que perjudica principalmente a los seres humanos y genera problemas en la salud (Rabaza, 2010), como afectaciones en el ritmo circadiano.

Según Rabaza, la comunidad científica astronómica fue la primera afectada por la contaminación lumínica y que, por esta razón, propuso las regulaciones para reducir la contribución de fuentes de luz artificial

hacia el cielo nocturno. Los científicos han evaluado la contaminación lumínica de diversas maneras, por ejemplo, estudiando la relación entre la luz emitida por la ciudad y la población. La contaminación lumínica también amenaza la biodiversidad al modificar hábitos nocturnos, por ejemplo, la reproducción y la migración de insectos, anfibios, peces, aves, murciélagos y otros animales, y perturbar a las plantas mediante la distorsión natural de su ciclo nocturno (Hölker, 2010).

En la sociedad, el exceso de iluminación aumenta el gasto energético, los costos de los servicios de energía y los daños en el patrimonio cultural. Bogotá, y Colombia en general, no están exentas de estas implicaciones, pues las especies de flora y fauna también están expuestas a la contaminación lumínica que le ha robado la belleza a la noche sin una necesidad real (Jauregui, 2011). Se sabe que no hace falta iluminar el cielo para tener luz en nuestras calles. Las ciudades no son más seguras, más modernas ni más habitables por tener farolas que iluminan hacia arriba; pero ahí están, noche tras noche, «como gritando al sereno de la noche: las estrellas no tienen novio» (Jauregui, 2011).

El estudio de esta problemática es reciente, tanto así que en una reunión sobre contaminación lumínica realizada en Armagh (Irlanda del Norte) en septiembre de 2009, durante la celebración del Año Internacional de la Astronomía, se hizo una investigación en la cual se observó que no había ningún esfuerzo sistemático para obtener datos y vigilar el cielo nocturno de toda la isla de Irlanda, ni para establecer los valores del cielo oscuro y resplandor en relación con el nivel de fondo natural (Espery, 2014).

Colombia y el mundo deben tener presente que existen instituciones que velan por que los cielos sigan siendo ese patrimonio de la humanidad que tanto hemos mencionado. La organización International Dark-Sky (IDA) menciona entre sus objetivos promover la preservación y protección de los cielos nocturnos en todo el mundo, en lugar de cielos oscuros internacionales, y estas áreas incluyen comunidades, parques y reservas (imagen 3).

En cuanto a reservas internacionales certificadas de cielo oscuro, hace referencia a terrenos públicos y privados que poseen una calidad excepcional o distinguida de noches estrelladas, y un ambiente nocturno que está específicamente protegido por su misión científica, natural, educativa, cultural, de patrimonio y de disfrute público de una gran área periférica. Por ejemplo, los parques internacionales certificados de



IMAGEN 3. Estas fotos ponen en evidencia que la contaminación lumínica en algunos puntos de La Guajira, Antioquia y Huila, como resultado del uso inapropiado de luminarias

Fuente: Astrofotógrafos de Colombia.

cielo oscuro son, como su nombre lo indica, parques u otra tierra pública que posee cielos estrellados excepcionales y un hábitat nocturno natural donde se mitiga la contaminación lumínica. Por su valiosa oscuridad natural, estos espacios resaltan como importantes centros educativos naturales, culturales y paisajísticos, ricos en recursos naturales.

Se reconocen, además, como comunidades internacionales de cielos oscuros aquella ciudad, municipio u otra comunidad legalmente organizada que haya demostrado una dedicación excepcional para la preservación del cielo nocturno mediante la implementación y cumplimiento de códigos de iluminación de calidad, educación de cielo oscuro y ciudadanía.

Existe además la iniciativa Starlight, que promueve acciones internacionales en defensa de la calidad del cielo nocturno y la observación de las estrellas, reforzando el derecho a su disfrute y uso como recurso científico, cultural y ambiental, y como vector del desarrollo tecnológico en beneficio de la humanidad (imagen 4). Para ello se creó la Fundación Starlight, una organización sin fines de lucro, cuyo objetivo principal es

desarrollar programas y acciones para proporcionar una forma diferente de proteger y defender el cielo, y valorarlo como un recurso necesario para la vida y el patrimonio inmaterial de la humanidad (Starlight, 2007). Se utiliza un sistema de certificación para acreditar áreas con excelente calidad del cielo producto de la protección y conservación. Este sistema cuenta con el apoyo de la Unesco, la Organización Mundial del Turismo (OMT) y la Unión Astronómica Internacional (IAU). También existe la reserva Starlight, un área natural protegida donde se establece el compromiso de proteger la calidad del cielo nocturno y el acceso a la luz estelar.

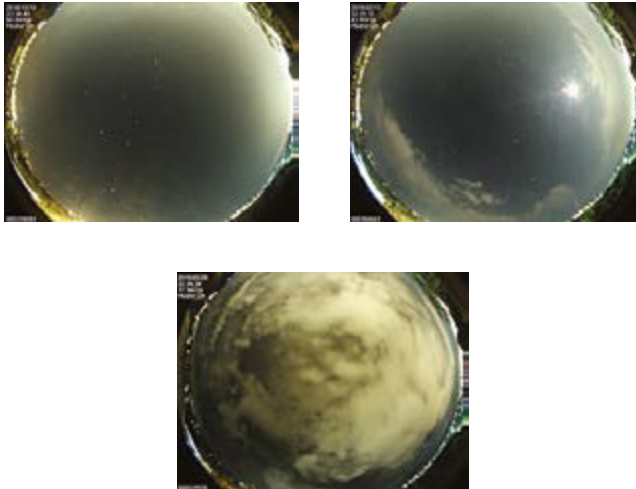


IMAGEN 4. Secuencia de fotografías del cielo que muestran una vista en formato ojo de pez (*All-Sky camera*) de la contaminación lumínica en diversas condiciones de observación (cielos despejados, Luna presente y nubosidad).

Fuente: Observatorio Astronómico de la Universidad Tecnológica de Pereira (Colombia).

En Colombia solo el bosque tropical seco de la Tatacoa ha sido monitoreado en las condiciones de la calidad del cielo; se realizaron mediciones durante las lunas nuevas de cada mes durante un año por parte de un equipo del Observatorio Astronómico Nacional de Colombia, y a finales de 2019 obtuvo la certificación Starlight como destino astroturístico (Góez y Pinzón, 2019) (imagen 5), el primer sitio en Colombia con este reconocimiento.



IMAGEN 5. Fotografías tomadas en la Tatacoa que muestran la contaminación lumínica en uno de los lugares de Colombia donde la comunidad recibe recursos del astroturismo ecológico, lo que aporta a la sostenibilidad y al cuidado de dicha zona como lugar especial para promover el astroturismo

Fuente: Javier Fernando Rúa, Astrosur Tatacoa.

Sabemos que pueden existir otros lugares de potencial interés en Colombia ubicados en los departamentos de Boyacá, La Guajira, Córdoba, Cauca, Risaralda, Norte de Santander y Sucre, que ampliarían la oferta de servicios a la comunidad local e internacional, y serían una fuente de ingreso y sustento para la comunidad a través del astroturismo responsable y sostenible.

4.5. Leyes de protección del cielo

Internacionalmente, la protección de los cielos como patrimonio científico y de la humanidad está liderada por la Ley de Cielo de Canarias (1988). A partir de esta, todas las provincias españolas crearon su propia normatividad, y este se convirtió en el primer país interesado en preservar el cielo nocturno.

En Latinoamérica, el primer país preocupado por la protección del cielo fue Chile, y lo demostró con la creación de la Norma de Emisión para la Regulación de la Contaminación Lumínica (1998). Italia, Estados Unidos, República Checa, Reino Unido, Islas Baleares (España),

Canadá, Córdoba y Rosario (Argentina), entre otros, también han hecho sus aportes a la legislación internacional sobre la protección de los cielos (Urrego *et al.*, 2016).

El 20 de abril de 2007 se firmó el acuerdo internacional de La Palma, Islas Canarias (España), donde se establecieron compromisos entre naciones para proteger el derecho a los cielos oscuros y su procurar la protección, y evitar la contaminación de los espacios declarados y de posible nombramiento como reserva de observación astronómica (iniciativa Starlight).

En Colombia, la Constitución Política de 1991 elevó a norma constitucional la consideración, manejo y conservación de los recursos naturales y el medio ambiente por medio de los artículos 8, 58, 63, 79, 80 y 95. También existen normas para proteger el cielo y evitar la contaminación lumínica —Ley 09 de 1979, Código Sanitario Nacional y Ley 99 de 1993, creación del SINA— y se han dictado disposiciones en materia ambiental, como: Ley 143 de 1994, por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional, se conceden unas autorizaciones y se dictan otras disposiciones en materia energética; Ley 697 de 2001, mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones; Decreto 2811 de 1974, Código de recursos naturales y del medio ambiente; Decreto 2424 de 2006, por el cual se regula la prestación del servicio de alumbrado público; y el Decreto 2501 de 2007, por medio del cual se dictan disposiciones para promover prácticas de uso racional y eficiente de energía eléctrica.

Por su parte, Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (Retilap) del Ministerio de Minas y Energía no es suficiente para prevenir y regular la contaminación lumínica que afecta todas las ciudades y municipios del país.

5. Conclusiones

Contar con un cielo nocturno libre de contaminación lumínica es importante, porque inspira a las personas a mirar al firmamento, lo cual ha sido parte esencial de nuestra historia en el planeta Tierra durante miles de años, y elemento cultural y social a partir del cual hemos

desarrollado aspectos tanto científicos como artísticos en nuestras sociedades. Desde la Antigüedad la humanidad ha transmitido el conocimiento de formas diversas y las historias, que en su gran mayoría estaban asociadas a cosmogonías producto de la observación del cielo, se han convertido en una forma de recordar ideas y hechos sobre el mundo que deben prevalecer para las presentes y futuras generaciones.

Colombia cuenta con dos grandes ventajas: por un lado, se tienen definidos los periodos de sequía y de lluvias como un comportamiento meteorológico bimodal, lo que permite saber cuáles son los meses más favorables para el desarrollo del astroturismo; y, por el otro, contamos con vastas extensiones de tierra y lugares a los que se puede acceder de muchas formas, y que aún están significativamente despoblados. Es justo en estos lugares donde se puede fortalecer el crecimiento del astroturismo responsable y sostenible: departamentos como Boyacá, Huila, Sucre, Atlántico, La Guajira, Meta, Antioquia, Risaralda y Norte de Santander. Tales parajes podrían postularse para recibir un certificado Starlight —destino o reserva astronómica—, el cual requiere un procedimiento extenso, nada sencillo, que involucra una constante medición de parámetros físicos para caracterizar la calidad del cielo. Sin embargo, en el país contamos en cada uno de los lugares mencionados con personal calificado que puede registrar y medir diferentes parámetros que garanticen la cantidad mínima de noches despejadas y de total oscuridad, lo que le daría a Colombia lugares acreditados oficialmente según estándares internacionales para ampliar y brindarles a los visitantes servicios relacionados con el astroturismo responsable y sostenible.

En la actualidad, la protección del cielo nocturno es de gran relevancia en el mundo. En 2007 uno de los temas principales durante la Feria del Turismo en Berlín fue justamente la amenaza de la contaminación lumínica para el astroturismo. En febrero de 2019, nace en Europa el proyecto «Night Light», para evitar la contaminación nocturna; una iniciativa que reúne a varios países para tratar de revertir los daños que genera la contaminación lumínica y proteger los pocos lugares que aún conservan sus cielos naturalmente oscuros.

La demanda de bienes y servicios que se pueden obtener al invertir en el turismo astronómico tiene un impacto que va más allá de los procesos de facturación de las empresas que prestan directamente un sinnúmero de servicios, o que entregan sus productos, como pueden

ser los operadores turísticos o centros de astroturismo en Colombia. No es fácil cuantificar este nivel de impacto de manera precisa, por lo que se debería estimar aplicando matrices de insumo/producto, usando información precisa que aporten los beneficiados.

Para que el desarrollo astroturístico en Colombia se fortalezca, específicamente en las zonas que cumplen con las condiciones mínimas para ello, y que esta actividad pueda convertirse en una forma de contribuir al desarrollo económico, a la vez que satisfaga otras necesidades de las comunidades locales, el Gobierno y las entidades que regulan el turismo en Colombia deben ser conscientes de su crecimiento equilibrado, racional y de una gestión efectiva de los recursos que permitirán un mayor desarrollo social, económico y cultural en estos puntos estratégicos. El incremento en las actividades de astroturismo no debe verse como un obstáculo; por el contrario, es necesario aumentar el impacto positivo del astroturismo sostenible y, a la vez, responsable con el medio ambiente y con los recursos naturales, con el fin de preservar los ecosistemas naturales y mantener la biodiversidad. Es necesario fortalecer y seguir las normativas y, a la vez, actuar de acuerdo con los fundamentos asociados al turismo sostenible.

Se debe comprometer e involucrar aún más a las entidades territoriales que lideran el turismo y la cultura en Colombia —ministerios, secretarías e institutos—, para que, a través de la participación en jornadas de astronomía profesional y aficionada, se concienticen de la importancia de innovar y reinventar las opciones y la industria del turismo en el país, generando impactos positivos este tipo de servicio astronómico tienda al crecimiento con alta demanda.

Explotar de forma conveniente los recursos naturales, preservar los ecosistemas naturales, mantener la biodiversidad, respetar el patrimonio sociocultural, generar condiciones de empleo estable para una población local que genere crecimiento en sus ingresos a través del astroturismo debe acompañarse de la correcta aplicación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible a partir de las normativas planteadas por el Gobierno nacional. Entidades como el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo y normativas como el Retilap deben velar por vigilar el cumplimiento de la correcta iluminación, con el propósito de disminuir el derroche energético debido a la inadecuada iluminación producto del crecimiento poblacional, que cada día amenaza el derecho de las

presentes y futuras generaciones a disfrutar los cielos oscuros como un patrimonio intangible de la humanidad.

Es importante evaluar el impacto que proyectaría la implementación de una manera fuerte y marcada del desarrollo del astroturismo sostenible y sustentable en Colombia, y hacer un claro seguimiento de este y de las actividades que hoy en día desarrolla el personal que lidera los observatorios públicos y privados. Se podría argumentar que, desde el punto de vista de los ingresos y la población beneficiada, así como de la identificación del personal con el desarrollo de esta ciencia en Colombia, ya contamos con ciertos lugares privilegiados en el país para las observaciones y la disertación astronómica. En este sentido, las actividades de difusión son fundamentales para transmitir el valor del desarrollo de la Astronomía para Colombia, y mostrar resultados concretos del progreso científico y divulgativo nacional. De este modo, existe una gran oportunidad para difundir el desarrollo de la astronomía y las ciencias afines, y que la comunidad se apropie de este tema y de las oportunidades asociadas, sintiéndose identificada y transformando esta ciencia en patrimonio nacional. Que Colombia sea reconocida en el mundo, como Chile, y que este reconocimiento tenga un impacto similar al de las industrias minera y caficultora, por la infraestructura e investigación en astronomía. En particular, promover el turismo astronómico y sus tecnologías asociadas en la enseñanza básica y media puede resultar en una gran motivación para que estudiantes y docentes se interesen por las matemáticas, la física, la química, la biología y las nuevas tecnologías.

6. Referencias

- Cielos ancestrales-culturas humanas y sus cielos. Recuperado de <https://www.ancient-skies.org/>
- Benítez, L. (2016). *Eficacia de la reglamentación para la prevención y disminución de la contaminación lumínica en Colombia*. Bogotá: Universidad Libre.
- Casado, L. (2007). El papel de los municipios en la prevención, ordenación y control de la contaminación lumínica. *Revista de Estudios de la Administración Local y Autonómica (REALA)*, 304; 137-177. <https://doi.org/10.24965/reala.vi304.9345>

- Crawford, R. (2007). *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*, *The Auk*, 124: 361-362. Berkeley: University of California Press.
- Díaz, J. V. (s. f.). *Experiencias Astronómicas*. Recuperado de <https://josevicentediaz.wordpress.com/el-universo/contaminacion-luminical/>
- Fraume, N. J. (2006). *Manual abecedario ecológico: la más completa guía de términos ambientales*. Bogotá: San Pablo.
- Galadí, E. D. (2011). Contaminación lumínica. *Revista del Colegio Oficial de Físicos*, 9.
- Giancoli, D. (2006). Física: Principios con aplicaciones, 6 ed. (Sexta edición ed.). México: Pearson.
- Gil, G. (2012). *Contaminación lumínica: una visión desde el foco contaminante: el alumbrado artificial*. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Góez, C. (2014). *Estudio astrometeorológico para el diagnóstico y emplazamiento de observatorios astronómicos ópticos en Colombia*, Maestría en Ciencias, Meteorología (tesis de grado). Universidad Nacional, Bogotá, Colombia
- Hölker, F. (2010). *Light pollution as a biodiversity threat* (vol. 25). Berlin: Elsevier. Portal to the Heritage of Astronomy. *IAU Commission C4 on World Heritage and Astronomy*. Recuperado de www.astronomicalheritage.org
- Latorre, B.; García, H. (s. f.). Contaminación lumínica. Universidad Nacional del Nordeste. Recuperado de <http://ing.unne.edu.ar/imate/jornadasint/pub/t5.pdf>
- González, D. (2015). *Estudio de calidad del cielo para observaciones astronómicas en Colombia*, Maestría en Ciencias, Astronomía. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Pizarro, D. (2011). *Análisis de la contaminación lumínica para tomar medidas correctivas, contra repercusiones ecológicas, económicas y sociales nocivas* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Lima, Perú.
- Rabaza, O.; Galadí, D.; Espín Estrella, A.; Asnar Dols, F. (2010). All-sky brightness monitoring of light pollution with astronomical methods. *Journal of Environmental Management*, 91(6), 1278-1287.
- Astroturismo en Chile. Recuperado de <http://astroturismochile.cl/>
- Starlight. (2007). *Reservas Starlight: conceptos, dimensiones, categorías, criterios, recomendaciones*. Recuperado de Starlight www.starlight2007.net/pdf/ReservaStarlight.pdf
- The International Dark-Sky Association. (2012). *Fighting Light Pollution: Smart Lighting Solutions for Individuals and Communities* (primera ed.). Stack Pole.

- The National Optical Astronomy Observatory (NOAO). Recuperado de <https://www.noao.edu/>
- Unión Astronómica Internacional UNESCO (2008). Conferencia Starlight celebrada en abril de 2007. *Declaración en Defensa del Cielo Nocturno y el Derecho a la Luz de las Estrellas "Reserva Starlight"*. Paris. Recuperado de <https://www.fundacionstarlight.org>
- Unesco. *Astronomy and World Heritage Thematic Initiative*. Recuperado de <http://whc.unesco.org/en/activities/19>
- Urrego, G. (2016). *Análisis de los niveles de luz artificial de 13 puntos, en los límites del jardín botánico para la espacialización de la contaminación lumínica en el circuito general* (tesis de grado). Universidad Libre, Bogotá, Colombia.
- Zamorano, J. *et al.* (2011). Proyecto NixNox. Disfrutando de los cielos estrellados de España. *Sea Astronomía*, 7, 36-42.

CAPÍTULO VII

Modelo de competitividad aplicado al sector transporte en el AMCO y su relación con los objetivos de desarrollo sostenible (2016-2030)

PAOLA ANDREA ECHEVERRI GUTIÉRREZ¹
JESÚS DAVID VALENCIA SALAZAR²

1. Introducción

Este proyecto inicia con un análisis del estado del arte donde se concibe el transporte de carga terrestre como un sector de impacto para la economía colombiana: «Actualmente, el 97 % de la carga en Colombia se moviliza en modo carretero (excluyendo carbón e hidrocarburos)» (Zaninovich, 2014). Algunas investigaciones previas analizadas son: «El transporte internacional como factor de competitividad en el comercio exterior» (Zamora, 2013), «El ciclo económico del transporte de carga carretero

1 <https://orcid.org/0000-0003-3029-4997>. Universidad Libre de Colombia, seccional Pereira. Colombia. paolaa.echeverrig@unilibre.edu.co

2 <https://orcid.org/0000-0002-8170-1954>, Universidad Libre de Colombia, seccional Pereira. Colombia. jesusd.valencias@unilibre.edu.co

en Colombia y la estrategia empresarial» (Gutiérrez, 2013), «Análisis del transporte de carga en Colombia para crear estrategias que permitan alcanzar estándares de competitividad e infraestructura internacional» (Rodríguez, 2013), «Modelo de competitividad empresarial sectorial» (Mejía, 2012) y «Caracterización del transporte de carga terrestre y su estructura de costos en Pereira y Dosquebradas» (Jaramillo, 2011).

Después, se caracterizaron seis empresas del subsector mediante la aplicación de dos modelos: cinco fuerzas (Porter, 1991) y de competitividad empresarial (Jiménez, 2006), con el propósito de establecer, a través de una matriz comparativa, la relación potencial entre estos modelos (resultados) y su correspondencia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (2016) para esbozar posibles acciones que contribuirían a un mayor desarrollo del subsector. La investigación fue exploratoria, descriptiva, de método inductivo y deductivo; además, se contó con información cualitativa y cuantitativa.

2. Desarrollo

2.1. Metodología empleada

Este proyecto contó con el siguiente proceso sistemático:

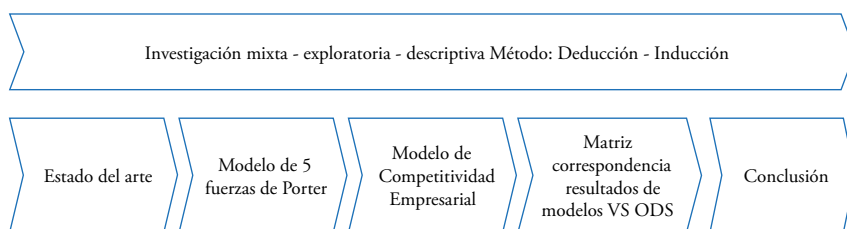


DIAGRAMA 1. Desarrollo metodológico

Fuente: elaboración propia.

2.2. Contexto del sector transporte terrestre automotor de carga en Colombia

En este trabajo se entenderán como variables fundamentales del sector transporte de carga: infraestructura, vehículos de transporte, gestión

de la operación y TIC, enfatizando en que la dinámica entre dichas variables y el adecuado funcionamiento de cada una garantizan sostenibilidad del sector y constituyen un generador de impacto económico y social en el país.

De otro lado, es importante resaltar que la recolección y distribución de productos se efectúa con vehículos de servicio particular, que pertenecen a empresas que los usan para trasladar sus propios productos, y con vehículos de servicio público, que están afiliados a una empresa de carga habilitada y que cualquier generador de carga los puede contratar. Estos últimos permiten considerar el transporte terrestre de carga una actividad económica independiente y muy importante dentro del sector servicios en términos de contribución al PIB y generación de empleo (Arroyo, 2008).

Según un estudio realizado por el Sena (2003), para 2002 se presentó una caída en la calidad y la disponibilidad de vías carretables en el país. Este hecho se convirtió en el principal obstáculo para aumentar la competitividad de la prestación de servicios de transporte. Para 1988, existían en el país 106 218 km construidos de carreteras; de estos, 52 826 km eran carreteras secundarias. Para 2002, esta situación no había cambiado mucho, por lo que Colombia se encontraba entre uno de los peores en este ámbito de América Latina y del mundo, tomando en cuenta su extensión. En su momento, este era considerado un punto crítico, pues en el territorio nacional muchos productos son transportados por carretera.

En cuanto a la infraestructura vial, la mala situación se hizo evidente con el atraso de algunos proyectos. Para el periodo 2010-2014, el Gobierno se propuso contar con más de 1800 kilómetros de red vial pavimentados y el 31 de marzo de 2013 el avance había sido solo del 39,4 %. También se fijó tener más de 840 kilómetros nuevos de doble calzada en operación a través de concesiones, pero, para esa misma fecha, apenas se había avanzado un 38,7 % (Consejo Privado de Competitividad, 2013).

La falta de competitividad del sector de transporte de carga y de la cadena logística de Colombia puede atribuirse a varias razones. En primer lugar, el exceso de regulación, por ejemplo, aunque el desmonte de la tabla de fletes fue un gran avance: en 2013 se expidió el Decreto 2228, que prohíbe el cobro de fletes por debajo de «costos eficientes de

operación», lo que en la práctica implica volver al esquema de tabla (Consejo Privado de Competitividad, 2013).

En segundo lugar, hasta hace poco la falta de un manejo adecuado en temas de chatarrización hizo que, a través del Conpes 3759, se formulara una política para la renovación del parque automotor, que buscaba implementar un fondo que contara con aproximadamente 1,1 billones de pesos para sacar de circulación vehículos con más de veinte años (Consejo Privado de Competitividad, 2013).

En tercer lugar, el sector de transporte se caracteriza por ser altamente informal, lo que se traduce en bajos niveles de empresarismo y capital humano, bajos estándares en la prestación del servicio, al igual que condiciones precarias para los actores del sector (Consejo Privado de Competitividad, 2013).

De este modo, según el Ministerio de Transporte, para que la industria colombiana de transporte de carga por carretera sea eficiente, es necesario que incluya las siguientes mejoras: avanzar a mercados liberalizados, sin regulaciones innecesarias; fortalecer los estándares de los camiones con base en la calidad y no en la cantidad; y transformar el sistema regulador de precios en uno de referencia de precios, para que sean usados como un mecanismo que indique el control de las prácticas informales (Ministerio de Transporte, 2011).

No obstante, el Gobierno nacional está haciendo esfuerzos por mejorar estos aspectos, lo que se hace evidente en la inversión en infraestructura vial con la cuarta generación de concesiones (4G). Esto, según el Departamento Nacional de Planeación (DNP), llevará desarrollo y trabajo a veinticuatro departamentos, y generará más de 180 000 empleos directos, lo que permitirá reducir la tasa de desempleo durante la etapa de construcción de los proyectos en un 1 % y generará un efecto multiplicador en el PIB de 1,5 % aproximadamente (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2014).

Así mismo, se vienen produciendo grandes innovaciones tecnológicas que permiten notables avances en los Sistemas de Gestión de Transporte (TMS, por sus siglas en inglés), la gestión de almacenes e inventarios (WMS), así como el Sistema de Comercio Internacional (ITLS) (Ministerio de Transporte, s. f.). Sistemas que han permitido obtener eficiencia operativa para las empresas que los implementan.

2.3. Caracterización del sector transporte terrestre automotor de carga en el área metropolitana Centro Occidente

Para efectos del presente estudio es importante definir que el Área Metropolitana Centro Occidente (AMCO): está ubicada en el departamento de Risaralda y tiene como núcleo central el municipio de Pereira y las poblaciones vecinas de Dosquebradas y La Virginia.

Para la caracterización del sector en el AMCO, se emplea la metodología de Michael Porter, quien brinda una perspectiva de la competitividad de una empresa desde dos ámbitos distintos pero que se complementan. En primer lugar, el sector al cual la empresa pertenece y, segundo, las actividades internas que se desarrollan en ella. Tomando esto como base, se puede decir que una parte significativa de la competitividad de una empresa depende del entorno y de cómo esta se relaciona con él. Por ello, para determinar la ventaja competitiva de una empresa, es de suma importancia definir el sector y cuáles son las influencias que promueven su competitividad y rentabilidad, sin que el estudio sea muy amplio o se acumulen datos que no tienen que ver directamente con la empresa o su operación (Porter, 2004).

El modelo de las cinco fuerzas del sector de Porter tiene como finalidad hacer un análisis de las principales características del entorno desde el punto de vista de la amenaza de la entrada de nuevos competidores, la rivalidad entre estos, la amenaza de productos o servicios sustitutos, y el poder de negociación de los compradores y de los proveedores.

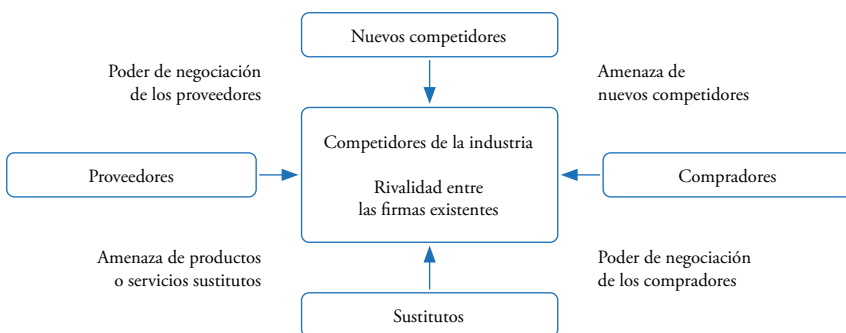


DIAGRAMA 2. Las cinco fuerzas del sector de Michael Porter

Fuente: Porter, 2004.

En esta fase de la investigación se caracterizaron seis empresas pertenecientes al sector transporte terrestre automotor de carga en el AMCO a través de la metodología mencionada, lo que permitió que cada una de ellas mostrara su situación actual, intensidad competitiva y la rentabilidad del sector, tal como se muestra a continuación:

2.3.1. Amenaza de entrada de nuevos competidores

En el análisis resaltan tres criterios: «Barreras de entrada al sector», «ventajas absolutas en costos» y «diferenciación». En cuanto al primer criterio, es importante tener en cuenta que existen múltiples requisitos legales para ingresar a este subsector: no solo se debe crear la sociedad, habilitarse como empresa de transporte terrestre de carga cumpliendo los requisitos establecidos en el Decreto 173 de 2001, sino, además, «demostrar un capital pagado o patrimonio líquido, no inferior a 1.000 salarios mínimos mensuales legales vigentes (SMMLV)» (Ministerio de Transporte, 2001). De otro lado, en cuanto al segundo criterio, las ventajas absolutas en costos son representativas para aquellas empresas que cuenten con un amplio parque automotor, puesto que logran atender su demanda, y así fidelizan a los clientes con su disponibilidad vehicular. No obstante, se identifica un sector con altos fletes que encarecen el producto llevado al consumidor final, debido a la sobreoferta de vehículos y a que no se respeta la tabla de fletes establecida.

Como tercer criterio, las empresas se encargan de diferenciarse por medio del manejo adecuado de su imagen corporativa; ofrecer servicios complementarios al transporte, como rastreos satelitales, inspecciones, mejorar los tiempos con la política «Just in time»; mejorar el parque automotor: certificaciones como ISO 9001, y en la norma BASC, entre otras estrategias que permiten agregar valor al servicio que prestan a sus clientes.

El servicio de transporte de carga por carretera es competitivo por naturaleza, ya que no hay evidencia de que se presenten economías de escala; así que se deben eliminar los obstáculos para el libre funcionamiento del mercado en el sector, en particular, barreras en la habilitación de empresas transportadoras, la tabla de fletes, las normas de reposición y desintegración vehicular, reconociendo que pueden existir fallas de mercado, solo intervenir en aquellos mercados relevantes donde efectivamente se estén presentando fallas (Ministerio de Transporte, 2011).

2.3.2. Poder de negociación de los proveedores

En el análisis resaltan tres criterios: «Costos de cambio de proveedor», «proveedores sustitutos» y «nivel de diferenciación de proveedores». En este subsector, los costos de cambio a los cuales debe hacer frente el comprador se dan en el combustible, debido a que el alza generalizada de precios en este producto conlleva un aumento en los gastos de los tractocamiones; muchas veces incluso la chatarrización se ve implicada ante la necesidad de renovar los vehículos de servicio. De otro lado, la percepción del nivel de diferenciación de los proveedores se presenta en la aplicación de tecnología —reportes satelitales— utilizada por las empresas. Con respecto a los proveedores de productos sustitutos en el mercado, se da con el hecho de reutilizar las llantas denominadas «reencuchadas», lo cual representa un ahorro para los dueños de los vehículos y contribuye de manera indirecta con el cuidado del medio ambiente; sin embargo, este proceso es poco conocido o aceptado por el gremio, donde se considera que esta modalidad no funciona satisfactoriamente e implica un mayor gasto.

2.3.3. Poder de negociación de los compradores

En cuanto a esta fuerza, se analizó la dependencia de los canales de distribución, en donde las empresas crean su canal interno de distribución entre el gremio, es decir, que «tercerizan»; por ello, acuden a contratar vehículos a sus competidores. De otro lado, en cuanto a la flexibilidad para negociar, se «presentan dificultades en el control de los precios (fletes) establecidos, esto en gran medida (sic) al crecimiento del parque automotor el cual aumenta la oferta del servicio de transporte y promueve a que se conlleven condiciones de informalidad en el sector» (Caicedo, 2013, p. 27).

Los generadores de carga tienden a ser exigentes con el sector en cuanto a los faltantes de carga que se puedan generar, de manera que implementan medidas de protección que los benefician, como las pólizas para cumplir con los topes de carga, garantizando un servicio efectivo. La tolerancia que maneja la mayoría de los generadores de carga es kilo por tonelada en cada viaje, lo que quiere decir que si, por ejemplo, se llevan 35 toneladas, la tolerancia son 35 kilos. Teniendo en cuenta el peso y repeso de las básculas, que por lo general presentan

desnivel en su calibración, generando pesos distintos, la tolerancia y los faltantes son factores externos de pérdida para los transportadores de carga difíciles de controlar.

Debido a la sobreoferta en el sector, los consumidores son cada vez más exigentes en la fijación de precios, calidad, faltantes y sobrantes. No obstante, algunos generadores de carga y empresas de transporte crean una fuerte relación comercial, lo que hace que algunos clientes se fidelicen y se inclinen por una empresa en particular, generando así una barrera de entrada para nuevos proveedores de este servicio.

2.3.4. Amenaza de ingreso de productos sustitutos

El sector presenta sobreoferta del servicio, sin embargo, existen clientes fidelizados a las empresas por su trayectoria, y no tienden a sustituir el servicio por otro fácilmente. Así mismo, aunque en el sector existe una tabla de fletes, esta no se respeta para que haya una libre competencia.

Las empresas comercializadoras, trilladoras e industriales pertenecientes al AMCO poseen solo un posible sustituto, y es el medio fluvial: uno de los transportes más económicos, pero con grandes problemas en la prestación del servicio y su distribución. El servicio solo se podría prestar en el municipio de La Virginia, dada la trascendencia del río Cauca para este municipio; sin embargo, no se cuenta con una plataforma multimodal que permita dicha operación y, en términos ambientales, los contaminantes causados por la combustión durante sus viajes impactan los ríos de forma directa. En todo caso, el medio fluvial solo se dedica a transportar carga seca, como siderúrgico —alambión, tubería y palanquilla) (Naviera Colombiana Fluvial, 2014—, y en el AMCO, la mayor carga consiste en la trilla del café e ingenios.

2.3.5. Rivalidad entre competidores

La competencia en este subsector está fragmentada, ya que existen muchos competidores y, por ende, la rivalidad es intensa.

2.4. Competitividad empresarial del sector transporte de carga en el Área Metropolitana Centro Occidente

Según Jiménez (2006), la competitividad empresarial se encuentra en función de la capacidad de gestión de la gerencia en todos los aspectos del negocio. Para tal fin, el autor definió seis factores que permiten evaluar dicha competitividad: gestión gerencial (GG), gestión comercial (GC), gestión financiera (GF), gestión de producción (GP), ciencia y tecnología (CT), e internacionalización (I); también el siguiente modelo:

$$GG (GC + GF + GP + CT + I)$$

FÓRMULA 1. Competitividad empresarial

Fuente: Jiménez, 2006.

Los factores incluidos en el paréntesis se califican con un puntaje máximo, que para cada caso es:

GC = 30 puntos

GF = 20 puntos

GP = 20 puntos

CT = 10 puntos

I = 20 puntos

El puntaje máximo obtenido será de 100 puntos.

El factor GG corresponde a un valor entre 0 y 1.

Las empresas serán clasificadas, según este modelo, en una escala de competitividad, así:

90 - 100 puntos = muy competitiva

80 - 89 puntos = competitiva

70 - 79 puntos = baja competitividad

0 - 69 puntos = no competitiva

Para efectos de la presente investigación, se definieron los siguientes criterios para analizar cada uno de los factores de competitividad empresarial de seis empresas de transporte de carga en el AMCO:

TABLA 1. Modelo de competitividad empresarial

FACTOR DE COMPETITIVIDAD	CRITERIOS	
Gestión Comercial (GC)	a	Tipo de mercado en el que opera
	b	Tipo de servicio
	c	Política de precios
	d	Experiencia en el mercado
	e	Participación en el mercado
	f	Análisis de la competencia
Gestión Financiera (GF)	a	Cambios en la situación financiera
	b	Rentabilidad
	c	Valor patrimonial
	d	Nivel de endeudamiento
	e	Fuentes de financiación
Gestión Producción (GP)	a	Capacidad instalada
	b	Nivel educativo del personal
	c	Política de selección de proveedores
	d	Sistemas de inventarios
	e	Experiencia operativa
Ciencia y Tecnología (CT)	a	Inversión en I+D
	b	Adopción de tecnologías
Internacionalización (I)	a	Mercados potenciales
	b	Participación proceso exportador
Gestión General (GG)	a	Escolaridad del empresario
	b	Experiencia en el sector
	c	Conocimiento del negocio
	d	Manejo de otros idiomas
	e	Tipo de decisor

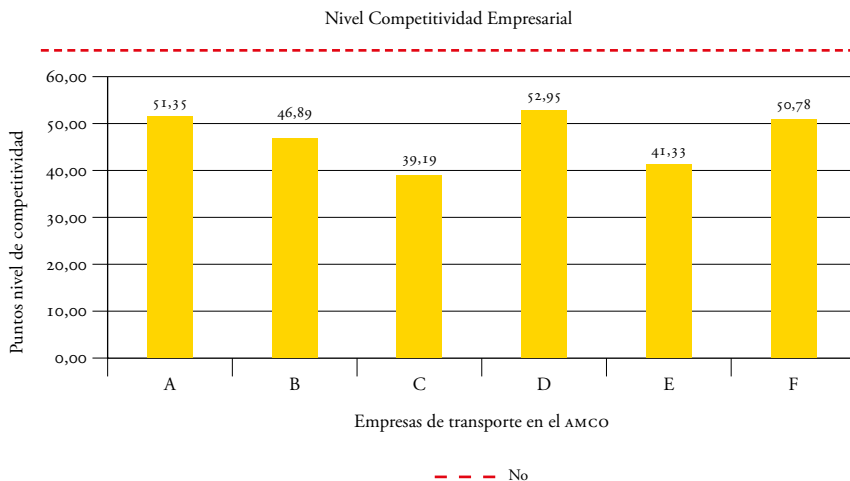
Fuente: Jiménez, 2006.

Para recolectar la información de estos criterios, se realizó un cuestionario estructurado de veinticinco preguntas que se aplicó a los directivos de estas empresas transportadoras. La ponderación de cada pregunta fue determinada a través del criterio de los investigadores, asumiendo que cada una contiene un peso diferente cuando se valora

cada indicador. Para mayor control de las preguntas, se estableció que estas fueran cerradas y se asignó un puntaje a cada una de ellas.

En el cuestionario se plantearon dos tipos de preguntas: alternativa simple —única respuesta— y alternativa múltiple —respuesta múltiple—. Cabe resaltar que cada variable tiene un puntaje de calificación asignado, identificando como valor máximo el más competitivo y, a medida que disminuye la calificación, esta indicará que la empresa es menos competitiva en esa variable. Para el caso de algunas preguntas con múltiples respuestas, se usaron condicionales, ya que, si una pregunta es respondida con varias opciones, esto indica que la empresa obtendrá una calificación mayor. Es decir que, si tiene una sola opción, se le asigna un puntaje menor; si tiene dos opciones, su valor es medio; si tiene más de dos opciones, su valor es máximo, y si tiene la opción «ninguno», se le asigna un valor de cero (0), al ser la opción menos favorable. En cuanto al tipo de pregunta alternativa simple, cuando su respuesta fuera «sí», esta tendría el valor máximo, y para la opción «no», se determinó un valor de cero (0), ya que corresponde a la opción menos favorable.

En la siguiente gráfica se puede observar el nivel de competitividad de cada una de las empresas objeto de estudio.



GRÁFICA 1. Modelo de competitividad empresarial aplicado a seis empresas del sector transporte de carga en el AMCO

Fuente: elaboración propia.

En esta gráfica se muestra cómo, de acuerdo con el modelo de competitividad empresarial (Jiménez, 2006), ninguna de las empresas analizadas en el AMCO es competitiva, ya que poseen puntajes entre 0 y 69 puntos, lo que equivale a no competitiva. Esto, debido a que sus factores presentan desventajas en la gestión de producción u operativa, gestión gerencial e internacionalización; también, a que están regidas por entes reguladores del sector transporte, que se limitan a exigir que se sigan los parámetros exigidos, pero cuyo control no es efectivo.

En cuanto al factor gestión gerencial, se puso en evidencia que, aunque las empresas objeto de estudio presentan baja cualificación académica y bajo nivel de bilingüismo, poseen experiencia, conocimiento del negocio y el tipo de decisor de los gerentes en estas empresas (83,33 %) obtuvo la mayor puntuación (75 % o más del factor). Con respecto a la gestión comercial, la calificación fue media: el 66,66 % de las empresas analizadas estuvo entre el 52 % y el 59 % del valor del factor, pues si bien tienen una amplia participación en el mercado, cuentan con experiencia en el gremio, conocen su competencia directa y tienen operación nacional; en el sector transporte de carga, pesan más los precios del mercado que las políticas de precios (tabla de fletes), debido a que el sector presenta sobreoferta. En cuanto a la gestión de producción u operativa, el puntaje obtenido fue bajo: el 66,66 % de las empresas analizadas presentó puntajes inferiores al 50 % del valor del factor, y solo una presenta posibilidades de ascenso para el personal, dados sus orígenes como empresas familiares. Como consecuencia, solo algunos de los cargos son desempeñados por personas que cumplen los perfiles académicos; un aspecto a resaltar en este factor es que los proveedores son previamente seleccionados bajo unos criterios que cada empresa establece, ya que el común denominador de estas es que cuentan con la certificación BASC. Para el factor ciencia y tecnología, todas las empresas estudiadas presentaron puntuaciones altas (100 %), debido a que están obligadas a usar las tecnologías de la comunicación para tener una trazabilidad actualizada y verídica de la prestación del servicio. En el factor internacionalización, la mayoría de las empresas observadas —66,66 %, con valoración del factor de 80 % o más— transporta a los principales puertos del país, por lo cual en este punto obtuvieron una calificación alta. Por último, en cuanto al factor gestión financiera, el nivel de endeudamiento es bajo, el riesgo financiero es bajo —aspecto positivo— y algunas empresas presentan integración hacia atrás, con el

fin de disminuir costos en su cadena operativa —50 % de las empresas estudiadas obtuvo una valoración del 85 %—.

2.5. Transporte de carga y su relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

Para este ejercicio se establecieron como enlace cinco (8, 9, 11, 12, 17) de los diecisiete ODS, dado que «son un llamado universal a la adopción de medidas para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad». Se definieron deliberadamente estos cinco objetivos por estar provistos de una relación directa con la actividad empresarial.

El objetivo 8 tiene como propósito: «Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos» (PNUD, 2016); de sus doce metas, once (91,67 %) tendrían correspondencia potencial con las empresas en los seis factores (100 %) y en dieciocho criterios del modelo de competitividad (72 %).

El objetivo 9 tiene como intención: «Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible, y fomentar la innovación» (PNUD, 2016); de sus ocho metas, siete tendrían reciprocidad virtual con las empresas (87,50 %) en cinco factores (83,33 %) y diez criterios del modelo de competitividad (40 %).

El objetivo 11 tiene como designio: «Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles» (PNUD, 2016); de sus diez metas, solo dos tendrían coordinación potencial con las empresas (20,00 %) en cuatro factores (66,66 %) y siete criterios del modelo de competitividad (28 %).

El objetivo 12 tiene como empresa: «Garantizar las modalidades de consumo y producción sostenible» (PNUD, 2016); de sus once metas, nueve tendrían afinidad potencial con las empresas (81,82 %) en los seis factores (100 %) y en catorce criterios del modelo de competitividad (56 %).

El objetivo diecisiete tiene como plan: «Revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible» (PNUD, 2016); de sus diecisiete metas, dieciséis tendrían concordancia potencial con las empresas (94,12 %) en los seis factores (100 %) y en veinte criterios del modelo de competitividad (80 %).

Con base en los resultados de las investigaciones previas (anteriores), que concuerdan con lo afirmado por Anif:

Para 2018 (como un todo), estima que el PIB-real del sector transporte exhibirá una recuperación hacia el 1,2% anual, superior al 0,3% registrado en 2017. La recuperación de la economía hacia crecimientos de 2,3% real en 2018 (vs. 1,8% en 2017), impulsada por el crecimiento de las principales ramas de actividad económica, ayudará al desempeño de todo el sector transporte. (2018)

Los resultados de la aplicación de los modelos de cinco fuerzas de Porter y de competitividad, se realiza con un ejercicio de potencial conexión entre los resultados mencionados y cinco de los ODS que se pusieron en marcha en enero de 2016 como propuesta de implementación a 2030, revalidados en el artículo 1.º del actual Plan Nacional de Desarrollo, donde se trazan sus objetivos:

El Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 “Pacto por Colombia, pacto por la equidad”, que se expide por medio de la presente Ley, tiene como objetivo sentar las bases de legalidad, emprendimiento y equidad que permitan lograr la igualdad de oportunidades para todos los colombianos, en concordancia con un proyecto de largo plazo con el que Colombia alcance los Objetivos de Desarrollo Sostenible al 2030.

Los cinco ODS identificados como enlace (8, 9, 11, 12, 17), por tener una relación directa con la actividad empresarial, tienen formuladas 58 metas, de las cuales se analizan 45 propuestas (77,58%), las cuales están expresadas en términos genéricos y deben ser adoptadas de acuerdo con cada contexto. Las empresas de transporte terrestre de carga estudiadas tienen un desafío grande para alcanzar dichos propósitos.

En primer término, las empresas analizadas deben tomar cartas en el asunto con respecto a su situación competitiva frente a los resultados del modelo de competitividad empresarial (no competitivas), máxime si se tiene en cuenta que los resultados fueron socializados con cada una de ellas.

En segundo lugar, las empresas observadas podrían alcanzar las metas de los ODS identificados y, a su vez, ser más competitivas, si potencializan sus capacidades actuales para lograr niveles más elevados

de productividad. En términos prácticos, si se propusieran alinearse con las metas de los ODS, las empresas podrían aprovechar los criterios de competitividad (Jiménez, 2006) que mayor relación tienen con los propósitos mundiales para tal fin. Por ejemplo, desde la gestión comercial, a través de los criterios experiencia y participación del mercado, tendría relación con el 17,77 % de las metas cada uno. Desde la gestión financiera, mejorando los niveles de rentabilidad y beneficiándose de las posibilidades de financiación —relación con el 8,88 % de las metas cada una—. En cuanto a la gestión de producción, las empresas deberán seguir generando infraestructuras fiables y sostenibles de calidad —capacidad instalada, 46,66 %, y experiencia operativa, 42,22 % de relación con las metas—, para contribuir al bienestar humano mediante la aplicación de tecnologías, lo que a su vez permite mayor valor agregado del servicio para mantener diferenciación. En ciencia y tecnología deberán continuar realizando inversiones en I+D —relación con el 26 % de las metas— en soluciones como contribuir a la calidad del aire y una propuesta de servicios sostenibles pensada para disminuir de manera significativa la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización. En internacionalización, seguir participando en procesos exportadores —20 % de relación con las metas—. Y, por último, en gestión general deberán seguirse apalancando en su experiencia en el sector y el conocimiento del negocio —relación con el 37,77 % y 46,66 % de las metas respectivamente—.

En tercer término, las empresas estudiadas deberían trabajar de manera articulada en beneficio del sector. Esto no es una contradicción con lo mencionado en el modelo de cinco fuerzas —muchos competidores—, pero sucede que si las empresas de manera conjunta hacen exigencias al Estado para que se cumpla lo estipulado en la ley —por ejemplo: (1) aplicación de tabla de fletes; (2) control efectivo del contrabando (en repuestos y combustible que afectan el servicio), con veeduría en el cumplimiento de compromisos en relación con la asistencia para el desarrollo y crecimiento económico producto de dineros aportados por países desarrollados para tal fin; (3) participación en la construcción y actualización de políticas del sector en pos de una mayor coherencia de estas; (4) aprovechamiento de iniciativas existentes de medición a través de indicadores propios del sector, y (5) realizar modificaciones según nuevas realidades, entre otras— tendrán más posibilidades de ser escuchadas que si cada una lo realiza de manera independiente.

TABLA 2. Relación modelo de competitividad y Objetivos de Desarrollo Sostenible

FACTOR DE COMPETITIVIDAD +A2:H23A2:H28	CRITERIOS	8: TRABAJO DECENTE Y CRECIMIENTO ECONÓMICO		9: INDUSTRIA, INNOVACIÓN E INFRAESTRUCTURA		11: CIUDADES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES		12: PRODUCCIÓN Y CONSUMO RESPONSABLE		17: ALIANZA PARA LOGRAR LOS OBJETIVOS	
		METAS ODS		METAS ODS		METAS ODS		METAS ODS		METAS ODS	
Gestión Comercial (GC)	a	Tipo de mercado en el que opera					6				9
	b	Tipo de servicio	2				6		1, 3		9
	c	Política de precios									
	d	Experiencia en el mercado	2, 4, 9, II								9, 10, 12, 17
	e	Participación en el mercado	1, 2, 9, II						1, 7		9, 17
	f	Análisis de la competencia	II								9, 17
Gestión Financiera (GF)	a	Cambios en la situación financiera		3							4
	b	Rentabilidad	I						5, II		12, 17
	c	Valor patrimonial	I, IO								17
	d	Nivel de endeudamiento		3							1, 3, 17
Gestión Producción (GP)	e	Fuentes de financiación	3, IO	3							1, 2
	a	Capacidad instalada	2, 4, 5, 8	1, 2, 4, 5, 7, 8			6		1, 2, 3, 4, 5, 9, II		8, 10, 17

FACTOR DE COMPETITIVIDAD +A2:H23AA2:H28	CRITERIOS	8: TRABAJO DECENTE Y CRECIMIENTO ECONÓMICO		9: INDUSTRIA, INNOVACIÓN E INFRAESTRUCTURA		II: CIUDADES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES		12: PRODUCCIÓN Y CONSUMO RESPONSABLE		17: ALIANZA PARA LOGRAR LOS OBJETIVOS	
		METAS ODS		METAS ODS		METAS ODS		METAS ODS		METAS ODS	
	b	Nivel educativo del personal	2, 6								
	c	Política de selección de proveedores					5				I4, I5
	d	Sistemas de inventarios	2								
	e	Experiencia operativa	2, 3, 4, 5, 8	I, 2, 4, 5	6			I, 2, 3, 4, 5, 6, 9, II			I7
	a	Inversión en I+D	2	I, 4, 5, 7	6			5, 9			5, 6, 7, I7
Ciencia y Tecnología (CT)	b	Adopción de tecnologías	2, 7	I, 4, 5, 8				9			5, 6, 7, I4, I5, I7
	a	Mercados potenciales	3, II					6			5, 8, 9, IO, II, I2, I7
Internacionalización (I)	b	Participación proceso exportador		I				6			5, 8, 9, IO, II, I2, I7
	a	Escolaridad del empresario	6					2			
Gestión General (GG)	b	Experiencia en el sector	2, 3, 4, 9	I, 2, 5, 8				I, 3, 6, 7, II			3, I2, I3, I7
	c	Conocimiento del negocio	2, 3, 4, 6, 9	I, 2, 5, 8	8			I, 3, 5, 6, 7, II			2, 3, I2, I3, I7
	d	Manejo de otros idiomas									
	e	Tipo de decisor	I, 8		8						3, I2, I3, I7

Fuente: elaboración propia.

3. Conclusiones

Con respecto a la caracterización de las empresas analizadas de este subsector, se destaca como la fuerza más representativa y que genera mayor valor para el sector «el poder de negociación de los compradores». Otra fuerza que genera un valor es «la de amenaza de entrada de nuevos competidores», ya que en esta se contemplan todas las barreras de entrada y tipo de ventajas que enfrenta el sector en términos de tecnología. Así mismo, se hallaron fuerzas que generan menos valor, como «el poder de negociación de los proveedores», pues, dado que su tendencia a sustituir el servicio es baja, hace que no sean de alto impacto; y «la amenaza de ingresos de productos sustitutos», puesto que existe una alta sobreoferta del sector transporte de carga terrestre en el país.

Se reconoce el aporte metodológico del profesor Jiménez (2006) a la discusión sobre competitividad empresarial con su propuesta; sin embargo, se sugiere a las empresas que deseen aplicar el modelo asignar como factor principal la gestión financiera, ya que el modelo propuesto adapta el factor gestión gerencial como el más relevante, y hace que sus criterios tengan un mayor peso. En el caso de esta aplicación, dirigida al sector transporte, subsector de carga automotor terrestre, los gerentes presentaron buena trayectoria y conocimiento del gremio, pero las variables de educación no son las más desarrolladas por estos; por lo tanto, se podría sesgar la información relevante de los otros factores e influir de manera directa en el nivel de competitividad total.

Se concluye que el subsector transporte de carga aún debe esforzarse para ser competitivo, pues las empresas analizadas, a pesar de contar con criterios destacados, presentan dificultades y desventajas que lo hacen menos eficiente frente a otros países por condiciones internas y del entorno, en la que alcanzan una valoración de no competitivas —en la escala de competitividad empresarial—. Como consecuencia, se debe continuar fortaleciendo de alianzas público-privadas, y hacer esfuerzos para que el Gobierno —como se estipula en el Plan Nacional de Desarrollo actual— cree mejores condiciones que faciliten el seguimiento al cumplimiento de la ley, tal como está consagrado en el artículo 1.º; es decir, con las propuestas de los ODS, así como la de generar mecanismos para una movilización adecuada y promover la formalización completa de los actores que intervienen en este campo.

Los ODS, como metas a alcanzar en 2030, exigen propósitos parciales o graduales. Algunos de ellos están o deberían ser desagregados en acciones con un horizonte temporal menor. Sin embargo, es claro que, para avanzar en ese camino, debe primar la voluntad de las empresas del sector para trabajar de manera mancomunada y articulada, con el fin de hacer valer y exigir sus derechos, cumplir sus deberes y favorecerse como promotoras, participantes y a su vez beneficiarias del desarrollo económico y social a través de prácticas sostenibles.

Este trabajo permitió analizar cómo el sector transporte terrestre automotor de carga en el AMCO puede contribuir a lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible si mejora las condiciones de competitividad en el sector, a través de la formalización en los empleos que genera y mayores controles por parte del Estado para garantizar que los camioneros que prestan el servicio se encuentren afiliados a las empresas transportadoras y se les paguen las prestaciones sociales de ley. También, si se aprovecha la actual Ley de Financiamiento, en la cual se excluyen del pago del IVA los servicios de transporte con el fin de disminuir los sobrecostos actuales de operación y buscando que las tarifas sean eficientes. Cabe resaltar que mejorar en estos aspectos contribuye solo en una parte; es necesario el mejoramiento de otros sectores de la economía para incrementar el bienestar de la población.

4. Referencias

- Arroyo, I. (2008). Transporte de calidad. Modernizando el transporte terrestre de carga en Colombia. Programa de Apoyo a la Competitividad de la Oficina de Políticas Públicas y Competitividad de la CAF. Bogotá: Corporación Andina de Fomento (CAF).
- Caicedo, P. F. (2013). *Análisis del sector de transporte por carretera en la economía colombiana, dificultades y retos* (ensayo de especialización en Finanzas y Administración Pública). Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.
- Clavijo, S. (27 de junio de 2018). Sector transporte: desempeño 2017 y perspectivas 2018. *La República*. Recuperado de <https://www.larepublica.co/analisis/sergio-clavijo-500041/sector-transporte-desempeno-2017-y-perspectivas-2018-2743055>

- Consejo Privado de Competitividad. (2014). *Informe nacional de competitividad 2013-2014. Ruta a la prosperidad colectiva. Infraestructura, transporte y logística*. Recuperado de <https://compite.com.co/informe/informe-nacional-de-competitividad-2013-2014/>
- Decreto 173 de 2001. (5 de febrero), *Por el cual se reglamenta el Servicio Público de Transporte de Carga Terrestre Automotor de Carga*. Recuperado de <https://www.mintransporte.gov.co/descargar.php?idFile=130>
- Decreto 2228 de 2013. (11 de octubre), *Por el cual se modifican los artículos 1, 3, 4, 5, 11 y 12 del Decreto 2092 de 2011 y se dictan otras disposiciones*. Diario Oficial, núm. 48 940.
- Departamento Nacional de Planeación. (2007). Documento Conpes 3489. Política Nacional de Transporte Público Automotor de Carga. Recuperado de <https://www.mintransporte.gov.co/descargar.php?id=453>
- Departamento Nacional de Planeación. (2013). Documento Conpes 3759. Lineamientos de política para la modernización del Transporte Automotor de Carga y declaratoria de importancia estratégica del programa de reposición y renovación del parque automotor de carga. Recuperado de <https://www.mintransporte.gov.co/descargar.php?id=3128>
- Departamento Nacional de Planeación. (2014). Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018. Bogotá.
- Duque, G. (2012). Colombia vende llantas reencauchadas a EE. UU. *Portafolio.co*. Recuperado de <https://www.portafolio.co/negocios/empresas/colombia-vende-llantas-reencauchadas-ee-uu-98608>
- Estipuña, N. (2013). Política pública de transporte de carga y logística. Recuperado de <https://docplayer.es/15755712-Politica-publica-de-transporte-de-carga-y-logistica-nicolas-estupinan-vice-ministro-de-transporte.html>
- Estrada S.; Restrepo L. S.; López, M. E. (2012). Modelo de competitividad empresarial sectorial. *Scientia et Technica*, xvii(50), 46-51.
- García, E. (2010). Fases para el diseño y análisis de la cadena de valor en las organizaciones. *Journal of Business*, 2(1), 44-71. DOI: 10.21678/jb.2010.28
- Gutiérrez, J. A. (2013). El ciclo económico del transporte de carga terrestre en Colombia y la estrategia empresarial. *Criterio Libre*, 11(18), 125-154.
- Jaramillo, A.; Ramírez, M. (2011). *Caracterización del transporte de carga terrestre y su estructura de costos en Pereira y Dosquebradas* (Tesis de grado). Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Universidad Católica de Pereira, Pereira, Colombia.

- Jiménez, M. H. (2006). Modelo de competitividad empresarial. *Umbral científico*, (9), 115-125. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30400913>
- Lasso, J.; Soto, O. C. (2013). Centro del conocimiento. Trazabilidad y seguimiento en el transporte de mercancías. *Énfasis Logística Sudamérica*, 8: 46. Recuperado de <http://www.logyca.org/Centrodeconocimiento/Art%C3%ADculos/Trazabilidadyseguimientoeneltransportedemer.aspx#.vNDWHJ2G8ad>
- Ley 1253 de 2008 (13 de julio), *Por la cual se regula la productividad y competitividad y se dictan otras disposiciones*. Diario Oficial, núm. 47 186.
- Ley 1955 de 2019, (25 de mayo), *Por el cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 “Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad”*. Recuperado de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=9397>
- Ley 769 de 2002 (6 de julio), *Por la cual se expide el Código Nacional de Tránsito Terrestre y se dictan otras disposiciones*. Diario Oficial, núm. 44 932. Recuperado de www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0769_2002.html
- Martínez, J.; Ospina, S. B.; Carmona, J. V. (2014). *Análisis de eficiencia de empresas de transporte terrestre de carga de Colombia a través del DATA ENVELOPMENT ANALYSIS* (Trabajo de grado). Facultad de Ingeniería Universidad Libre, Pereira, Colombia.
- Medina, C. (2003). Tecnología para el negocio de transporte de carga. *Degerencia.com*. Recuperado de <http://www.degerencia.com/articulos.php?artid=322>
- Mesa Sectorial del Transporte. (2013). *Caracterización ocupacional del transporte en Colombia*. Bogotá: Servicio Nacional de Aprendizaje (Sena).
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; Servicios de Gestión Integral Ltda. (Sig.); Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2009). *Manual de producción más limpia y buenas prácticas ambientales: Reencauche y aprovechamiento de llantas*. Medellín.
- Ministerio de Transporte. (2011). Documentos base para la discusión en las mesas de política en acción. Transporte de carga automotor por carretera. Recuperado de <https://www.mintransporte.gov.co/descargar.php?id=1218>
- Ministerio de Transporte. (2013). *Supertransporte con más “dientes” para combatir transporte terrestre de carga que opera de manera ilegal*. Recuperado de <https://www.mintransporte.gov.co/publicaciones.php?id=3209&dPrint=1>

- Ministerio de Transporte. (s. f.). Plan Estratégico Intermodal de Infraestructura de Transporte. Recuperado de https://www.oitcinterfor.org/sites/default/files/file_publicacion/Prosp_trnasporte_sena.pdf
- Naviera Colombiana Fluvial S.A. (2014). Reactivación del transporte de carga seca. Recuperado de <http://www.naviera.com.co/noticias.html>
- Pérez, G. (2001). *Comunicaciones móviles de datos, lo nuevo en gestión y seguimiento de flotas*. Recuperado de http://www.cepal.org/transporte/telematica/Comunicaciones_moviles_de_datos.pdf
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (2016). Agenda 2030 para el desarrollo sostenible. Recuperado de <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>
- Porter, M. (1985). *La ventaja competitiva de las naciones*. Buenos Aires: Vergara.
- Porter, M. (1990). *La cadena de valor*. Bogotá: G&C Global Solution. México: Editorial CECSA.
- Ramírez, T. G. (s. f.). Porter 5 Fuerzas y Diamante de la Competitividad. Recuperado de http://www.academia.edu/download/34923954/PORTER_5_FUERZAS_Y_DIAMANTE_DE_LA_COMPETITIVIDAD.doc
- Rodríguez, C. M. (2013). *Análisis del transporte de carga en Colombia para crear estrategias que permitan alcanzar estándares de competitividad e infraestructura internacional* (Tesis de grado). Facultad de Administración, Universidad del Rosario, Bogotá, Colombia.
- Subgerencia Cultural del Banco de la República. Ciclos económicos. Recuperado de <http://www.banrepcultural.org/blavirtual/ayudadetareas/economia/econo28.htm>.
- Transporte de Carga de Pits. (2011). *Definición transporte de carga*. Recuperado de <http://transportedecargadepits.wordpress.com/2011/09/29/definicion-del-servicio-de-transporte-de-carga/>
- Zamora, A. I.; Pedraza, O. H. (2013). El transporte internacional como factor de competitividad en el comercio exterior. *Journal of Economics, Finance and Administrative Science*, 18, 108-118.
- Zaninovich, D. (2014). Implementando la política nacional de logística en Colombia. Taller sobre transporte de carga y logística. Lima.

CAPÍTULO VIII

Comportamiento de la cascarilla de café como alternativa sostenible en construcciones livianas para aislamiento acústico

DANIEL ARISTIZÁBAL TORRES¹
ADÁN SILVESTRE GUTIÉRREZ²
ANA MARÍA BARRERA RODRÍGUEZ³

1. Introducción

Con frecuencia el ser humano percibe molestias dentro de las edificaciones por el ruido generado en el exterior por el tráfico, las construcciones aledañas o sus propios vecinos. Esta problemática se debe en gran parte a que los materiales de construcción utilizados tienen un bajo nivel de aislamiento acústico. Para solucionar este inconveniente, comercialmente se utilizan algunos materiales que tienen elevados costos y componentes tóxicos, y son pocos amigables con el medio ambiente. Algunos autores proponen utilizar materiales reciclables para este fin,

1 <https://orcid.org/0000-0002-6552-2585>. Universidad Libre de Colombia. Colombia. daniel.aristizabal@unilibre.edu.co

2 <https://orcid.org/0000-0003-0110-0508>. Universidad Libre de Colombia. Colombia. adan.silvestreg@unilibre.edu.co

3 <https://orcid.org/0000-0003-3701-2278>. Universidad Libre de Colombia. Colombia. anam.barrerar@unilibre.edu.co

como polvo de vidrio (Travan *et al.*, 2017) y aglomerados de caucho (Pedroso, De Brito y Silvestre, 2017). De acuerdo con la Organización Internacional del Café (2019), Colombia, como tercer productor de café en el mundo, genera varias toneladas de residuos que pueden ser explotados en otras actividades. Uno de esos residuos, la cascarilla de café, suele utilizarse como material de combustión en calderas, debido a su alto poder calorífico (Arenas, 2009). Este artículo pretende presentar los resultados de la evaluación del comportamiento de la cascarilla de café como aislante acústico en construcciones livianas, y su comparación con otros materiales aislantes utilizados comercialmente, como la fresaca, el poliuretano, el cartón utilizado en paneles de huevos y el icopor.

1.1. Aislamiento acústico

El aislamiento acústico es un tipo de medida para evitar que las ondas sonoras penetren. Se demuestra mediante la pérdida de transmisión de sonido, que se expresa por la diferencia de decibelios entre el sonido incidente y el sonido permeado. Cuanto más alto sea el número, mejor será la propiedad de aislamiento acústico (Zhang, 2011). Además, el aislamiento acústico es el método principal de control de la propagación del sonido en los edificios. Este se ocupa de reducir la transmisión del ruido entre un recinto y otro. El aislamiento modifica la diferencia entre el nivel de intensidad acústica en un local emisor y el nivel de intensidad acústica en un local receptor (Texsa, 2009).

También podría definirse como el conjunto de materiales, técnicas y tecnologías desarrollados para aislar o atenuar el nivel sonoro en un determinado espacio. Aislar supone impedir que un sonido penetre en un medio o que salga de él. Por ello, para aislar se usan tanto materiales absorbentes como materiales aislantes. Al incidir la onda acústica sobre un elemento constructivo, una parte de la energía se refleja, otra se absorbe y otra se transmite al otro lado. El aislamiento que ofrece el elemento es la diferencia entre la energía incidente y la energía transmitida, es decir, equivale a la suma de la parte reflejada y la parte absorbida (Ecured, 2011).

En los últimos años se han desarrollado investigaciones cuyo objetivo es aislar acústicamente edificaciones con materiales amigables con el medio ambiente. Feng (2016) utilizó aerosoles híbridos de celulosa; Urrestarazu (2014) propuso utilizar paredes verdes como aislantes pasivos

en construcciones; Ricciardi (2014) desarrolló paneles con materiales reciclables, como papel y fibras textiles de desecho, y Koruk (2015) usó fibras compuestas por plantas del género *Luffa*.

1.2. Cascarilla de café

El pergamino de café, cisco o cascarilla es la parte que envuelve el grano inmediatamente después de la capa mucilaginosa, y representa alrededor del 12 % del grano de café en base seca (Manals-Cutiño, Salas-Tort y Penedo-Medina, 2018). En la imagen 1 se presenta un corte longitudinal de un grano de café que permite la identificación del endocarpio o cascarilla de café.

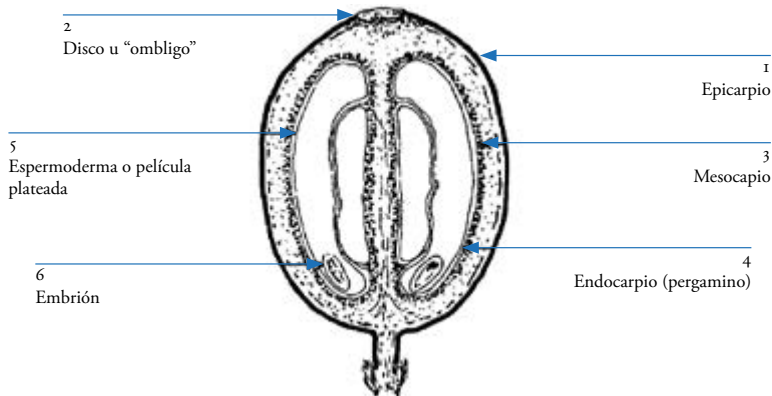


IMAGEN 1. Composición química de la pulpa de café y otros subproductos

Fuente: Braham, J y Bressani, 1978).



IMAGEN 2. Cascarilla de café

Fuente: Satrio, 2012.

Actualmente, la mayor utilización del cisco está concentrada como material de combustión en calderas; esto, debido a su alto poder

calorífico. También se ha usado para la remoción de iones de plomo (Barón Pacheco, 2014), para la construcción de perfiles de madera con PVC (Ortega Leyva, 2018) y como quemador en el proceso de secado de café (Manrique Waldo, 2018). Además, se han realizado estudios experimentales del comportamiento como material de construcción de la mezcla entre cascarilla de café y concreto, en la cual el cemento es el aglutinante y la cascarilla de café sirve de relleno, buscando reducir los costos de construcción de vivienda al tratarse de un material barato y accesible (García y Olaya, 2011). Por las propiedades mecánicas que presenta el cisco de café, su excelente resistencia, durabilidad, nivel de refinamiento requerido, disponibilidad y costos de adquisición, se plantea la utilización de la cascarilla de café como aislante acústico.

2. Metodología

El proceso de investigación se desarrolló en cuatro fases, que se describen a continuación.

2.1. Fase 1. Construcción de prototipo

Se hizo un modelo de construcción liviana de 60 cm de largo, 60 cm de ancho y 80 cm de altura, con parales, omegas y placas de yeso, como se presenta en las imágenes 3 y 4. En el interior del prototipo se ubicaron



IMAGEN 3. Modelo de construcción liviana

Fuente: elaboración propia.



IMAGEN 4. Interior del modelo

Fuente: elaboración propia.

dos parlantes como transmisores de sonido y en el exterior se utilizó un sonómetro como instrumento para obtener los datos de aislamiento acústico. Además, se utilizó el programa NCH Tone Generator para emular sonidos a diferentes frecuencias.

2.2. Fase 2. Desarrollo de pruebas con diferentes materiales aislantes

Se adquirieron materiales utilizados tradicionalmente como aislantes, como fibra de vidrio, cartón para empaquetado de huevos, poliuretano, polietileno expandido o icopor, y fresca. Cada prueba consistió en tomar diez datos con el sonómetro con un intervalo de diez segundos, y promediar estos datos entre sí, para obtener un solo dato de aislamiento para cada frecuencia. Este procedimiento se denomina «medición».

Cada prueba se inició con la medición sin ningún tipo de aislante en el modelo, para tener una base y realizar el comparativo con los datos de aislamiento de cada material. Además, con cada prueba se hizo la medición del ruido de fondo, para poder obtener una fuente de error de cada ensayo. Luego, la muestra del material a analizar se ubicó en el espacio vacío entre placa y placa del modelo, y se generó el tono con el emulador a la frecuencia deseada y ubicando el sonómetro en el centro de una cara para obtener el aislamiento de la muestra a la frecuencia correspondiente. De cada material se obtuvieron seis promedios, uno para cada frecuencia: 250, 500, 1000, 2000, 4000 y 8000 Hz; estos se promediaron entre sí para obtener un dato o nivel de aislamiento total. Este procedimiento se repitió con cada uno de los materiales. En la imagen 5 se muestra la ubicación del cartón dentro del modelo.



IMAGEN 5. Desarrollo de pruebas con cartón para empaquetado de huevos

Fuente: elaboración propia.

2.3. Fase 3. Desarrollo de pruebas con cascarilla de café

Se realizó el mismo procedimiento descrito en la fase dos utilizando cascarilla de café.

Se realizaron pruebas para cascarilla de café a granel y encapsulada en polietileno de alta y baja densidad.



IMAGEN 6. Desarrollo de pruebas con cascarilla de café empaquetada

Fuente: elaboración propia.

2.4. Fase 4. Evaluación de los resultados

Se promediaron las mediciones obtenidas en cada una de las pruebas, y se realizó el análisis de los resultados en Excel.

3. Resultados

Se obtuvieron los datos de las diez pruebas por cada material a seis frecuencias diferentes.

En la tabla 1 se presentan los datos resultantes para la cascarilla de café encapsulada en polietileno de baja densidad.

TABLA 1. Resultados cascarilla de café encapsulada en polietileno de baja densidad

PRUEBA N.º	RUIDO DE FONDO (DECIBELES)	NIVELES DE SONIDO (DECIBELES)					
1	43,00	86,60	65,90	64,40	70,20	68,00	57,70
2	44,40	86,60	66,00	64,40	70,90	66,50	58,00
3	50,10	86,30	68,00	65,60	70,10	65,60	58,20
4	56,60	86,50	68,90	65,80	70,00	64,90	57,50
5	44,20	86,20	66,30	64,00	70,10	62,00	58,00
6	39,90	86,20	64,00	62,40	69,40	60,90	57,00
7	40,90	86,30	64,10	64,80	70,40	61,50	57,80
8	41,30	86,30	66,00	62,70	70,70	59,70	57,60
9	42,30	86,50	63,00	64,10	71,50	65,00	58,20
10	42,10	86,60	73,70	65,50	71,30	63,10	58,50
	Promedio	86,41	66,59	64,37	70,46	63,72	57,85
	Frecuencia (Hz)	250	500	1000	2000	4000	8000

Fuente: elaboración propia.

En las tablas 2 y 3, y en la gráfica 1 se presentan los resultados obtenidos para cada material.

TABLA 2. Resultados para cada material

	DECIBELES					
Sin aislante	90,92	75,37	81,79	81,78	78,06	60,16
Fresca	90,52	65,79	70,86	79,11	78,09	55,68
Poliuretano	94,64	74,81	87,13	78,87	65,84	58,56
Fibra de vidrio	81,71	65,59	74,94	65,61	71,63	61,23
Cartón para empaque de huevos	84,16	69,46	77,62	71,33	71,63	56,19
Cisco en bolsa polietileno de alta densidad	84,61	69,09	68,35	71,6	66,9	56,48
Icopor 2 cm	86,96	67,38	76,04	77,59	64,76	55,21
Cisco a granel	78,69	68,45	66,61	67,28	59,75	56,2
Cisco en bolsa polietileno de baja densidad	86,41	66,59	64,37	70,46	63,72	57,85
Frecuencia (Hz)	250	500	1000	2000	4000	8000

Fuente: elaboración propia.

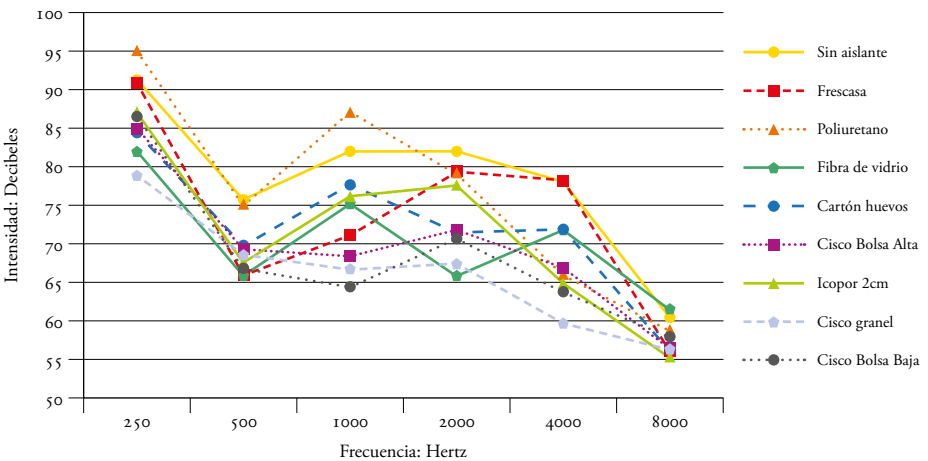
TABLA 3. Promedio de los resultados para cada material

MATERIAL	PROMEDIOS TOTALES (DECIBELES)
Fibra de vidrio	70,12
Cartón para empaquetado de huevos	71,73
Cisco en bolsa polietileno de alta densidad	69,51
Icopor 2 cm	71,32
Cisco a granel	66,16
Cisco en bolsa polietileno de baja densidad	68,23

Fuente: elaboración propia.

En la gráfica 1 se observan las curvas de cada material según los decibeles absorbidos.

Se hace evidente que, en general, todos los materiales se comportaron como aislantes acústicos, pero las curvas con menor grado de intensidad son aquellas en las que se usa la cascarilla de café. Los mejores resultados se obtuvieron con cascarilla de café en bolsa de baja densidad a bajas frecuencias y con cascarilla de café a granel en altas frecuencias.

**GRÁFICA 1.** Comparativo de los resultados por cada material

Fuente: elaboración propia.

4. Conclusiones

Es válida la implementación de un prototipo de construcción liviana para la evaluación del comportamiento de diferentes materiales como aislantes acústicos.

De acuerdo con los datos obtenidos, puede reafirmarse que la fibra de vidrio, la frescasa, el cartón para empaquetado de huevos, el poliuretano y el icopor tienen buenas propiedades para el aislamiento acústico.

El nivel de aislamiento de cada material es independiente para cada frecuencia, y los resultados más bajos se obtuvieron a una frecuencia de 1000 Hz.

Los resultados de la investigación indicaron que el mayor porcentaje de reducción de ruido, medido en el exterior del modelo de construcción, se obtuvo con la cascarilla de café. Estos resultados determinan una gran posibilidad de uso de un material de bajísimo costo y que, a la fecha solo se utiliza, como combustible en algunos secadores de café, debido a su alto poder calorífico. Además, su inocuidad lo hace inmune al ataque de elementos que puedan producir descomposición y no se registra ningún tipo de efecto secundario en su aplicación, como en algunos de los materiales usados actualmente.

El uso de la cascarilla de café como aislante sónico en construcciones livianas plantea una solución sostenible a una problemática nacional y mundial de acuerdo con lo planteado en el ODS 9: industria, innovación e infraestructura.

5. Referencias

- Arenas, D. (2009). *Propuesta de diseño de un proceso para la generación de energía eléctrica a partir de los residuos de la producción de café* (Trabajo de grado). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- Barón, L. J. (2014). *Evaluación de la cascarilla de café como material adsorbente para la remoción de iones plomo Pb²⁺ presente en soluciones acuosas* (Trabajo de grado). Universidad Libre, Bogotá, Colombia.
- Braham, J; Bressani, R. (1978). *Pulpa de café: composición, tecnología y utilización*. Ottawa: Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo.
- Ecured. (2011). *Aislamiento acústico*. Recuperado de https://www.ecured.cu/Aislamiento_acústico

- Feng, J.; Le, D.; Nguyen, S. T.; Tan, V.; Nien, C.; Jewell, D.; Duong, H. M. (2016). Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects Silica – cellulose hybrid aerogels for thermal and acoustic insulation applications. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 506, 298-305. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2016.06.052>
- García, C. D.; Olaya, J. M. (2011). Dosificación de hormigones ligeros con cascarilla de café. *Ingeniería e Investigación*, 51-56.
- International Coffee Organization. (2019). *Total production by all exporting countries*. Recuperado de <http://www.ico.org/prices/po-production.pdf>
- Koruk, H.; Genc, G. (2015). Investigation of the acoustic properties of bio luffa fiber and composite materials. *Materials Letters*, 157, 166-168. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2015.05.071>
- Manals, E. M.; Salas, D.; Penedo, M. (2018). Characterization of vegetable biomass coffee husk, 169-181. Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v38n1/rtq13118.pdf>
- Manrique, R. J. (2018). *Estudio de la combustión de pélet de cisco de café* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Ortega, M. N. (2018). Extrusión de perfiles de madera con PVC y cisco de café. *Tecnología Del Plástico*, 2, 1-5.
- Pedroso, M.; de Brito, J.; Silvestre, J. D. (2017). Characterization of eco-efficient acoustic insulation materials (traditional and innovative). *Construction and Building Materials*, 140, 221-228. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.02.132>
- Ricciardi, P.; Belloni, E.; Cotana, F. (2014). Innovative panels with recycled materials: Thermal and acoustic performance and Life Cycle Assessment. *Applied Energy*, 134, 150-162. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.07.112>
- Satrio, J. (2012). Potencial de la cascarilla de café como fuente de energía, combustible y químicos. Ponencia presentada en el 1.º Congreso Cafetalero del Norte de Nicaragua.
- Texsa. (2009). Tecsound. *Sistemas de aislamiento acústico para obra nueva y rehabilitación*. Recuperado de https://pdf.archiexpo.es/pdf/texsa/sistemas-aislamiento-acustico/3057-30300-_2.html
- Travan, A.; Marsich, L.; Ferluga, A.; Caniato, M.; Kyaw Oo D'Amore, G.; Schmid, C.; Turco, G. (2017). Innovative thermal and acoustic insulation foam from recycled waste glass powder. *Journal of Cleaner Production*, 165, 1306-1315. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.214>

- Urrestarazu, M.; Bures, S.; Erkoreka, A.; Pérez, G.; Azkorra, Z.; Coma, J.; ... Álvaro, J. E. (2014). Evaluation of green walls as a passive acoustic insulation system for buildings. *Applied Acoustics*, 89, 46-56. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2014.09.010>
- Zhang, H. (2011). Heat-insulating Materials and Sound-absorbing Materials. En H. Zhang (ed.), *Building Materials in Civil Engineering* (304-315). Cambridge: Woodhead Publishing. DOI: <https://doi.org/doi:10.1533/9781845699567.304>

CAPÍTULO IX

Sostenibilidad e incertidumbre en la agricultura: análisis descriptivo multivariado de variables agroclimáticas y socioeconómicas

Caso *Passiflora Ligularis*, Huila (Colombia)

LEILA NAYIBE RAMÍREZ CASTAÑEDA¹

NELSON OBREGÓN NEIRA²

GINA PAOLA GONZÁLEZ ANGARITA³

1. Introducción

Los cambios en los patrones de demanda de productos y su distribución son continuos y se estima que lo sigan siendo, o incluso se aceleren en el corto plazo, por lo que es necesario efectuar ajustes en las actuales cadenas de suministro, considerando mejores prácticas para nuevos retos de la industria, como mercados caracterizados por la exigencia de

1 <https://orcid.org/0000-0002-0651-0971>, Universidad Libre, Colombia, leylan.ramirezc@unilibre.edu.co

2 <https://orcid.org/0000-0002-0881-9833>, Pontificia Universidad Javeriana, Colombia. nobregon@javeriana.edu.co

3 <https://orcid.org/0000-0002-6075-6665>, Universidad Libre, Colombia, ginap.gonzaleza@unilibrebog.edu.co

estrictas normas de inocuidad de los alimentos (Epperson y Estes, 1999). Además, dentro de las cadenas de suministro agrícola está el eslabón de producción, donde la incertidumbre y el riesgo son características propias; debido a la complejidad de estos sistemas físicos y económicos, se hace difícil predecir sus atributos (Ramírez, Meneses y Campos, 2018).

Por lo general, cuando se toman decisiones con incertidumbre, estas se caracterizan por el riesgo, ya que no todas las consecuencias posibles son igualmente deseables, y la producción es el entorno esencial donde se merece un análisis más detallado. El mayor desarrollo del efecto de la incertidumbre sobre la toma de decisiones ha sido una contribución de la economía a través de la exposición de la teoría de la utilidad esperada (Moschini y Hennessy, 2001).

La producción agrícola está sujeta a múltiples incertidumbres, cualquier decisión respecto a la planificación de la producción está asociada con diferentes probabilidades de lograr ingresos debido al clima, el mercado y otros eventos que no pueden ser controlados por el productor, y que inciden en la gestión de la finca (OECD, 2009). La planificación sostenible discurre sobre el tratamiento de los riesgos y la incertidumbre, dado que permite considerar estrategias más robustas que se derivan de entender las condiciones ambientales, la seguridad alimentaria y los riesgos para la salud de los consumidores (Fischer, Ermolieva y Sun, 2010).

Estos elementos conceptuales alrededor de la planificación sostenible también se discuten en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (Comisión Económica Para América Latina y el Caribe [Cepal], 2018), donde se han declarado diecisiete objetivos que se consolidan como una herramienta de planificación y seguimiento para los países, la cual incluye temas prioritarios a través de una agenda proyectada para 2030, y constituyen una directriz para el crecimiento social, ambiental y económico para América Latina y el Caribe.

En particular, la investigación propuesta se alinea con posibles respuestas al ODS 2, de hambre cero, que invita a ofrecer soluciones clave al sector alimentario y agrícola para eliminación del hambre y la pobreza; con este fin, la meta que se sugiere es: «Duplicar la productividad agrícola y los ingresos de los productores de alimentos a pequeña escala» (Cepal, 2018). Además:

Asegurar la sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos y aplicar prácticas agrícolas resilientes que aumenten la productividad y la producción, que contribuyan al mantenimiento de los ecosistemas, fortalezcan la capacidad de adaptación al cambio climático, los fenómenos meteorológicos extremos, las sequías, las inundaciones y otros desastres, y mejoren progresivamente la calidad de la tierra y el suelo. (Cepal, 2018)

Así, el objetivo de esta investigación es describir y analizar la sostenibilidad de los sistemas agrícolas a partir del examen de indicadores: (1) ambientales, relacionados con los sistemas agroclimáticos y biológicos —temperatura, humedad relativa, brillo solar, precipitación, relación del suelo y planta, entre otros—; (2) económicos —tamaños de las fincas, precios, infraestructura de costos—; y (3) sociales —propiedad de la tierra, educación del productor, integración de la familia alrededor de la actividad agrícola— (Praneetvatakul y Sirijinda, 2007).

El aporte de esta investigación es amplificar el conocimiento de estos indicadores, lo que permite establecer las brechas estructurales de la productividad, la infraestructura logística y la producción del cultivo de *Passiflora ligularis* (granadilla), las condiciones de educación, la estructura familiar, las relaciones de suelo-planta y las condiciones de ambientales actuales de los agricultores localizados en el sur del país.

A partir de allí se propone un análisis de indicadores ambientales a través de la cuantificación de la fluctuación temporal de las variables agroclimáticas usando un análisis descriptivo estadístico y, a su vez, una caracterización de los indicadores socioeconómicos de los productores con un análisis de correspondencias múltiples. Este análisis permite comprender las fuentes de incertidumbre, el contexto socioeconómico de los sistemas productivos y sus condiciones ambientales, a través de la apropiación del conocimiento de los sistemas agrícolas a través de un caso de estudio.

Entender la dinámica y complejidad de los sistemas productivos en la agricultura permite generar decisiones sostenibles que beneficien de forma holística y armónica los escenarios de planificación donde los agricultores minimicen los riesgos y mejoren sus condiciones de producción y de mercado, como lo propone la meta del ODS 2.

2. Metodología de la investigación

En la actualidad los productores se enfrentan a la incertidumbre debido a las consecuencias económicas que se derivan de su limitada capacidad para predecir el tiempo, los precios y las respuestas biológicas debido a las diferentes prácticas de siembra; por tal razón, es evidente que esta característica de la agricultura se debe reflejar en la toma de decisiones, que debe estar respaldada por la interpretación de la incertidumbre y el riesgo (Pannell, Malcolm y Kingwell, 2000). Factores como el clima, las enfermedades de los cultivos, los tipos de suelo, las especies de cultivo, el riego, las políticas de *marketing* y la tecnología interactúan para formar y alterar las incertidumbres de las prácticas agrícolas.

A esto se suman las preocupaciones por el cambio climático, que influye en la calidad de los cultivos (Mattos *et al.*, 2014), la variación del mercado y los cambios en la regulación para un manejo más sostenible de recursos que obliga a los productores a adaptar de forma continua sus prácticas (Dury, Schaller, García, Reynaud y Bergez, 2011). Estas nuevas prácticas deben abordar al mismo tiempo desafíos relacionados con el medio ambiente, la eficiencia en el uso de los recursos y la sostenibilidad económica de las fincas (Meynard, Doré y Habib, 2001). La metodología propuesta para cumplir el objetivo de esta investigación se describe a partir de la siguiente estructura (diagrama 1).

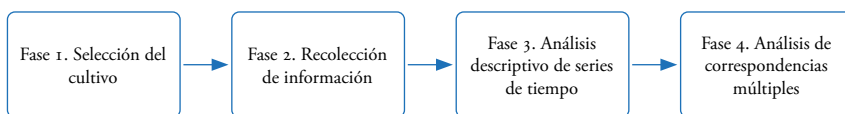


DIAGRAMA 1. Fases del proceso metodológico.

Fuente: elaboración propia.

2.1. Fase 1: selección del cultivo

La investigación se desarrolla para cultivos de pasifloras, y tiene como criterios de selección tres aspectos: el origen botánico, la importancia comercial y el impacto social. En cuanto al origen botánico, la familia de las Passifloraceae está constituida por 630 especies agrupadas en catorce géneros distribuidos en los trópicos, desde las zonas costeras hasta los páramos (AndinoHolm-Nielsen, L. P, Jorgensen y Lawesson, 1998;

Ocampo, 2007). Dentro de este conglomerado de pasifloras se destacan el maracuyá, *Passiflora edulis*; la granadilla, *Passiflora ligularis*; la gulupa, *Passiflora edulis*, y la curuba larga, *Passiflora mollissima* (Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas [SCCH], 2009); las tres primeras se caracterizan por su valor comercial en el mercado local e internacional (MADR, 2012). El origen botánico de las pasifloras permite establecer características organolépticas únicas que están asociadas con las condiciones de cosecha, poscosecha y requerimientos edafoclimáticos. Estos últimos se refieren en las características de las variables de altura sobre el nivel del mar, temperatura (°C) y condiciones de la tierra, elementos específicos para cada fruta dentro de la familia Passifloraceae. Estos criterios, al igual que el comportamiento del clima, tienen un efecto importante en la productividad de los cultivos y la calidad esperada del fruto, como la frescura. En consecuencia, estas variables asociadas a la técnica de cultivo influyen de manera permanente en el modelo de toma de decisiones, porque permiten planificar políticas de control y seguimiento como la aplicación de fertilizantes, irrigación de agua, en general, el tiempo de inicio para la programación de operaciones de cosecha que garantice la minimización de pérdidas de producto por el inadecuado manejo durante su crecimiento, para asegurar la frescura del producto.

La importancia comercial hace referencia a la potencialidad comercial de las frutas exóticas como las pasifloras, que son de interés para Colombia, ya que le permitirá insertarse en la economía mundial en el mediano y largo plazo al ampliar la oferta de productos del campo. Esta premisa se hace evidente en un mercado en crecimiento y una dinámica de producción agrícola, ya que el valor de las exportaciones de la actividad agropecuaria tuvo un incremento del 58,2 % entre 2002 y 2005, lo que se traduce en mayores ingresos para la nación. Además, se estima que para 2020 la dinámica del sector va a permitir un crecimiento de 18 millones de toneladas de producción, lo que hará que la demanda del mercado doméstico será insuficiente para absorber la producción. En Colombia, las políticas alineadas con el sector agrícola buscan incentivar la exportación de productos que potencialicen el desarrollo regional. La selección de esta apuesta exportadora se estableció según criterios relacionados con las oportunidades de mercado, los indicadores de competitividad y los requisitos para lograr su admisión en los mercados internacionales. Estos productos están compuestos por un

conjunto de especies con desarrollo y otras potencialidades, de acuerdo con la oferta de frutas; con posibilidades ornamentales y propiedades medicinales (MADR, 2012).

El impacto social se refiere, en términos económicos, a los aportes referidos en el PIB, puesto que es un renglón importante que aporta en gran medida al desarrollo de la nación a través del PIB, considerando el segundo sector de importancia en la economía durante el tercer trimestre de 2013, con un crecimiento del 6,6 % (Bruto y Económica, 2013). En materia de cifras, se dio a conocer que, en lo relacionado con frutales, existen cerca de 330 000 hectáreas plantadas en Colombia, con una producción anual promedio de cinco toneladas y 1,8 billones de pesos, la participación de 300 000 familias involucradas en el negocio y la generación de 1,8 empleos directos por hectárea cultivada (Pasifloras, 2012). Las cifras estiman la importancia de los cultivos de pasifloras en Colombia, que está relacionada con la cantidad de población que depende la actividad comercial del cultivo, su rentabilidad y su aporte al desarrollo regional.

2.2. Fase 2: recolección de información

En la fase de recolección de información, el estudio fue direccionado en los municipios de Iquira, La Argentina, La Plata y Palestina, localizados en el departamento del Huila. a muestra de productores que participaron en el estudio corresponde a 113, que se caracterizaron según variables socioeconómicas en relación con el número de jornales durante el periodo del cultivo, rendimiento, mes de siembra, mes de cosecha, precio de venta, infraestructura, canal de mercado, nivel de formación, número de integrantes de la familia del productor, tipo de transporte, propietario del predio y crédito financiero. Esta información fue suministrada por Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico de las Pasifloras en Colombia (CEPASS) (2016), a través de la información recolectada en las visitas técnicas por los ingenieros agrónomos de la región.

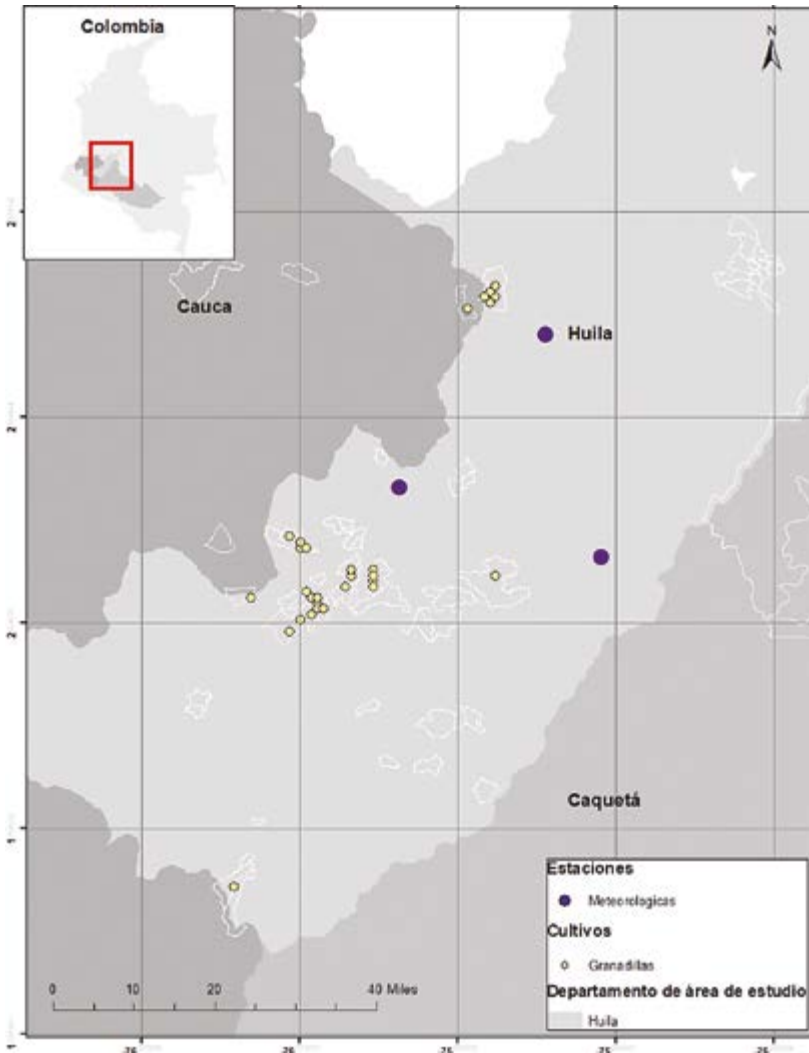


IMAGEN 1. Localización de los productores analizados en este estudio

Fuente: elaboración propia.

En relación con la recolección de indicadores ambientales, una vez identificados los productores de pasifloras en el Huila, se obtuvieron las series agroclimáticas de las estaciones más cercanas al objeto de estudio, a través de sistemas de información geográfica, como se aprecia en la imagen 1. Se identificaron tres estaciones del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), que se describen a continuación:

TABLA 1. Estaciones agroclimáticas seleccionadas

NÚMERO DE ESTACIÓN	ELEVACIÓN	MUNICIPIO	LATITUD	LONGITUD
21085020	1095	Iquira	2,652194	-75,6293
21065040	1270	Garzón	2,2525	-75,5294
21055020	1070	La Plata	2,378278	-75,8913

Fuente: Ideam.

La información estadística disponible sobre los sistemas agrícolas permite capturar la dinámica y las relaciones entre variables de las diferentes dimensiones de la sostenibilidad en la agricultura. Así se pretende que su análisis permita la construcción de modelos conceptuales para asegurar una planificación que aporte al diseño de sistemas de cultivo innovadores.

2.3. Fase 3: análisis descriptivo de series de tiempo

Las series de tiempo son una combinación de valores del pasado; su análisis es posible a través de un área teórica prominente como la estadística matemática. Debido a su creciente importancia, durante los últimos años, este ha sido un campo prolífico (Pedrycz y Chen, 2013).

Esta investigación introduce los indicadores ambientales a partir de su análisis descriptivo. Las variables, como la temperatura, la precipitación y la humedad relativa, interactúan y lo hacen de manera no lineal; ya que las variables agroclimáticas son importantes y difíciles de predecir, la complejidad del sistema limita el conocimiento sobre él. El hombre observa la naturaleza y el clima para aprender, extraer información y predecir. Nuestro conocimiento es restringido e introduce incertidumbre; esta razón obliga a introducir un lenguaje estadístico para adquirir información cuantitativa (Mudelsee, 2010). Una primera aproximación para introducir nuevo conocimiento acerca de una variable es el análisis descriptivo, que permite observar su comportamiento a una resolución temporal definida.

2.4. Fase 4: análisis de correspondencias múltiples

El análisis de correspondencias múltiples (ACM) es una extensión del análisis de correspondencia (CA) que permite analizar el patrón de

relaciones de variables categóricas dependientes. También se puede ver como una generalización del análisis de componentes principales, cuando las variables a analizar son categóricas en lugar de cuantitativas. Técnicamente, el ACM se obtiene aplicando un análisis de correspondencia estándar en una matriz de indicadores —es decir, una matriz cuyas entradas son 0 o 1— (Abdi y Valentin, 2007a).

La técnica es utilizada para analizar un conjunto de observaciones descritas por un conjunto de variables nominales. Cada variable nominal comprende varios niveles, y cada uno de estos se codifica como una variable binaria (Abdi y Valentin, 2007b).

Considere cada atributo en un conjunto seleccionado de una dimensión. Dado que p es cada atributo de J_k , con niveles $I_k = 1, \dots, j_k$ ($k = 1, \dots, p$) respectivamente; y dado que hay n —filas o sujetos) para $J = j_1 + j_2 + \dots + j_p$ (columnas o niveles de atributos—, la matriz de indicadores Z , Z puede ser representada como:

$$Z = [Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_p]$$

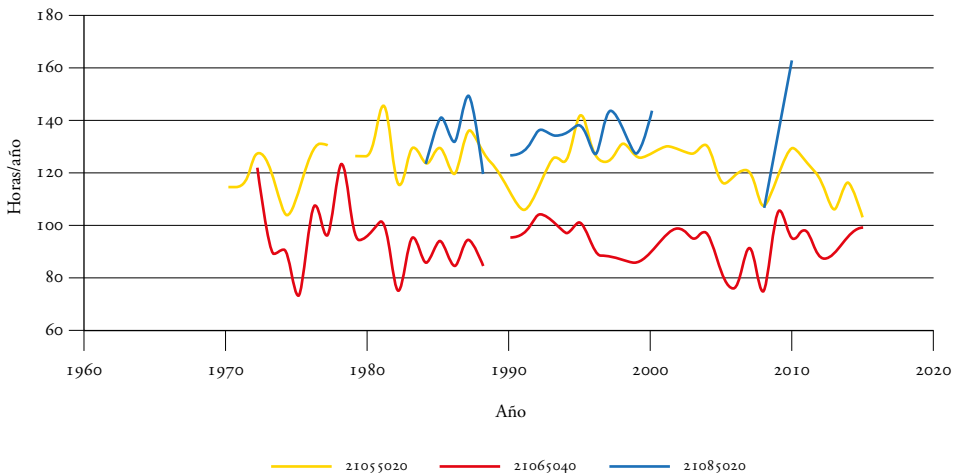
Donde $Z = [Z_{1k}, Z_{2k}, Z_{3k}, \dots, Z_{pk}]$ es una submatriz, mientras que las columnas corresponden a los niveles I_k de los atributos J_k . Cada fila de Z_k suma uno y cada fila de Z a p (Abdi y Valentin, 2007b).

Su interpretación se basa en la proximidad entre los puntos en un mapa de baja dimensión —es decir, de dos o tres dimensiones—. Las proximidades son significativas entre los puntos del mismo conjunto. Específicamente, cuando dos puntos de fila están cerca uno del otro, tienden a seleccionar los mismos niveles de las variables nominales. La proximidad entre niveles significa que los grupos de observaciones asociados con estos dos niveles son similares (Abdi y Valentin, 2007b).

Ahora bien, como preámbulo al análisis de indicadores socioeconómicos, se incluye un análisis gráfico de los precios promedio de venta con respecto al municipio, el rendimiento y el número de jornales. A esto se suman estimaciones porcentuales de las variables referidas a la producción del rubro y los municipios antes mencionados, de los cuales se dispone información. En un segundo momento, se desarrolla un análisis de correspondencias múltiples, con el fin de reducir la dimensionalidad de los datos y definir relaciones entre las variables que muestren el comportamiento del productor.

3. Análisis descriptivo de variables agroclimáticas y biológicas

La estructura de presentación de resultados se define en la primera parte los estadísticos descriptivos para determinar los indicadores ambientales, a través de una tabla y gráficos, en los que se resalta el comportamiento de algunas variables climáticas mediadas en series de tiempo que van desde 1968 hasta 2015. Luego se presentan estadísticos del análisis foliar por los municipios de Guadalupe y Suaza, incluyendo las variables relevantes para el análisis de suelos. Además, se tiene el análisis de la producción anual de granadilla desde 2007 hasta 2014, para los municipios Iquira, La Argentina y La Plata. Para dar inicio a la presentación de resultados el análisis de estadística descriptiva de las variables climatológicas se establece a continuación.



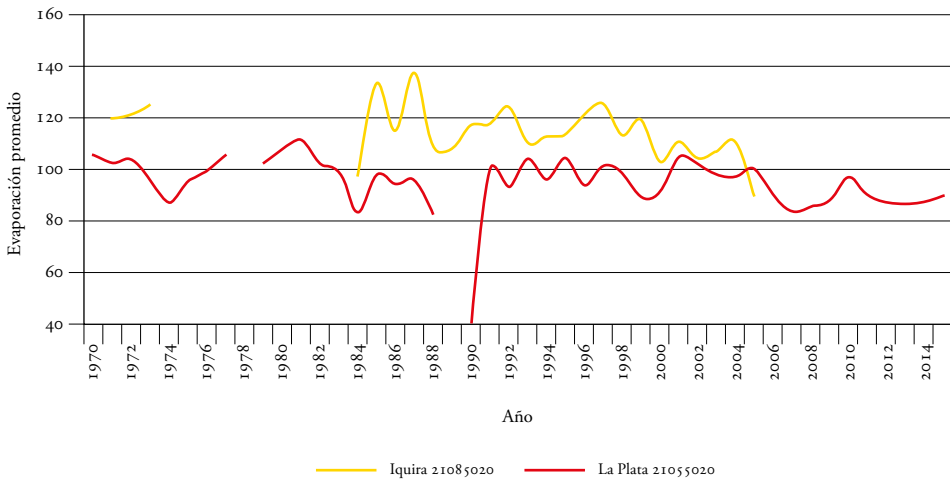
GRÁFICA 1. Serie del brillo solar promedio por municipios

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Ideam.

Teniendo en cuenta que la teoría indica que las variables climatológicas⁴ afectan de manera importante el rendimiento de cualquier rubro producido en el campo, se hace necesario mostrar el comportamiento de estas variables a lo largo de los años para definir condiciones ambientales

4 Es importante acotar que la falta de continuidad de las series se debe a valores faltantes en la base de datos para el año completo.

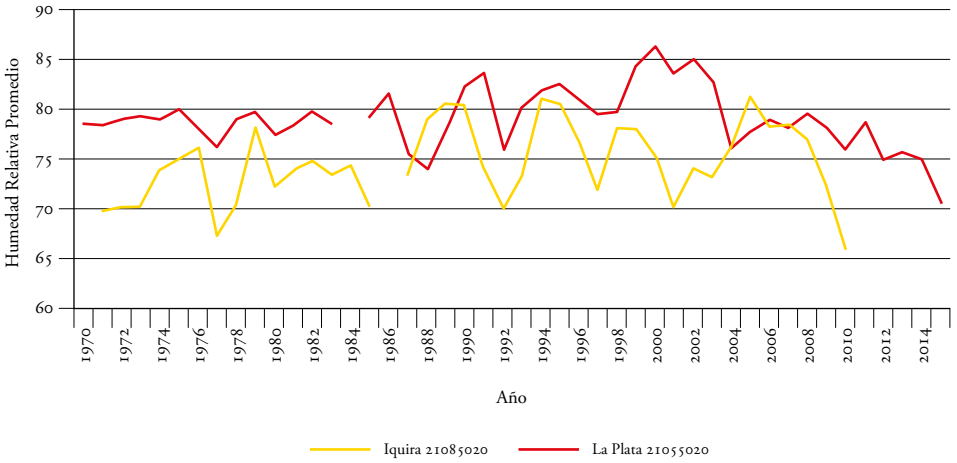
para el cultivo en estudio. En este sentido, la gráfica 1 presenta la serie referente al promedio del brillo solar desde 1970 hasta 2015. De aquí que el municipio La Argentina presente los menores valores de esta variable en relación con el resto, alcanzando valores mínimos por debajo de cien que se muestran casi constantes de 1990 a 2005, y luego presenta cambios significativos en la serie. Este comportamiento es similar en el municipio La Plata, aunque con valores superiores, que para los últimos años presentan una caída. Por el contrario, el municipio de Iquirá presenta valores máximos a partir de 2008 hasta 2010, donde alcanza un máximo de 163,03 horas/año.



GRÁFICA 2. Serie de la evapotranspiración promedio por municipios

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Ideam.

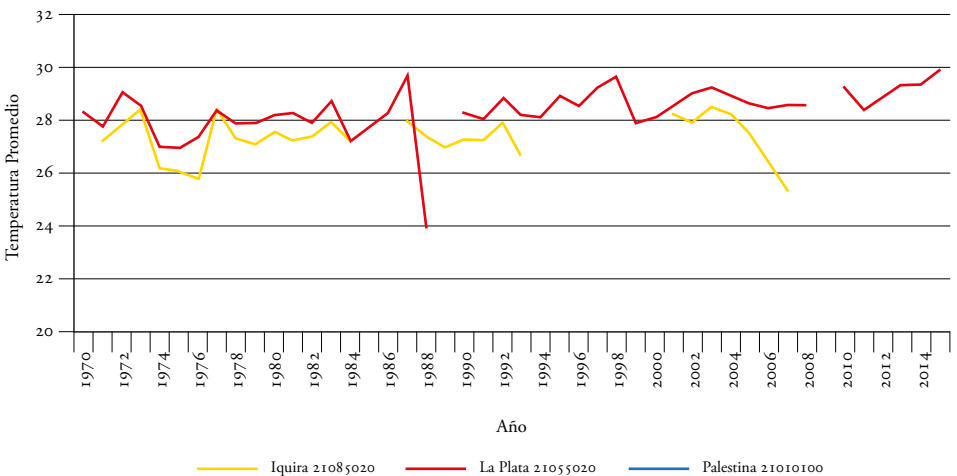
La gráfica 2 muestra los niveles promedio de evaporación para los municipios de Iquirá y La Plata. Los valores menores de esta variable se tienen para La Plata hasta 2005, cuando Iquirá presentó un valor menor, alcanzando su mínimo, con 90,06 mm/mes. Para 1990 La Plata había alcanzado un valor mínimo por debajo de los 50,0 mm/mes, dato que resulta atípico según el comportamiento de la serie. Considerando la humedad relativa promedio, los valores para estos mismos municipios son casi constantes; en algunos momentos, La Plata está por debajo de los valores que toma el municipio de Iquirá. Obsérvese que la humedad relativa a partir de 2005 tiende a disminuir (véase gráfica 3).



GRÁFICA 3. Serie de la humedad relativa promedio por municipios

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Ideam.

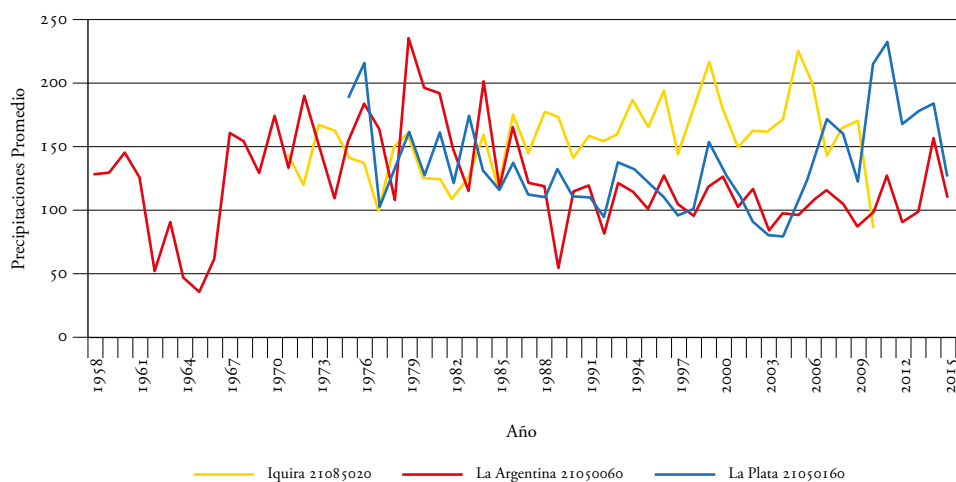
En la gráfica 4 se muestra la temperatura promedio en estos municipios, donde el comportamiento de las dos series toma valores similares y se mantiene casi constante a lo largo de los años, excepto a finales de los ochenta, cuando el municipio de La Plata alcanzó valores mínimos por debajo de los 25 °C. En términos generales, las temperaturas promedio no sobrepasan los 30 °C, pero a partir de 2010, La Plata muestra una leve tendencia a presentar aumentos en esta variable.



GRÁFICA 4. Serie de la temperatura promedio por municipios

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Ideam.

En cuanto a las precipitaciones promedio en los municipios Iquira, La Plata y La Argentina, los comportamientos son irregulares, mostrando cambios significativos a lo largo de los años. Si se observa la gráfica 5, se tiene que, a finales de los ochenta, el municipio de Iquira presenta las mayores precipitaciones promedio en relación con los otros municipios, pero estas descienden de manera considerable a partir de 2010. Por el contrario, en este mismo año, los municipios La Argentina y La Plata ascienden en sus niveles de precipitaciones. Finalmente, un par de años después, exponen valores con tendencia decreciente.



GRÁFICA 5. Serie de la temperatura promedio por municipios

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Ideam.

En la tabla 2 se presenta el análisis foliar. La edad promedio del cultivo en el municipio de Guadalupe es menor (9,20 meses) que en el Suaza (11,10 meses), donde sus valores máximos alcanzan los 24 meses.

TABLA 2. Análisis foliar

MUNICIPIO	GUADALUPE				SUAZA			
	MEDIA	DESV. TÍP.	MÍNIMO	MÁXIMO	MEDIA	DESV. TÍP.	MÍNIMO	MÁXIMO
edad	9,20	7,445	0	24	11,10	5,665	0	22
Arena %	52,90	7,440	38	72	50,04	6,405	40	60
limo %	22,80	3,518	18	30	22,92	3,277	18	28

MUNICIPIO	GUADALUPE				SUAZA			
	MEDIA	DESV. TÍP.	MÍNIMO	MÁXIMO	MEDIA	DESV. TÍP.	MÍNIMO	MÁXIMO
arcilla%	23,75	7,078	6	32	27,04	5,466	20	38
pH	5,727	0,491	5,030	6,970	5,181	0,479	4,250	6,610
C.E. dS/m	0,320	0,313	0,150	1,600	0,503	0,482	0,160	3,100
C.I.C.E. Me/100	10,358	3,803	3,600	18,760	9,895	4,009	3,860	21,820
C. O. %	1,426	0,407	0,810	2,800	1,829	0,448	0,990	3,000
Potasio me/100g	0,280	0,125	0,130	0,640	0,421	0,260	0,150	1,380
Calcio me/100g	7,338	2,822	2,400	13,200	6,379	2,659	2,250	15,800
Mg me/100g	2,478	1,069	0,730	4,910	2,463	1,406	0,690	7,470
Sodio me/100g	0,207	0,107	0,110	0,550	0,197	0,076	0,120	0,620
Hierro ppm	341,500	115,953	170,000	560,000	305,790	136,515	110,000	870,000
Mn	29,185	11,500	6,700	46,000	36,365	21,364	14,000	113,000
Cobre	6,535	3,645	1,800	14,000	5,577	1,991	2,300	9,800
Zinc	5,585	2,700	1,700	14,000	6,529	3,428	1,500	22,000
Boro	0,356	0,112	0,110	0,670	0,395	0,125	0,050	0,870
Fósforo	42,825	30,002	3,000	125,000	63,092	73,310	4,300	349,000
S SO ₄	7,538	7,240	0,250	30,000	14,082	25,553	0,250	184,000
% sat, magnesio	23,585	4,197	16,000	36,700	23,673	4,507	13,800	36,400
% sat, sodio	2,206	1,262	1,020	5,560	2,259	1,094	0,900	6,500
% sat, potasio	2,882	1,310	1,250	7,030	4,336	2,032	1,570	10,100
% sat, calcio	70,645	6,543	46,700	78,900	64,490	7,269	45,300	76,600
Ca/Mg	3,112	0,715	1,270	4,920	2,829	0,654	1,340	4,550
Ca/K	29,002	11,550	6,640	56,800	17,919	7,864	5,210	43,300
Mg/K	9,417	3,807	5,000	19,900	6,589	3,279	2,170	17,900
(Ca+Mg)/K	38,530	15,053	11,900	76,700	24,505	10,821	7,380	58,500

Fuente: elaboración propia a partir de datos de productores facilitados por CEPASS, 2016.

Las mediciones correspondientes al análisis de suelo para los municipios Guadalupe y Suaza se presentan en la tabla 3. Las mayores variabilidades de porcentaje de arena, limo y arcilla se encuentran en el municipio de Guadalupe, donde el promedio de arena es del 52,90 %.

TABLA 3. Análisis de suelo

ELEMENTOS	MEDIA	DES, TÍPICA	ELEMENTOS	MEDIA	DES, TÍPICA
S	1,2827	,57491	Mg/K	,3335	,09641
Fe	111,1538	20,16471	(Ca+Mg)/K	1,3746	,43361
Mn	208,5385	128,69351	N/S	6,2281	4,58057
Cu	14,6808	30,65376	N/P	20,3462	2,67331
Zn	71,4615	30,48177	Ca/B	354,5769	251,51353
B	51,7692	16,12528	Fe/Mn	,7400	,46989
Na	1005,3846	543,86013	P	,2804	,07225
Sat, K	14,2162	3,82159	K	3,0288	,39954
Ca/Mg	3,4662	2,13120	Ca	1,5912	,59289
Ca/K	1,0412	,41506	Mg	,3073	,07236

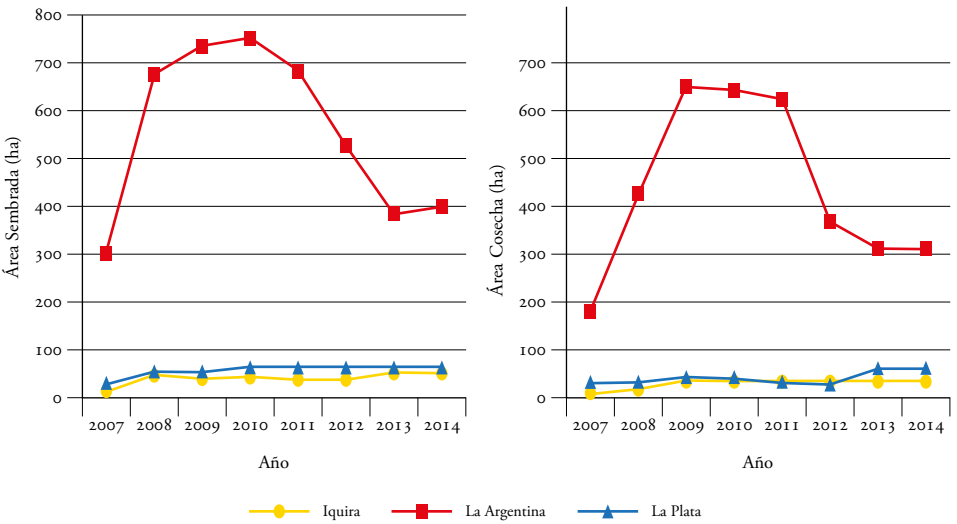
Fuente: elaboración propia a partir de datos de productores facilitados por CEPASS, 2016.

Con respecto al pH los valores en los dos municipios son similares, con medidas moderadamente ácidas, La conductividad eléctrica (C,E,dS/m) es menor en el municipio de Guadalupe, lo cual está relacionado con la cantidad de sales contenida, que, en promedio, es ligeramente mayor en este municipio, Además, el análisis de suelo indica que los mayores valores promedio de calcio (me/100g), hierro (ppm), Ca/k, Mg/K y (Ca+Mg)/K se presentan en el municipio de Guadalupe, Pero es en Suaza donde se observan los mayores valores promedio de Mn, fósforo, S SO₄ y % sat, de potasio.

4. Análisis de variables socioeconómicas

Con respecto a la producción anual de granadilla para de 2007 a 2014 en los municipios de Iquira, La Plata y La Argentina, este último presenta las mayores áreas de siembra y cosecha en todo el periodo estudiado.

Se observa que inicia en 2007, con áreas sembradas de por lo menos trescientas hectáreas, asciende en 2008 y solo hasta 2013 cae el número de hectáreas sembradas, y se mantiene así hasta 2014, Este mismo comportamiento ocurre con el área cosechada, solo que su caída es en 2012. Por el contrario, los municipios de La Plata e Iquira presentan valores similares, con un aumento del área cosechada en La Plata para 2013 (gráfica 6).

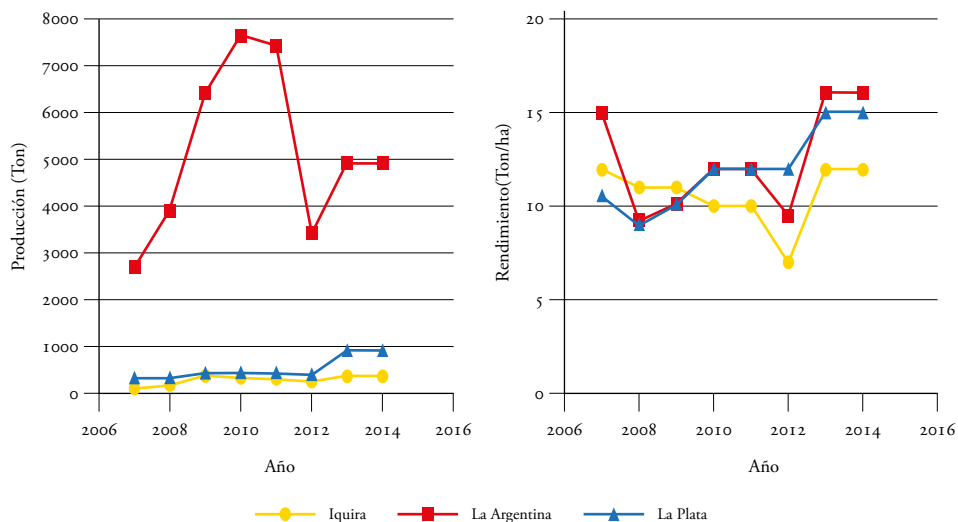


GRÁFICA 6. Serie del área sembrada y cosechada por municipios

En términos de productividad, el municipio de La Argentina presenta la mayor producción en toneladas de granadilla, pero esta desciende bruscamente en 2012, y luego se estabiliza en los años subsiguientes. Por el contrario, el municipio de Iquira genera la menor producción de este rubro en toneladas, y La Plata cambia su tendencia en 2012, con un aumento importante en esta medida. En el caso del rendimiento en toneladas por hectárea, en 2007 el municipio de La Argentina presentó los mayores valores, sin diferencias considerables, pero estos decayeron bruscamente en los siguientes años. En 2011 el rendimiento del cultivo de granadilla desciende; no obstante, en 2013 y 2014 se alcanza su máximo rendimiento, relacionado con fenómenos de mejoras en la cultura de siembra.

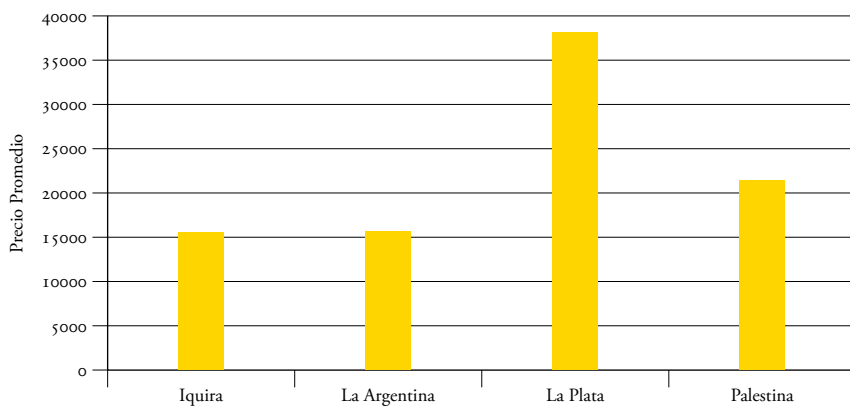
Para el municipio de Iquira, la línea de tendencia es constante hasta 2012, cuando el rendimiento desciende hasta siete toneladas

por hectárea, y aumenta por lo menos a cuatro toneladas por hectárea para 2013.



GRÁFICA 7. Serie de la producción y rendimiento por municipios

Fuente: Tomado Ministerio de Agricultura, 2015.

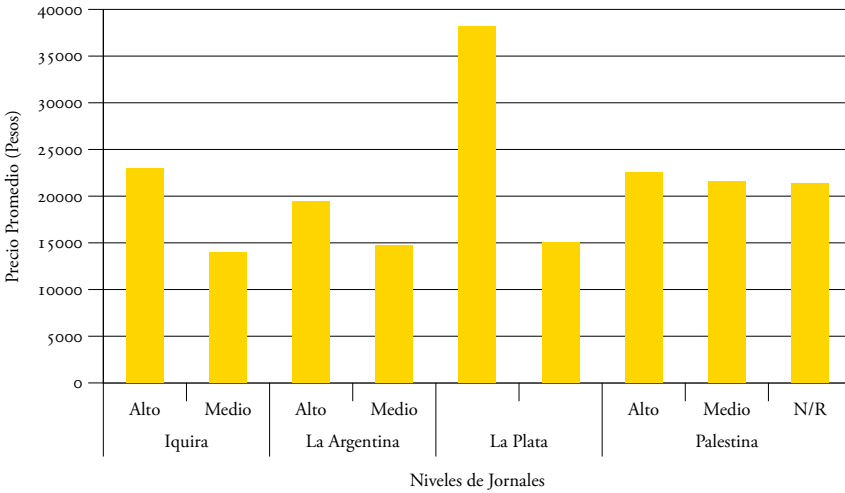


GRÁFICA 8. Distribución de los precios promedio por municipios

Fuente: Caracterización de productores CEPASS, 2016.

Considerando la variable de precios promedio por municipios, la gráfica 8 muestra que en el municipio de La Plata se obtienen los mayores precios promedio, seguido de Palestina, Iquira y La Argentina, con valores similares. Anexando la variable referente al número

de jornales por hectárea⁵, la gráfica 9 indica que en el municipio de Iquira en el nivel alto el precio promedio sobrepasa los 20 000 pesos, el nivel medio no alcanza los 15 000 pesos y no se encontraron niveles bajos de esta variable. De igual modo, en el municipio de La Argentina el nivel alto de jornales por hectárea coincide con los mayores precios promedio alcanzados.



GRÁFICA 9. Distribución de los precios promedio y jornales por municipios

Fuente: Caracterización de productores CEPASS, 2016.

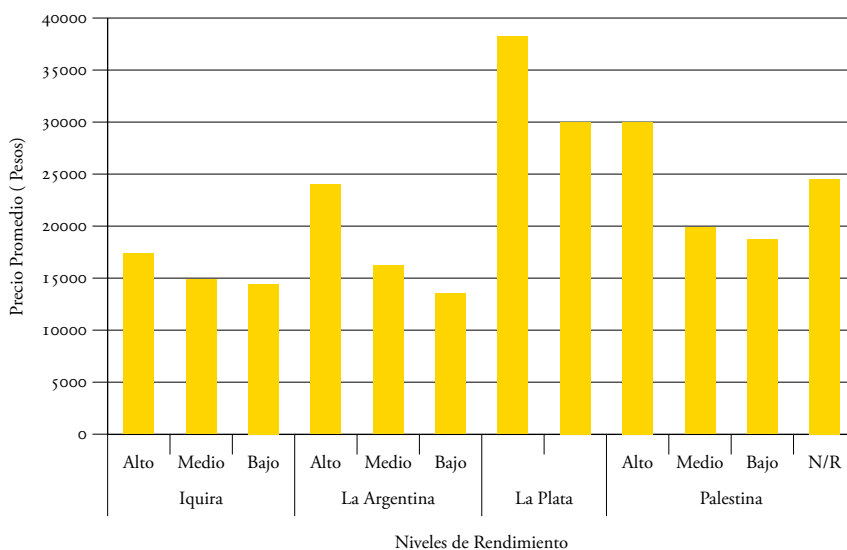
Particularmente, el municipio de La Plata no tiene reporte de jornales, y por tanto solo se refleja el precio promedio de venta, que además es el valor más alto, cercano a los 40 000 pesos. El municipio de Palestina tiene precios promedio similares en los niveles alto, medio y sin respuesta⁶, acotando que en este municipio se encontró un alto número de valores faltantes en la variable «jornales». Así mismo, se incluye el rendimiento⁷ en kilogramos por hectáreas al año, variable en la que se destaca el municipio de La Plata, con los mayores precios promedio,

5 La variable «jornales» (ha) se categorizó usando los cuartiles 1 y 3, quedando: nivel bajo, con menos de 80; nivel medio, de 80 a 100, y nivel alto, con más de 100.

6 S/R indica que el productor no responde, no lleva el registro o falta el valor.

7 La variable rendimiento (kg/ha/año) se categorizó usando los cuartiles 1 y 3, quedando: nivel bajo, con menos de 14 000; nivel medio, de 14 000 a 20 000, y nivel alto, con más de 20 000.

indiferente del nivel de rendimiento. El municipio de Iquirá alcanza en los tres niveles de rendimiento valores similares en los precios promedio, con un valor ligeramente mayor en el nivel medio. Lo contrario ocurre en el municipio de La Argentina, donde los mayores precios promedio se alcanzan en niveles altos de rendimiento en la producción. Por último, en Palestina el nivel bajo de rendimiento alcanza los mayores precios promedio; hay que resaltar que en este municipio se encontró una gran cantidad de productores que no reportan sus rendimientos.



GRÁFICA 10. Distribución de los precios promedio por municipios y rendimiento

Fuente: Caracterización de productores CEPASS, 2016.

Teniendo en cuenta los municipios mencionados, en relación con la producción, la tabla 4 muestra su distribución porcentual. Del total de productores, aproximadamente el 40 % pertenece al municipio de La Argentina, y no cuentan con infraestructura. Un poco más de una tercera parte (26,55 %) no reportan infraestructura y son el municipio Palestina. Y casi un 10 % cuenta con infraestructura y pertenece a los municipios La Plata o Palestina.

En general, la comercialización de la granadilla se hace por intermediarios. Del total de productores, un poco menos de una tercera parte (31,85 %) pertenece al municipio de La Argentina, y su mercado es de intermediarios: ocho de estos productores comercializan su producto

en plazas minoristas. Así mismo, la mayoría de los productores da valor agregado a sus cosechas con la clasificación del fruto, con mayor frecuencia, en La Argentina; trece productores de La Plata y Palestina no reportan esta información. En este mismo sentido, los productores que empacan los frutos con mayor proporción pertenecen al municipio de Palestina (28,32 %) y La Argentina (9,74 %); en este último, se tiene el mayor porcentaje de productores que no empacan la producción (30,09 %).

TABLA 4. Distribución porcentual de variables de producción por municipio.

		MUNICIPIO			
	MODALIDAD	IQUIRA	LA ARGENTINA	LA PLATA	PALESTINA
Infraestructura	No	16 (14,16 %)	45 (39,82 %)	5 (4,42 %)	30 (26,55 %)
	Sí	0 (0 %)	0 (0 %)	10 (8,85 %)	0 (6,20 %)
Mercados	Acopio	0 (0 %)	0 (0 %)	1 (0,89 %)	1 (0,89 %)
	Intermediario	15 (13,26 %)	36 (31,85 %)	11 (9,74 %)	33 (29,20 %)
	N/R	0 (0 %)	0 (0 %)	2 (1,77 %)	1 (0,89 %)
	Plaza minorista	1 (0,89 %)	8 (7,07 %)	1 (0,89 %)	2 (1,77 %)
	Supermercado	0 (0 %)	1 (0,89 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
Clasificación	N/R	0 (0 %)	0 (0 %)	8 (7,08 %)	5 (4,43 %)
	No	5 (4,43 %)	9 (7,96 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
	Sí	11 (9,74 %)	36 (31,85 %)	7 (6,20 %)	32 (28,31 %)
Empaque	N/R	0 (0 %)	0 (0 %)	10 (8,85 %)	5 (4,43 %)
	No	10 (8,85 %)	34 (30,09 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
	Sí	6 (5,31 %)	11 (9,74 %)	5 (4,43 %)	32 (28,32 %)

Nota: los % corresponden al total para cada par de variables, filas y columnas.

Fuente: Caracterización de productores CEPASS, 2016.

Además, la distribución porcentual por municipios en relación con las características del productor (véase tabla 4) y con referencia al nivel de formación, el 4,43 % de los productores alcanzó un nivel de formación técnico, y en su mayoría pertenecen al municipio de Palestina; alrededor del 11 % tiene aprobada la secundaria, y en general, son del municipio La Argentina. La formación primaria es el nivel con mayor porcentaje: un poco más de la mitad de los productores manifiesta haber alcanzado este nivel, y pertenecen a los municipios de La Argentina y Palestina. De La Plata solo se reportan productores que manifiestan saber leer y escribir (tabla 5).

En cuanto a la estructura familiar, la mayoría indica que su familia está conformada por de cuatro a siete personas, con mayores proporciones en los municipios de La Argentina y Palestina. Del total de productores, el 82,3 % es propietario de la unidad de producción, y en su mayoría se ubican en los municipios de La Argentina y Palestina. Solo seis productores de La Plata son administradores o están en condición de posesión del inmueble, y apenas el 10,63 % de los estudiados produce en unidades arrendadas.

TABLA 5. Distribución porcentual de variables del productor por municipio.

		MUNICIPIO			
	MODALIDAD	IQUIRA	LA ARGENTINA	LA PLATA	PALESTINA
Nivel de Formación	Leer/escribir	1 (0,89 %)	1 (0,89 %)	15 (13,27 %)	0 (0 %)
	N/R	0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	1 (0,89 %)
	Ninguno	0 (0 %)	2 (1,77 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
	Primaria	14 (12,39 %)	33 (29,20 %)	0 (0 %)	33 (25,67 %)
	Secundaria	1 (0,89 %)	8 (7,08 %)	0 (0 %)	3 (2,66 %)
	Técnico	0 (0 %)	1 (0,89 %)	0 (0 %)	4 (3,54 %)
Familia	1 a 3	3 (2,66 %)	14 (12,39 %)	4 (3,54 %)	10 (8,85 %)
	4 a 7	13 (11,50 %)	29 (25,66 %)	9 (7,97 %)	25 (22,12 %)

		MUNICIPIO			
	MODALIDAD	IQUIRA	LA ARGENTINA	LA PLATA	PALESTINA
	>7	0 (0 %)	2 (1,77 %)	1 (0,89 %)	1 (0,89 %)
	N/R	0 (0 %)	0 (0 %)	1 (0,89 %)	1 (0,89 %)
Propiedad	Arrendatario	2 (1,77 %)	7 (6,20 %)	3 (2,66 %)	0 (0 %)
	N/R	1 (0,89 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	1 (0,89 %)
	Otro: posesión o administrador	0 (0 %)	0 (0 %)	6 (5,31 %)	0 (0 %)
	Propietario	13 (11,50 %)	38 (33,63 %)	6 (5,31 %)	36 (31,86 %)

Nota: los % corresponden al total para cada par de variables, filas y columnas.

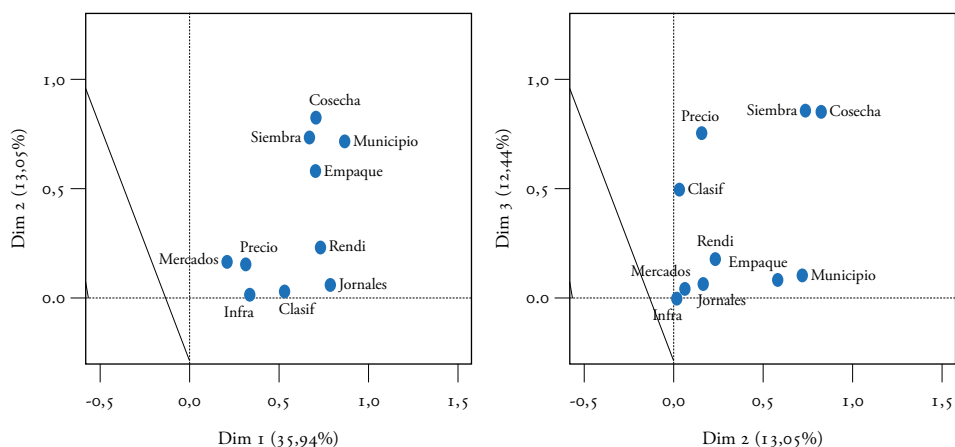
Fuente: Caracterización de productores CEPASS, 2016.

Con el fin de buscar la tipología de la producción y los productores de granadilla, se plantean dos análisis de correspondencias múltiples, con énfasis en la interpretación del gráfico de dimensiones por variables y el Biplot. En la estructura de esta investigación se presentan inicialmente los resultados referentes a la producción, donde se definen las siguientes variables activas: área de cosecha, área de siembra, municipio, empaque, rendimiento (kg/ha/año), número de jornales —ha/año, definido como jornales de 8h/día—, clasificación, infraestructura, mercados y precios promedio; para este caso, no se definen variables suplementarias.

Es importante resaltar que este análisis se hace a partir de la tabla de Burt, con la cual se obtiene una variabilidad total explicada por la primera dimensión de 35,94 %, 13,05 % de la segunda dimensión y 12,44 % de la tercera, logrando que las tres primeras dimensiones expliquen el 61,43 % de la variabilidad total explicada (anexo 1.a).

Las dimensiones 1 y 2 no muestran una diferencia marcada en el comportamiento de las variables con relación a los ejes, pero sí permite ver la asociación que existe entre el municipio, el área de siembra, el área de cosecha y el empaque de la granadilla. Por otro lado, se observa que el mercado está muy relacionado con los precios promedio, la infraestructura y la clasificación del fruto. En el caso de las dimensiones 2 y

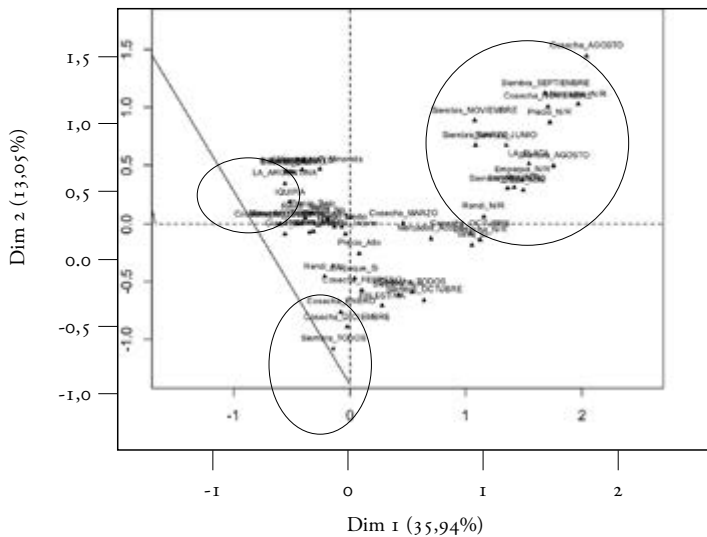
3, vemos cómo se mantiene la asociación del municipio con el empaque del fruto (gráfica 11).



GRÁFICA 11. Posición de las variables activas de producción de granadilla en las primeras tres dimensiones.

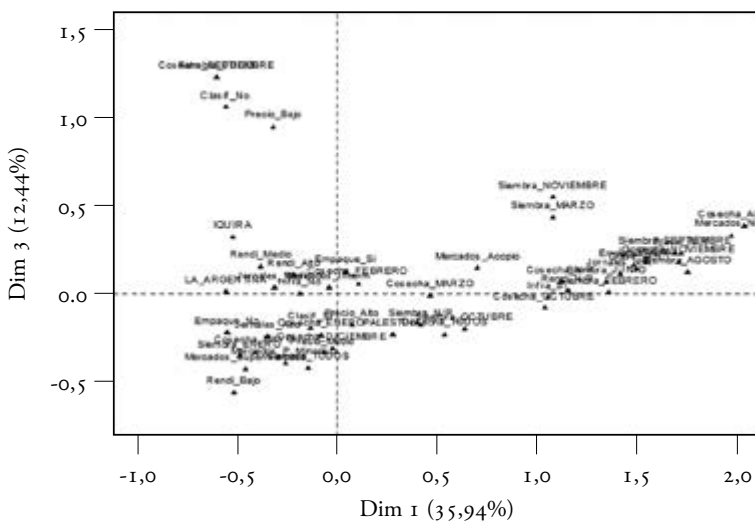
Considerando la disposición de las modalidades de la variable en las tres primeras dimensiones, la gráfica 12 muestra que la dimensión 1 está definida por los productores del municipio de Palestina, cuya contribución a su formación es de 13 262. Estos productores se caracterizan por tener altos niveles de rendimiento, empaquetar o no los frutos, sembrar en los meses de febrero y octubre, o manifestar sembrar durante todo el año, incluso aquellos que no registran esta información. Por otro lado, se observa que los meses de cosecha son enero y diciembre.

Por su parte, la dimensión 2 define dos tipos de productores de acuerdo con su ubicación por municipios. Un primer grupo se ubica en el municipio de La Plata, con una contribución de 9272, cuya característica general es no registrar la información sobre número de jornales, rendimiento, cosecha, precios promedio, mercados, clasificación y empaque. Estos mismos productores poseen infraestructura, comercializan la granadilla en mercados de acopio y allí se reportan la mayoría de los meses de siembra y cosecha. Por el contrario, en los municipios de La Argentina e Iquirá sus productores venden a precios promedio bajos, en mercados minoristas o supermercados, con un rendimiento medio; allí se reporta la mayoría de los niveles (alto, medio, bajo) de jornales.



GRÁFICA 12. Biplot de las dimensiones 1 y 2 para la producción de granadilla

Observando el plano en dimensiones 1 y 3, en términos del valor agregado de los productos, se definen dos clases de productores: aquellos que clasifican la fruta y los que no. Los del primer caso se asocian a precios promedios altos superiores a los 20 000 pesos y los que no clasifican se caracterizan por tener precios promedio de venta bajos, a 14 000 pesos.



GRÁFICA 13. Biplot de las dimensiones 1 y 3 para la producción de granadilla

5. Conclusiones

En esta investigación se presentan inicialmente los análisis descriptivos de variables agroclimáticas, análisis de suelo del caso de estudio, así como las variables socioeconómicas de los productores. Las principales variables activas de medición se definen a partir de las precipitaciones, la temperatura, el brillo solar, las áreas de cosecha, la siembra, la localización del municipio, el empaque, el rendimiento (kg/ha/año), número de jornales —ha/año, definido como jornales de 8h/día—, precios promedio, nivel de formación, tipo de propiedad, número de personas que dependen de la unidad de producción, tipo de transporte que se usa, pertinencia a la organización de productores y aprobación de crédito; para este caso no se definen variables suplementarias.

El trabajo se justifica dada la importancia intrínseca del análisis Burt, con lo cual se obtiene una variabilidad total explicada por la primera dimensión del 25,30 %, el 19,40 % de la segunda dimensión, el 13,04 % de la tercera dimensión y el 6,27 % de la cuarta dimensión, logrando que las cuatro primeras dimensiones den cuenta del 63,99 % de la variabilidad total explicada.

En este caso particular, en cuanto a las características del productor, no hay una diferencia en la disposición de las variables, sino que se presentan altas asociaciones entre las variables relacionadas con el rendimiento, la productividad y los precios promedio de venta, y las características particulares del productor. Las dimensiones 2 y 4 muestran que los productores con precios de venta altos están relacionados con la siembra en el mes de enero, y el precio bajo se asocia a las cosechas y siembras en los meses de octubre y septiembre.

6. Referencias

- Abdi, H.; Valentin, D. (2007b). *Multiple Correspondence Analysis*. Dallas, Texas: Sage Recuperado de <http://www.utd.edu/>
- Bruto, P. I.; Económica, R. D. E. A. (2013). Boletín de Coyuntura Económica PIB III trimestre 2013. Recuperado de <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/7167/2/BOLETIN%20PIB%20III%20TRIMESTRE%202013%20-%20AGRONET.pdf>.

- Comisión Económica Para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL*. Recuperado de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf
- Dury, J.; Schaller, N.; Garcia, F.; Reynaud, A.; Bergez, J. E. (2011). Models to support cropping plan and crop rotation decisions. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(2), 567-580. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0037-x>
- Epperson, J. E.; Estes, E. A. (1999). Fruit and vegetable supply-chain management, innovations, and competitiveness: cooperative regional research project S-222. *Journal of Food Distribution*, 30(febrero), 38-43.
- Fischer, G.; Ermolieva, T.; Sun, L. (2010). Planning Sustainable Agricultural Development under risks. En K. Marti, Y. Ermoliev y M. Makowski (Eds.), *Coping with Uncertainty* (vol. 633, 209-227). Berlin/Heidelberg: Springer. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-03735-1>
- Holm, L. P.; Jorgensen; Lawesson, E. (1998). *Passifloraceae*. (F. del E. 31, Ed.). MADR. (2012). *Acuerdo de competitividad de Pasifloras*.
- Mattos, L. M.; Moretti, C. L.; Jan, S.; Sargent, S. A.; Lima, C. E. P.; Fontenelle, M. R. (2014). Chapter 19 - Climate Changes and Potential Impacts on Quality of Fruit and Vegetable Crops. En P. Ahmad y S. Rasool (eds.), *Emerging Technologies and Management of Crop Stress Tolerance* (vol. 1, 467-486). Elsevier: Academic Press. DOI: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-800876-8.00019-9>
- Meynard, J.; Doré, T.; Habib, R. (2001). L'évaluation et la conception de systèmes de culture pour une agriculture durable. *Compiles Rendus de l'Académie d'agriculture de France*, 4(87), 223-236. Recuperado de <https://hal-agroparistech.archives-ouvertes.fr/hal-01382344/>
- Moschini, G.; Hennessy, D. A. (2001). Uncertainty, risk aversion, and risk management for agricultural producers. *Handbook of Agricultural Economics*, 1, 87-153
- Mudelsee, M. (2010). *Climate Time Series Analysis*. Berlín: Springer, Dordrecht. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-90-481-9482-7>
- Ocampo, J. A. (2007). *Étude de la diversité du genre Passiflora L. (Passifloraceae) et de sa distribution en Colombie..*
- OECD. (2009). *Managing Risk in Agriculture: A Holistic Approach*. <https://doi.org/10.1787/9789264075313-en>

- Pannell, D. J.; Malcolm, B.; Kingwell, R. S. (2000). Are we risking too much? Perspectives on risk in farm modelling. *Agricultural Economics*, 23(1), 69-78. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0169-5150\(00\)00058-X](https://doi.org/10.1016/S0169-5150(00)00058-X)
- Pasifloras. (2012). *Acuerdo de Competitividad para la Cadena Productiva de Pasifloras en Colombia*.
- Pedrycz, W.; Chen, S. M (eds.). (2013). *Time Series Analysis, Modeling and Applications: A Computational Intelligence Perspective. Intelligent Systems Reference Library* (vol. 47). Berlín/Heidelberg: Springer. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-33439-9>
- Praneetvatakul, S.; Sirijinda, A. (2007). Sustainable Farming Systems Planning Using Goal Programming in Northern. En *Sustainable Land Use in Mountainous Regions of Southeast Asia* (pp. 263-276). Berlin/Heidelberg: Springer.
- Ramírez C., L. N.; Meneses, S.; Campos, I. (2018). *Gestión de operaciones en la cadena de alimentos*. Bogotá: Universidad Libre.
- Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas. (2009). *Cultivo, poscosecha y comercialización de las pasifloráceas en Colombia: maracuyá, granadilla, gulupa y curuba*. Bogotá: Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas.

7. Anexos

Anexo 1

I.a

```
R Console
> summary(x, nbelements=Inf, ncp = 4)
Call:
MCA(ACF1, method = "Burt")

Eigenvalues

```

	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5	Dim.6	Dim.7	Dim.8	Dim.9	Dim.10
Variance	0.342	0.124	0.118	0.056	0.048	0.039	0.031	0.028	0.023	0.020
% of var.	35.941	13.045	12.443	5.865	5.007	4.119	3.214	2.899	2.393	2.086
Cumulative % of var.	35.941	48.987	61.430	67.295	72.302	76.421	79.635	82.534	84.926	87.012

CAPÍTULO X

Índice para la medición de sostenibilidad empresarial

JOSÉ ALEJANDRO MARTÍNEZ S.¹
DARÍO MAURICIO REYES²
NICOLÁS GIRALDO CASTRO³

Resumen

Analizar la sostenibilidad en una empresa implica usar indicadores de carácter cualitativo o que solo miden aspectos específicos de asuntos ambientales, sociales y económicos. La presente investigación tuvo como meta diseñar un índice cuantitativo que permita medir, de forma objetiva y bajo criterios estándar, el grado de apropiación e implementación de la sostenibilidad en la estrategia empresarial. Para tal fin, se propuso una aproximación cuali-cuantitativa, a partir del análisis de

-
- 1 <https://orcid.org/orcid.org/0000-0001-6691-3855>. Universidad EAN. Colombia. jamartinez@universidadean.edu.co
 - 2 <https://orcid.org/orcid.org/000-0001-9601-3735>. Universidad EAN. Colombia. dmreyes@universidadean.edu.co
 - 3 <https://orcid.org/orcid.org/0000-0002-4256-8177>. Universidad EAN. Colombia. ngiraldoc@universidadean.edu.co

criterios y variables que permitieran evaluar las dimensiones ambiental, social y económica de las empresas, y así generar una herramienta para la estrategia empresarial.

Como resultado, se planteó el *EAN Sustainability Index*, un método de medición con alta originalidad, limitado en un principio a una aplicación piloto en cinco empresas del programa *EAN Impacta*. Se obtuvieron hallazgos positivos en términos de la interpretación de la sostenibilidad que involucra la estrategia empresarial de cada una de dichas empresas, y un potencial de aplicación amplio para un conjunto mayor de compañías.

Palabras clave: índice, sostenibilidad, estrategia empresarial, emprendimiento sostenible.

1. Introducción

Una empresa sostenible, por definición, es aquella que crea valor económico, medioambiental y social a corto y largo plazo, contribuyendo de esa forma al aumento del bienestar y al auténtico progreso de las generaciones presentes y futuras en su entorno general (Rodríguez Rojas, 2012).

Durante el II Foro Global de Sostenibilidad organizado por Ernst and Young (EY) y la Secretaría General Iberoamericana (SEGIB), los ponentes coincidieron en que la salida a la situación actual pasa por sentar las bases de crecimiento a través de políticas que permitan un desarrollo económico «sostenible y equilibrado». Todos destacaron que es una de las vías prioritarias para “salir de las crisis y tratar de evitarlas en el futuro”. De hecho, en este sentido, afirmaron que la sostenibilidad se ha convertido, probablemente, «en el sector económico clave del siglo XXI» (Ernst and Young, 2013).

En los últimos años, una de las cuestiones que más ha preocupado a la sociedad, antes de control y en general a las partes interesadas de las empresas, ha sido conocer si realmente se siguen pautas de sostenibilidad, es decir, si se tienen indicadores que nos alerten sobre la evolución positiva o negativa de este proceso. Aunque la ambigüedad del propio concepto dificulta esta tarea, se han ido elaborando algunos indicadores que muestran aspectos de las tres dimensiones que componen

a la sostenibilidad: ambiental, social y económica (Durán, 2012); sin embargo, no es muy común que un sistema único integre las tres dimensiones, más allá de las experiencias académicas o de consultoría para la intervención de las empresas y su mejoramiento.

Dada la actual importancia y el impacto que genera sobre la sociedad todo lo que concierne a la sostenibilidad de las empresas, se hace necesario determinar si una empresa es o no sostenible y en qué medida, de forma que pueda establecer un plan de mejoramiento que le permita alcanzar los niveles que requiere en relación con sus intereses o políticas empresariales. De esta manera, la investigación buscó responder a la pregunta: ¿cómo medir la sostenibilidad de una empresa? Para tal fin, este trabajo presenta el desarrollo de una propuesta integrada de indicadores que permitan medir, de forma objetiva y con criterios estandarizados, la sostenibilidad de una empresa, determinando variables claves en tres dimensiones fundamentales: económica, ambiental y social. Así mismo, se presenta el diseño de un instrumento de captura de información que permite consolidar y estandarizar dichas variables, y que tiene como objetivo ser utilizado para generar un indicador de sostenibilidad completamente aplicable y replicable en las diferentes empresas de la ciudad de Bogotá (Flórez *et al.*, 2018).

2. Marco teórico

El término *sostenibilidad* fue definido en 1987 en el Informe Brundtland como «el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades» (Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, 1987). Con el paso del tiempo, se ha dificultado generar una definición precisa, debido a la gran variedad de significados que se han creado desde diversos enfoques (López, López y Ancona, 2005). A pesar de que el concepto de *desarrollo sostenible* haya nacido de la preocupación ambiental, no solo se enfoca en este ámbito, sino que busca crear un enlace entre el medio ambiente y la actividad humana (Lok, 2010).

El tema de la sostenibilidad empresarial ha venido cobrando importancia en medio de los sectores productivos y sus organizaciones debido a la relación natural que existe entre las empresas y las necesidades que demanda la sociedad; por ello, el concepto de sostenibilidad

ha venido adquiriendo fuerza en el mundo, basado en el modelo de desarrollo sostenible propuesto desde la década de 1970 (Martínez y Valero, s. f.). En un acto natural de evolución, se puede observar cómo la gestión ambiental de hace unos años —muy enfocada en la ingeniería sanitaria— se convirtió en un tema en mayor medida vinculado con la Producción Más Limpia —sistema de prevención continuo, que aporta productividad y competitividad—, para luego migrar a la sostenibilidad, como sistemas de producción que mantienen un equilibrio entre las dimensiones ambiental, social y económica (Martínez, 2018).

La sostenibilidad empresarial comprende la incorporación de nuevos modelos de negocios basados en el aprendizaje continuo, la innovación y el emprendimiento que reconoce su entorno y se vuelve un adicionador de valor para él, garantizando de esta manera un trabajo armonioso entre las variables sociales, económicas y ambientales que le permitan medir el impacto de la sostenibilidad en el esquema de sus dimensiones ambiental, social y económica (Martínez y Valero, s. f.).

Desde hace varios años se han buscado mecanismos que permitan iniciar el proceso de identificación de indicadores ambientales que conduzcan al *benchmarking* entre organizaciones en diferentes regiones geográficas, con el objetivo de lograr la identificación y evaluación de indicadores ambientales, y, por ende, fortalecer los procesos de mejoramiento continuo, productividad y competitividad en las organizaciones (Gómez y Martínez, 2012).

En la Universidad EAN se han realizado planteamientos metodológicos que, a partir de la experiencia institucional —manejo de información básica sobre producción de residuos, consumo de agua y energía, entre otros—, buscan llegar a un sistema de indicadores ambientales que permita la consolidación futura de un Informe de Sostenibilidad Institucional (Gómez y Martínez, 2012). Sin embargo, la medición de la sostenibilidad después de los procesos de incubación del programa EAN Impacta hizo necesario generar un instrumento que permita evaluar de una forma metodológicamente sólida, pero sin perder el pragmatismo, el nivel de implementación de la sostenibilidad en su modelo de negocio.

En 2016 diferentes países alrededor del mundo avalaron los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) como una agenda cosmopolita de «pacto global para el desarrollo», resituando las metas globales en un marco multilateral, más inclusivo, representativo y legítimo, con énfasis en la

aparición de nuevos actores relevantes, tanto públicos como privados, y el ascenso de determinadas potencias emergentes (Perales y Vázquez, 2016). La forma de medir la implementación de la sostenibilidad en las empresas debe estar en sincronía con las metas públicas y privadas para 2030; por ello, se hace necesario desarrollar herramientas que reflejen el desempeño en sostenibilidad de las empresas en armonía con los ODS.

De esta forma, se han venido desarrollado diferentes instrumentos para medir la implementación de la sostenibilidad y su efectividad; metodologías y herramientas tales como: la iniciativa de reporte global (GRI); las normas ISO 14000 e ISO 26000; el sistema de indicadores MONET; el indicador de progreso genuino (IPG) y el índice de desarrollo humano (IDH), entre otros. Estos permiten tener una aproximación a las esferas del desarrollo, pero no de forma conjunta, debido a que aún no existe una metodología que mida todo el desarrollo sostenible (Vargas, 2015).

2.1. Metodologías existentes

Existen muchas metodologías utilizadas para reportar los desempeños en sostenibilidad. De acuerdo con Lozano (2011), las guías más utilizadas incluyen la serie ISO 14000 —especialmente la guía ISO 14031—, EMAS (ECO-Management and Audit Scheme - Sistema de Gestión y Auditoría Medioambiental de la UE), la contabilidad social (Social Accountability 8000 Standard) y las guías de sostenibilidad GRI. Dentro de las diferentes guías utilizadas, GRI (Global Reporting Initiative) es la mejor opción (Hussey *et al.*, 2001; Lozano, 2006; Morhardt *et al.*, 2002).

Cabe anotar que, según Shriberg (2002), se han desarrollado también algunas herramientas de diagnóstico para el reporte de indicadores de sostenibilidad de sectores especiales, como el —State of the Environment— de National Wildlife Federation, —Sustainability Assessment Questionnaire—, Auditing Instrument for Sustainability, Environmental Workbook and Report, Environmental Performance Survey, Indicators Snapshot/Guide, Grey Pinstripe with Green Ties y el EMS Self-Assessment. Fonseca *et al.* (2010) afirman que los estudios previos sobre las metodologías muestran que no existe el método ideal para el reporte de sostenibilidad de diferentes sectores productivos. Sin embargo, varios autores (Adkins *et al.*, 2003; Lozano, 2006; Newport *et al.*, 2003) concuerdan con que, siguiendo parcialmente la metodología GRI y adaptándola a índices más simplificados, se tendría el potencial

de armonizar las diferentes aproximaciones a los diagnósticos y reportes de sostenibilidad que se están llevando a cabo en diferentes sectores productivos.

La metodología GRI utiliza indicadores de desempeño principales y adicionales en las categorías de indicadores que abarcan las tres dimensiones de la sostenibilidad —económica, ambiental y social—. La dimensión económica contiene una categoría de indicadores (EC - Economic); la dimensión ambiental también está compuesta de una categoría de indicadores (EN - Environmental), y la dimensión social está representada por cuatro categorías y se compone de indicadores de desempeño principales y adicionales.

En términos de medición de la producción sostenible —o implementación de la sostenibilidad en la producción—, en la GRI se pueden encontrar algunos indicadores como:

- Etapas del ciclo de la vida en las que se evalúan los impactos de los productos y servicios sobre la salud y la seguridad, y el porcentaje de productos y servicios significativos sujetos a dichos procedimientos.
- Tipo de información de producto y servicio requerida por los procedimientos, y porcentaje de productos y servicios significativos sujetos a tales requerimientos de información.
- Programas para el cumplimiento de las leyes, normas y códigos voluntarios relacionados con las comunicaciones de *marketing*, incluyendo publicidad, promoción y patrocinio.
- Valor monetario de multas significativas por incumplimiento de las leyes y reglamentos relativos a la provisión y uso de productos y servicios.

3. Identificación de variables para las dimensiones de la sostenibilidad

Con el fin de establecer la propuesta de variables que deberían integrar un instrumento que permitirá la identificación del nivel de implementación de la sostenibilidad en una empresa, se realizó un análisis de distintas fuentes —mencionadas en el marco teórico preliminarmente expuesto— que permitiera aclarar cuáles serían las variables a tener

en cuenta para cada una de las tres dimensiones de la sostenibilidad, desde un contexto empresarial, las cuales posteriormente deberían ser analizadas para hacer una selección e identificación de conveniencia en su aplicación. A continuación, se presenta el análisis para cada una de las dimensiones económica, ambiental y social realizado.

3.1. Análisis de variables económicas

El análisis o diagnóstico financiero constituye la herramienta más efectiva para evaluar el desempeño económico y financiero de una empresa a lo largo de un ejercicio específico, y para comparar sus resultados con los de otras empresas de la misma rama que estén bien gerenciadas y presenten características similares. Sus fundamentos y objetivos se centran en la obtención de relaciones cuantitativas propias del proceso de toma de decisiones, mediante la aplicación de técnicas sobre datos aportados por la contabilidad que, a su vez, se transforman para ser analizados e interpretados (Nava Rosillón, 2009).

Desde una perspectiva clásica y, en general, pertinente para el contexto de las pymes y empresas no listadas en bolsas de valores, la perspectiva de sostenibilidad económica y financiera de la empresa se mide y gestiona a través de análisis e indicadores financieros que, a su vez, son usados en la definición de objetivos para examinar su evolución. Algunos de los indicadores o medidas comúnmente utilizados son:

- Rentabilidad total
- Rentabilidad del activo
- Rentabilidad del patrimonio
- Utilidad neta
- Utilidad operativa
- Utilidad total
- EBITDA

Como lo sustenta Nava Rosillón (2009), una empresa que enfrente un entorno difícil y convulsionado, con los inconvenientes propios de un entorno cambiante, debe implementar medidas que le permitan ser más competitiva y eficiente desde la perspectiva económica y financiera, de tal forma que haga mejor uso de sus recursos para obtener mayor productividad y mejores resultados con menores costos. Para cumplir

con este objetivo, además de los indicadores descritos, las empresas usan con frecuencia medidas de desempeño asociadas a la efectividad empresarial, las cuales son monitoreadas por medio de mecanismos como el cuadro de mando integral. Dentro de estas medidas, se pueden encontrar las siguientes:

- Gestión y rotación de activos
- Cálculo y monitoreo del ciclo de efectivo
- Rotación de cuentas por cobrar y por pagar
- Revisión de liquidez
- Cálculo y análisis del WACC
- Seguimiento del nivel de endeudamiento
- Costo de adquisición de clientes
- Punto de equilibrio
- Control de costos de producción o de prestación del servicio

Todos estos son elementos sumamente útiles en la gestión financiera de la empresa y están orientados al mejor uso de los recursos de la organización; no obstante, su análisis por lo general está al margen del impacto de la empresa en el entorno, y su enfoque y único fin es la generación de rentabilidad. Tal como lo presenta Saavedra García (2011), Milton Friedman, Premio Nobel de Economía (1976), argumentaba que una empresa solo tiene «una responsabilidad»: los resultados económicos. Conseguir buenos resultados es la «primera responsabilidad», y si no obtiene unos beneficios al menos iguales a sus costos totales es socialmente irresponsable, pues despilfarra los recursos de los accionistas. Entonces, el rendimiento económico es la base; sin él, la empresa no puede desempeñar ninguna otra responsabilidad, ni ser buena empleadora, ni generar riqueza ni ser buena vecina.

En contraste con el enfoque habitual y tradicional de la medición de la sostenibilidad económica de la empresa, desde un punto de vista netamente sustentado en indicadores de rentabilidad y eficiencia, recientemente aparecen nuevas perspectivas apoyadas en conceptos como *responsabilidad social*, *valor compartido* y otros similares.

Según Romero (2012), la sustentabilidad económica está inserta en el concepto de *renta* de Hicks, definida como la cantidad máxima que un individuo puede consumir en un periodo determinado de tiempo sin reducir su consumo en uno futuro (1945, p. 205). Según esta definición

de renta, el cálculo de esta, medido en términos de producto nacional o interior bruto, debe hacerse incluyendo la riqueza y los recursos medioambientales de un país. En caso contrario, la medición no indicaría el grado de sustentabilidad. De acuerdo con lo anterior, es claro que no se puede hablar de sustentabilidad económica si no se tiene en cuenta el uso efectivo de los recursos. Es decir, pueden existir países o empresas que, analizados a la luz de los indicadores de rentabilidad o nivel de ingresos, pueden tener resultados destacables; no obstante, logran esos resultados en detrimento de la calidad del medio ambiente y del trabajo digno, o mediante el uso intensivo de recursos no renovables, poniendo en riesgo su capacidad de consumo en periodos futuros. Teniendo presente que los recursos son limitados, nace una nueva perspectiva empresarial, la cual, desde la óptica de la sustentabilidad, se define como «empresas que tienen un comportamiento socialmente responsable, diseñan sus estrategias y establecen sus procedimientos internos de gestión teniendo en cuenta no sólo la dimensión económica de sus acciones, sino también la social y la medioambiental» (Saavedra, 2011).

Para las empresas es muy importante, entonces, además de mostrar que son rentables, presentar qué tan responsables son en términos sociales y ambientales, dado que estas son cualidades muy valoradas por los actuales inversionistas en el mercado. En ese orden de ideas, aparece una gran cantidad de indicadores y reportes que miden desde diferentes perspectivas la sustentabilidad como un medio útil para garantizar el crecimiento en el largo plazo de las empresas. Así, por ejemplo, el Dow Jones Sustainability Index (DJSI) incluye aspectos de desempeño económico en su evaluación. Pero este no es el único indicador: en el mercado bursátil existen muchos más; podemos mencionar algunos del contexto Latinoamericano, como el Índice de Sustentabilidad Empresarial (ISE) de la bolsa de Brasil, y el índice de sustentabilidad de la Bolsa Mexicana de Valores.

Indicadores representativos como el DJSI hacen la medición de sustentabilidad para diversos sectores económicos y, así mismo, agrupa la información para diferentes zonas geográficas. Lo más relevante de este indicador es que toma las tres dimensiones de sustentabilidad: ambiental, social y económica, y es una de las propuestas más completas para medición; no obstante, limita su campo de acción a las empresas listadas en las diferentes bolsas de valores. Los componentes que usa en su modelo de medición se pueden resumir así:

TABLA 1. Criterios evaluados en el DJSI

CRITERIOS EVALUADOS	
DIMENSIÓN	CRITERIO
Económica	Gobierno Corporativo Gestión del riesgo Proveedores
Ambiental	SARAS / productos y programas SARAS / política Ambiental Ecoeficiencia
Social	Talento humano Inclusión financiera Relación con la comunidad

Fuente: Asobancaria. Recuperado de <http://www.asobancaria.com/sabermassermas/que-es-dow-jones-sustainability-index/>

3.2. Análisis de variables ambientales

Como lo mencionan Bernal, Herrera y Rodríguez (2016), hay una extensa aplicación de actividades tendientes a mejorar el desempeño ambiental de las empresas, las cuales incluso se incorporan a sistemas de gestión ambiental (SGA) en los diferentes sectores industriales, por lo cual se han reconocido numerosos beneficios en pequeñas y medianas empresas, los clientes, la comunidad y el ambiente (Segerson, 2013; Tinsley, 2002). Entre los beneficios que se observan están el cambio cultural en el estilo de la administración de reactivo a proactivo, la confianza en la administración y la mejora en las relaciones con la comunidad (Carruthers, 2005); también, mejorar el desempeño ambiental a través de SGA tiene un impacto positivo en el desempeño financiero, así como en los resultados ambientales empresariales (Florida y Davidson, 2001; Speir, 2001).

Los motivadores para mejorar en temas ambientales en las empresas son variables ambientales visualizadas como amenazas personales, en términos de impacto en la salud y seguridad personal /familiar, o variables de tipo económico, como mayor acceso a mercados y diferenciación del producto (Bernal, Herrera y Rodríguez, 2016). De acuerdo con Andrews *et al.* (2001), otros impulsores son: disminución del impacto ambiental negativo, consistencia con los principios personales/administrativos, cumplimiento de las leyes y normas, participación de los empleados, reducción de costos, beneficios regulatorios y ventaja competitiva.

Corbett *et al.* (2003) añaden la mejora en la imagen corporativa. Por otra parte, también se han identificado barreras para mejorar en temas ambientales: falta de conocimiento, no identificación de beneficios potenciales, falta de personal calificado para desarrollar y establecer el sistema, falta de recursos, dificultad para determinar aspectos e impactos ambientales, falta de tiempo para el desarrollo, falta de recursos para financiar los gastos asociados, falta de interés por parte del personal administrativo y falta de continuidad de los proceso (Williams *et al.*, 2000; Grolleau *et al.*, 2007).

Las variables que se usan para monitorear el desempeño ambiental de una empresa son múltiples, y la mayoría de las veces están vinculadas a la especificidad del sector en el cual se encuentra la empresa. Existen mecanismos genéricos que buscan evaluar, desde la globalidad, cómo la empresa se comporta en términos ambientales, como el reportado por Méndez, Muñoz y Román (2016), que, entre otros, referencia como factores:

- Presencia de un sistema de gestión ambiental en la empresa
- Realización de prácticas verdes
- Aplicación de buenas prácticas
- Evaluación de indicadores ambientales
- Existencia de un cargo responsable de gestión ambiental
- Conocimiento de la legislación ambiental
- Conocimiento del impacto ambiental en el diseño de sus productos

Otros factores propuestos son más específicos y podrían permitir identificar algunas de las prácticas más comunes en términos de mejoramiento ambiental empresarial (Ortiz, Izquierdo y Rodríguez, 2013):

- Identificación de las partes interesadas
- Identificación de los impactos ambientales de las operaciones
- Identificación de los requisitos legales y técnicos aplicables
- Consideración de los aspectos ambientales en la planificación
- Existencia de una política ambiental
- Existencia de una unidad ambiental en la organización
- Presupuesto para la gestión ambiental
- Formación de los trabajadores en materia ambiental

- Participación de los trabajadores en la gestión ambiental
- Motivación para la participación del personal
- Control de la contaminación
- Manejo de residuos y subproductos
- Manejo de materias primas no transformadas en el proceso
- Seguimiento y medición de descargas, emisiones y desechos sólidos
- Registro de productos secundarios y residuos generados en el proceso
- Registro del uso del agua
- Consideración de impactos ambientales en el diseño del producto
- Utilización de un concepto de análisis del ciclo de vida de los productos
- Optimización en el uso de materias primas durante la producción

Por último, otros estudios como el de Gallardo-Vázquez y Sánchez-Hernández (2013) vinculan de forma sintética la dimensión medioambiental con aspectos relacionados con la minimización de los impactos, el ahorro energético y la protección del entorno. Así mismo, Maestre, Ramírez y Romero (2017) mencionan como prácticas empresariales de la dimensión ambiental el cumplimiento de leyes ambientales, contar con un departamento o persona encargada de temas ambientales, la minimización de residuos sólidos en el proceso, la optimización del consumo de energía y agua, y los programas de concientización ambiental.

3.3. Análisis de variables sociales

El funcionamiento de la sociedad basado en el comportamiento egoísta y que privilegia el beneficio individual no ha traído consecuencias positivas para el bienestar de la comunidad a lo largo de los tiempos; por ello, las organizaciones deberían incluir en su forma de actuar los requerimientos que les hace la sociedad (Sabogal, 2008). En estudios que evalúan las prácticas empresariales que permiten identificar una responsabilidad social en el interior de la empresa (Bigné *et al.*, 2005), se encuentran factores como: rechazar operar en países que violan los derechos humanos —trabajo infantil, régimen político antidemocrático, etc.—; contribuir a mejorar la calidad de vida en todas las regiones donde opera la empresa; trato justo a todos los trabajadores, independientemente

del género, la raza, la procedencia o la religión; ayudar a los países en desarrollo; ayudar a los empleados que desean formarse, y respetar los derechos humanos. También la dimensión social puede evaluarse a través de aspectos relacionados con los trabajadores, tales como igualdad, conciliación laboral y familiar, comunicación y participación en la empresa, y salud laboral; y mediante aspectos relacionados con la sociedad, tales como la creación de empleo, la atención a la discapacidad y las relaciones con las organizaciones no gubernamentales (Gallardo-Vázquez y Sánchez-Hernández, 2013).

La evaluación de Nieto y Del Carmen (2016) menciona entre otros indicadores de una dimensión social:

- Con el público interno:
 - compromiso ético de la empresa;
 - política de remuneraciones, prestaciones y carrera;
 - cuidados de salud y seguridad en el trabajo;
 - compromiso con el desarrollo profesional; y
 - excelencia en la atención y el servicio.

- Con el público externo:
 - relaciones con organizaciones locales;
 - financiamiento de acciones; y
 - involucramiento con acciones.

Por último, vale la pena resaltar otros factores que pueden ser usados para evaluar el componente social en la empresa, centrados en los grupos de interés: las prácticas laborales, el tratamiento especial de los derechos humanos, el manejo de la corrupción, la responsabilidad en la cadena de valor, la forma en que se establecen contactos eficientes con los accionistas y, finalmente, los grados de responsabilidad que hay frente a los clientes (Medina, Martín y Beltrán, 2016).

3.3.1. Diseño del instrumento

La revisión realizada de las diferentes metodologías permite identificar que la mayoría de los indicadores usados son armonizables para diferentes funciones, como puede ser redactar informes de sostenibilidad, de reporte para las partes interesadas, internos y sobre aportes a los Objetivos

de Desarrollo Sostenible (ODS), entre otros. Sin embargo, no existe un esquema sencillo que permita desarrollar una medición simple, con información primaria, y que realizar un *benchmarking* entre empresas.

Por ello, para el indicador de medición de la producción sostenible EAN Sustainability Index (ESuI), se formuló el trabajo en las tres dimensiones de la sostenibilidad, a través de indicadores primarios de desempeño complementados con indicadores secundarios, que permiten obtener una visión integral de desarrollo y se relacionan directamente con los ODS desde una perspectiva empresarial, como se observa en el siguiente diagrama:

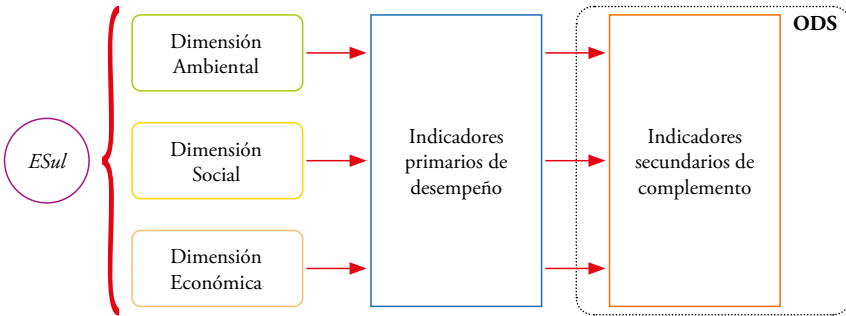


DIAGRAMA 1. Estructura general propuesta para el índice para la medición de la sostenibilidad empresarial

Fuente: elaboración propia.

Los indicadores primarios de desempeño fueron seleccionados bajo los siguientes criterios:

- Que representen en la mejor medida a la dimensión respectiva
- Que requieran datos que no cuya consecución o análisis no representen complejidad
- Que aborden temáticas vinculadas con sistemas de gestión que puedan estar en el interior de las empresas, implementados previamente —sistemas de calidad, de gestión ambiental, OSHAS o equivalentes—
- Que estén relacionados con aspectos que la empresa monitorea debido a intereses gerenciales —por ejemplo, consumos o costos—.

De la totalidad de las metas dentro de los diecisiete ODS, fue necesario identificar aquellas que tuvieran relación con la actividad empresarial, y no tanto con la actividad pública. También se seleccionó una batería de indicadores que pudieran ser medidos con facilidad en las empresas y que pudieran complementar de forma adecuada a los indicadores primarios de desempeño planteados para alimentar el ESuI. De esta forma, es claro que hubo un proceso de priorización que se representa en el diagrama 2.

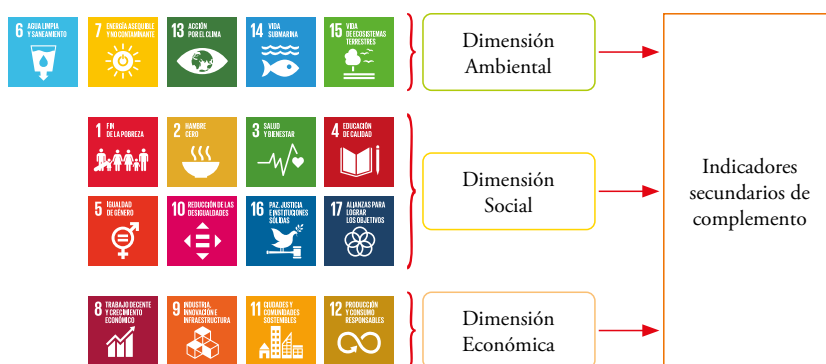


DIAGRAMA 2. Esquema de selección de indicadores realizada desde los ODS para el índice

Fuente: elaboración propia.

De esta forma se armonizaron las posibilidades prácticas del sector empresarial con los elementos que, en un contexto de gerencia estratégica, es necesario implementar y medir en términos de aporte desde 2016, cuando fueron definidos y aceptados los ODS. El desarrollo del índice implicó validar las preguntas a través de ejercicios desarrollados en semilleros de investigación y, luego, hacer la aplicación piloto del EAN Sustainability Index a una muestra no probabilística y discrecional de empresas dentro del programa EAN Impacta, de la Universidad EAN.

3.4. Criterios de selección de variables

Las variables utilizadas para la aplicación del indicador fueron definidas con base en los siguientes criterios: en primer lugar, la facilidad con que las empresas pueden suministrar la información ya sea porque la deben presentar a terceros o usarla para la generación de otros indicadores; y,

en segundo lugar, por la relevancia que representan para la medición de cada una de las dimensiones incluidas en el indicador.

3.4.1. Variables económicas

Las variables económicas definidas para la medición de la dimensión económica se establecieron a partir de la información a la que se puede acceder por medio de los estados financieros de uso general de cualquier empresa formalmente establecida, así:

TABLA 2. Componentes de medición variables económicas

DIMENSIÓN	DEFINICIÓN	SUBDIMENSIÓN	DEFINICIÓN
Económica	Se refiere al impacto de la organización en las condiciones económicas de sus partes interesadas. López, Delgado-Ceballos y Montiel (2016) dicen que hay una alta interconexión entre la dimensión económica y la dimensión social de la sostenibilidad corporativa.	Estabilidad financiera	Capacidad de una empresa para mantenerse en condiciones financieras favorables durante un periodo determinado. Se mide con la evolución en los últimos años de tres variables: ventas, utilidades operativas e inversión operativa.
		Productividad y eficiencia	Relación entre los bienes y servicios elaborados y los recursos invertidos en su producción, de manera que pueda obtenerse la mayor cantidad de bienes y servicios. Se calcula a través de la fórmula: Ventas totales /costos totales.
		Liquidez	Consiste en la relación entre el activo corriente y el pasivo corriente. Razón de liquidez = Activo corriente/pasivo corriente Muestra la capacidad de atender las deudas en el corto plazo.
		Solvencia	Diferencia entre el activo total y el pasivo exigible. Se denomina «final» porque sería la empleada en el caso de una liquidación empresarial.

DIMENSIÓN	DEFINICIÓN	SUBDIMENSIÓN	DEFINICIÓN
Económica	Bansal (2005) describió esta dimensión como la creación y distribución de bienes y servicios que ayuda a aumentar el nivel de vida alrededor del mundo. Algunos académicos en las dos dimensiones en una sola bajo el término <i>dimensión socioeconómica de la sostenibilidad corporativa</i> .	Solvencia	A través de ella se mide si el valor de los bienes del activo respalda la totalidad de las deudas contraídas. Ratio de solvencia=(activo no corriente +activo corriente)/ (pasivo no corriente+pasivo corriente)
		Rentabilidad	La relación que existe entre sus utilidades o beneficios, y la inversión o los recursos que ha utilizado para obtenerlos. ROIC = nopat /capital invertido. WACC = (pas/act)*(costo del pasivo)*(i. imptos) + (pat/act)*(costo del patrimonio) EVA = (roic - wacc) x ic
		Innovación	Una innovación es la introducción al uso de un producto (bien o servicio), de un proceso, nuevo o significativamente mejorado, o de un método de comercialización o de organización nuevo aplicado a las prácticas de negocio, a la organización del trabajo o a las relaciones externas. Para que haya innovación hace falta, como mínimo, que el producto, el proceso, el método de comercialización o el método de organización sean nuevos (o significativamente mejores) para la empresa.

Fuente: elaboración propia.

3.4.2. Variables ambientales

Las variables ambientales definidas para el indicador y su medición de la dimensión ambiental fueron establecidas a partir de información que, se espera, sea accesible desde la empresa en términos de su operación diaria, facilitando así su consecución y permitiendo la implementación de indicadores de desempeño ambiental, y de paso, del EAN Sustainability

Index. Los componentes de medición de los factores ambientales se presentan en la tabla 3.

TABLA 3. Componentes de medición variables ambientales

DIMENSIÓN	DEFINICIÓN	SUBDIMENSIÓN	DEFINICIÓN
Ambiental	Esta dimensión intenta recoger el valor agregado de la empresa a las comunidades en las que realiza su operación, contribuyendo al aumento del capital humano, así como a fomentar el capital.	Eficiencia energética y consumo energía limpia	Identificar las presiones sobre recursos de energía (por unidad de ventas) en la empresa. Se medirá a través del consumo de energía promedio en kWh, en el periodo reportado por facturación.
			La eficiencia energética es la práctica que busca optimizar los procesos productivos y el empleo de la energía utilizando lo mismo o menos para producir más bienes y servicios. Se mide a través de la existencia de un plan de ahorro y uso eficiente de energía.
			El consumo de energía limpia es la práctica orientada al reemplazo de fuentes de energía no renovables por las renovables. Se medirá a través de la cantidad de energía renovable que se usa en la empresa.
		Consumo de agua y eficiencia en el uso del agua	Plan de ahorro y uso eficiente de agua /agua reciclada /aguas residuales. Se medirá a través de: consumo/ periodo de tiempo, generación de un plan de ahorro y uso eficiente de agua, y la identificación de la forma en que maneja los vertimientos de aguas residuales.
		Generación y aprovechamiento de desperdicios/ residuos	Se medirá como la cantidad total de residuos que se generan y la fracción de ellos que se aprovecha.

DIMENSIÓN	DEFINICIÓN	SUBDIMENSIÓN	DEFINICIÓN
Ambiental		Calidad del aire /emisiones	Se evaluará a través de la verificación de: medición de huella de carbono, presencia de sistemas de combustión y obtención de permiso de emisiones.
		Inversiones y gastos medioambientales	Nivel de recursos destinados a actividades de educación, conservación o restauración ambiental.
		Sistema de gestión ambiental/ generación de reportes medioambientales	Indagar por la implementación del sistema de gestión ambiental como herramienta que sistematiza y documenta los procedimientos de los distintos aspectos ambientales que afectan a la empresa.

Fuente: elaboración propia.

3.4.3. Variables sociales

Para el EAN Sustainability Index, y con el fin de realizar la medición de la dimensión social, se establecieron unos indicadores que buscan evaluar aspectos relevantes para la equidad social en la organización; de la misma forma que los indicadores de los factores anteriores, se espera que la información solicitada sea accesible desde la empresa en términos de su operación diaria, facilitando así su consecución. Los componentes de medición de los factores ambientales se presentan en la tabla 4.

TABLA 4. Componentes de medición variables sociales

DIMENSIÓN	DEFINICIÓN	SUBDIMENSIÓN	DEFINICIÓN
Social	Se refiere al impacto de la organización en las condiciones económicas de sus partes interesadas. López, Delgado-Ceballos y Montiel (2016) dicen que hay una alta interconexión entre la dimensión económica	Manejo del cliente	Esta subdimensión analiza los programas de atención a quejas y reclamos, en términos de la existencia de un sistema de atención al cliente y el porcentaje de satisfacción.
		Salud y seguridad en el trabajo	Verificar que se garanticen condiciones de trabajo dignas, en términos del riesgo físico. Se mide a través del cumplimiento de los indicadores de salud y seguridad en el trabajo.

DIMENSIÓN	DEFINICIÓN	SUBDIMENSIÓN	DEFINICIÓN
Social	y la dimensión social de la sostenibilidad corporativa. Bansal (2005) describió esta dimensión como la creación y distribución de bienes y servicios que ayuda a aumentar el nivel de vida alrededor del mundo.	Gastos del empleador en el bienestar de sus empleados	Busca evaluar el interés de la empresa en generar actividades y acciones que mejoren la calidad de vida de sus empleados como: teletrabajo, apoyo a vivienda y montos invertidos en dichos programas.
		Relaciones con la comunidad	Busca identificar actividades que realice la empresa en conjunto con la comunidad de la zona de influencia, así como con otras comunidades de diferentes zonas. Se mide en términos de desarrollo de actividades y montos invertidos.
		Igualdad de oportunidades (hombres, mujeres, jóvenes y discapacitados) /estabilidad laboral	Identifica el tipo de contrato, el género, e incluso condiciones de minorías étnicas o sociales con referencia a la empresa. Así mismo, busca identificar el número de jóvenes y tipo de contrato que tienen en la empresa, y si existen disparidades entre géneros por actividades o sueldos.

Fuente: elaboración propia.

3.5. Criterios de definición de preguntas

Las preguntas fueron definidas con base en las subdimensiones establecidas para cada una de las tres dimensiones generales; a su vez, se establecieron preguntas que brindaran información cuantificable que se puede llevar fácilmente a la agregación total del indicador.

3.5.1. Variables económicas

Estabilidad financiera: de acuerdo con la definición planteada para esta subdimensión en la tabla 2, se incluyó en el mecanismo de recolección de información un requerimiento cuantitativo asociado a cuatro elementos

fundamentales: las ventas, las utilidades derivadas de la operación del negocio, los costos totales y el monto de inversiones operativas realizadas en el periodo de tiempo analizado.

La información que se debe aportar debe corresponder con los tres últimos años de operación de la empresa, lo anterior, con la intención de definir una línea base con la información aportada más antigua, y medir la evolución de la empresa en los aspectos mencionados para los dos años siguientes. Se debe plantear de esta forma para garantizar en el proceso de medición el análisis de una tendencia o comportamiento de las variables examinadas a través del tiempo, y no solo durante un periodo específico de la vida de la empresa estudiada.

TABLA 5. Requerimientos de información estabilidad financiera

	AÑO BASE	AÑO 1	AÑO 2
Ventas totales			
Utilidades operativas			
Costos totales			
Inversiones operativas			

Fuente: elaboración propia.

Productividad y Eficiencia: para la medición financiera de la productividad, o mejor, de la efectividad en términos del mejoramiento de ventas y la disminución de costos alcanzada por la empresa en el periodo analizado, no es necesario definir requerimientos de información adicionales, dado que para el cálculo de la de este indicador se usan dos variables disponibles en la información capturada durante el proceso de análisis de estabilidad financiera.

De acuerdo con lo anterior, la productividad se mide como una relación en la cual las empresas son capaces de incrementar sus ventas sin incrementar los costos en igual proporción; en otras palabras, se mide la capacidad que tiene la empresa de hacer más con menos, o por lo menos hacer más con los mismos recursos. El método de cálculo es una relación entre las ventas y los costos totales alcanzados en el periodo de tiempo analizado: $\text{ventas totales/costos totales}$.

Liquidez: para la revisión de este aspecto se utilizan los datos de activo y pasivo corriente que aportan las empresas, estos datos nos permiten

calcular dos indicadores fundamentales: la razón corriente —para determinar su capacidad de pago en el corto plazo— y sus exigencias de capital de trabajo. Al igual que en el resto de los análisis de tipo financiero, no se interpreta para la estructura del indicador el valor obtenido sino su evolución en el periodo analizado. Este factor se incluye porque uno de los mayores problemas de las empresas es garantizar la liquidez en la operación del negocio, y la deficiencia en este factor atenta directamente contra su sostenibilidad.

Solvencia: este indicador nos permite determinar qué tanto respaldo tienen las empresas para cubrir con sus pasivos de largo plazo. Se mide por medio de la relación entre lo activos y pasivos totales de cada periodo; para medir el indicador de sostenibilidad, se calcula la evolución en el indicador.

Rentabilidad: se mide desde la perspectiva de generación de valor. Para ello, se utiliza el enfoque del EVA, el cual se calcula como la diferencia obtenida entre la rentabilidad de capital invertido en la operación y el costo de financiación en el que hayan incurrido las empresas. Como en este caso es bastante difícil acceder a los valores exactos del costo de capital, se usará el cálculo la rentabilidad del patrimonio como la rentabilidad mínima exigida por los inversionistas, y el costo de la deuda se fijará de acuerdo con las tasas de interés promedio del mercado; la tasa de impuesto se asumirá en un 33 % para todas las empresas. Estos criterios se definen con la intención de complejizar el proceso de recolección de la información. El cálculo del EVA nos permite medir qué tanto valor está construyendo o destruyendo dentro del periodo de tiempo analizado.

Inversión en innovación: dentro del análisis financiero se incluyeron preguntas orientadas a medir qué tanto presupuesto están destinando las empresas a procesos de innovación. Estas preguntas, en su mayoría, son de carácter cualitativo, pero nos permitirán determinar la relación que existe entre el tipo de proyectos en los que las empresas invierten y el nivel de valor que logran generar en el periodo de tiempo analizado.

La pregunta incluida en esta categoría es: «¿Cuánto dinero destinó para el desarrollo de actividades científicas, tecnológicas y de innovación?».

TABLA 6. Información requerida para determinar el tipo de mejoras que las empresas alcanzaron por medio de la inversión en proyectos de innovación

En 2019 en su empresa:			
¿Mejóro la calidad de bienes y servicios?	Sí		No
¿Amplió la gama de bienes y servicios?	Sí		No
¿Ingresó a un nuevo mercado geográfico?	Sí		No
¿Comenzó a atender un nuevo segmento de mercado	Sí		No
¿Experimentó aumentos de productividad?	Sí		No
¿Experimentó una reducción de costos laborales?	Sí		No
¿Experimentó una reducción en el uso de materias primas?	Sí		No

Fuente: elaboración propia

3.5.2. Variables ambientales

En términos generales, las preguntas de la dimensión ambiental se pueden agrupar en los siguientes temas: energía, aguas, residuos, emisiones y programas vinculados a la dimensión ambiental. Las preguntas formuladas para dichos factores se presentan a continuación:

- ¿Cuál fue el consumo de energía en kWh según el último recibo de energía pagado?
 - Periodicidad de la facturación
- ¿Tiene plan de ahorro y uso eficiente de energía?
 - ¿Cuál es el porcentaje (%) de cumplimiento de metas del plan de ahorro y uso eficiente de energía?
- ¿Utiliza fuentes de energía renovables, tales como solar, eólica y biocombustibles?
 - ¿Cuál es la participación de la energía renovable en el total de energía utilizada por la empresa?
- ¿Cuál fue el consumo de agua en m³, según el último recibo de agua pagado?
 - Periodicidad de la facturación
- ¿Tiene plan de ahorro y uso eficiente de agua?
 - ¿Cuál es el porcentaje (%) de cumplimiento de metas del plan de ahorro y uso eficiente de energía?
- ¿Tiene un sistema de tratamiento de aguas residuales?
 - ¿Tiene permiso de vertimientos?

- ¿Cuál es el nivel de residuos promedio en kg generado semanalmente? —Incluya basura y material reciclable—
- ¿Hace separación en la fuente?
 - Del total de residuos generado ¿qué porcentaje recicla?
- ¿Tiene evaluación de inventario de huella de carbono?
- ¿Tiene sistema de combustión tipo horno/caldera/planta eléctrica?
 - ¿Tiene permiso de emisiones?
- ¿Desarrolló programas o actividades de restauración, conservación o educación ambiental el año anterior?
- ¿Tiene certificaciones ambientales?

3.5.3. Variables sociales

De forma global, se propuso que las preguntas que abordan los factores incorporados dentro de la dimensión social se agruparan en los siguientes temas: calidad y servicio al cliente, trabajo con partes interesadas y trabajo e inclusión. Las preguntas propuestas para estos temas se encuentran a continuación:

Calidad y servicio al cliente:

- ¿La empresa cuenta con un sistema de evaluación en el servicio o atención al cliente?
- Durante 2016, ¿qué porcentaje del total de productos y servicios vendidos le fue devuelto?
- ¿La empresa tiene certificación de calidad? —Producto, servicio o proceso—

Trabajo con partes interesadas:

- ¿Cuál es el porcentaje (%) de cumplimiento de los indicadores de salud y seguridad en el trabajo?
- En el año anterior ¿desarrolló actividades —como apoyo a vivienda, bienestar para los empleados, recreación, teletrabajo, etc.— que buscan el bienestar de sus empleados?
 - Dinero invertido

- En el año anterior ¿desarrolló actividades —como eventos, celebraciones y actividades de embellecimiento, entre otras— con la comunidad de la zona en donde está ubicada su empresa?
 - Dinero invertido
- En el año anterior ¿Desarrolló de actividades —como eventos y celebraciones, entre otras— con comunidades externas a la zona en donde está ubicada su empresa?
 - Dinero invertido
- Trabajo e inclusión: Especifique el número de personas contratadas en su empresa de acuerdo con las siguientes categorías:

TABLA 7. Información requerida de inclusión laboral

TIPO DE CONTRATO	MUJERES	HOMBRES	JÓVENES (HASTA 28 AÑOS)	DISCAPACITADOS	APRENDICES	NEGROS, INDÍGENAS, ROM
a. Término indefinido						
b. Término fijo						
c. Prestación de servicios						
d. Contrato de obra o labor						
e. Contrato de aprendizaje						
f. Contrato temporal, ocasional o accidental						

Fuente: elaboración propia

- ¿Todos los cargos en su empresa pueden ser ocupados por hombres y mujeres indistintamente?
- Número total de cargos de alta dirección en la empresa —cargos en juntas directivas, gerencia general, gerencias de áreas o equivalentes, subgerencias, coordinadores o equivalentes—
- Número de mujeres en cargos de alta dirección

3.6. Mecanismo de agregación de información

Para este tipo de indicadores, es necesario un mecanismo de agregación que permita hacer aditividad en términos de las variables, respetando la diferencia de unidades, pero buscando sumar los comportamientos positivos obtenidos en ellas. Por lo tanto, el mecanismo de agregación utilizado para calcular el indicador de sostenibilidad, de acuerdo con

las preguntas definidas para cada dimensión, se definió tal como se presenta a continuación:

TABLA 8. Proceso de agregación de las variables económicas

PREGUNTAS DEL FORMULARIO	CALIFICACIÓN		
Dimensión económica = (sumatoria valores/5) Notas: máximo valor sumatoria=5, valores dimensión entre 0 y 1			
	AÑO BASE	AÑO 1	AÑO 2
E1. Ventas totales de los 3 últimos años	Valor base	Var (positiva=1), (negativa o igual al año anterior=0)	Var (positiva=1), (negativa o igual al año anterior=0)
E2. Utilidades operativas de los 3 últimos años			
E3. Inversiones operativas de los últimos 3 años			
E4. Distribución (%) de las utilidades en el último año	Valor base	Mayor porcentaje en reinversión operativa=1. Mayor porcentaje en pago de deuda o distribución de dividendos=0,5. No invirtió en ninguno=0	
Dividendos () Reinversión () Pago deuda ()			
E4.1 Proyectos en los que se realizó reinversión (marcar con X)	Valor base	No se incluye como factor cuantitativo en el cálculo del valor de la dimensión económica	
Ambientales () Comunidad () Tecnología () Alianzas () Innovación ()			
Otros: _____			
E. 5 valor pagado en impuestos: Año 2014_____	Indicador base EVA	Calcular EVA y revisar: Var (positiva=1), (negativa o igual al año anterior=0)	Calcular EVA y revisar: Var (positiva=1), (negativa o igual al año anterior =0)
Año 2015_____ Año			
2016_____			
E. 6 Valor de sus activos de operativos de largo plazo: Año 2014_____	Indicador base EVA	Calcular EVA y revisar: Var (positiva=1), (negativa o igual al año anterior=0)	Calcular EVA y revisar: Var (positiva=1), (negativa o igual al año anterior =0)
Año 2015_____ Año			
2016_____			
E.7 Valor total de:			

PREGUNTAS DEL FORMULARIO	CALIFICACIÓN		
Activos totales: Año 2014_____			
Año 2015_____ Año			
2016_____			
Pasivos totales: Año 2014_____			
Año 2015_____ Año			
2016_____			
E.8 Valor total depreciación acumulada:			
Año 2014_____			
Año 2015_____ Año			
2016_____			
E.9 Valor total de:	Indicador de razón corriente y capital de trabajo de la empresa	Var (positiva=1), (negativa o igual al año anterior=0)	Var (positiva=1), (negativa o igual al año anterior=0)
Activos corrientes (corto plazo):			
Año 2014_____			
Año 2015_____ Año			
2016_____			
Pasivos corrientes (corto plazo):			
Año 2014_____			
Año 2015_____ Año			
2016_____			

Fuente: elaboración propia

TABLA 9. Proceso de agregación de las variables sociales

DIMENSIÓN SOCIAL = (SUMATORIA VALORES/9) NOTAS: MÁXIMO VALOR SUMATORIA=9, VALORES DIMENSIÓN ENTRE 0 Y 1	
S1.1 n.º de empleados a término indefinido	
S1.2 n.º de mujeres empleadas	% (>=35%, 1), (< 35%, 0)
S.1.3 n.º de personas discapacitadas empleadas	% (>=10%, 1), (< 10%, 0)
S2. n.º total de cargos de alta dirección en la empresa	
S2.1 n.º de mujeres en cargos de alta dirección (o % aproximado)	% (>=50%, 1), (< 50%, 0)
S3. Tiene cargos que puedan ser desempeñados por hombres y mujeres (responda sí o no)	

DIMENSIÓN SOCIAL = (SUMATORIA VALORES/9) NOTAS: MÁXIMO VALOR SUMATORIA=9, VALORES DIMENSIÓN ENTRE 0 Y 1	
S3.1 En caso de que sí, ¿hay diferencia en el sueldo? (responda sí o no) _____	Rta. (sí , o), (no, 1)
S4. n.º de cargos que ganan más de 2 SMMLV	% (>=50%, 1), (< 50%, 0)
S5. Qué porcentaje (aproximado) de sus empleados está en el siguiente rango de edad:	No se incluye como factor en el cálculo del valor de la dimensión social
18 -24 años _____% 25-35 años _____% 35-50 años _____% más de 50 años _____%	
S6. Qué porcentaje (aproximado) de sus empleados está en el siguiente rango de antigüedad en la empresa:	% con respecto a la edad de la empresa. Se aplica para porcentaje mayor de empleados (100 % edad empresa, 1) (50 % edad empresa, 0,5) (25 % o menos edad empresa, 0)
Menos de 1 año _____% Entre 1 y 5 años _____% Entre 6 y 10 años _____%	
Más de 10 años _____%	
S7. Índice de cumplimiento de indicadores de salud y seguridad en el trabajo (%) _____	% (>=90 %, 1), (% 80-90, 0,5), (< 90 %, 0)
S8. Tiene plan de trabajo con comunidad externa a la empresa (responda sí o no) _____	Rta. (sí, 1), (no, 0)
S8.1 En caso de que sí, mencione los elementos más importantes de ese plan de trabajo externo (comunicación, programas, etc.). _____	
S9. ¿Tiene un plan de trabajo para trabajar con empleados de la empresa? (Responda sí o no)	Rta. (sí, 1), (no, 0)
S9.1 En caso de que sí: mencione los elementos más importantes de ese plan de trabajo interno (comunicación, formación, recreación, etc.). _____	
S10. ¿Maneja compensación variable en su empresa? (Responda sí o no)	No se incluye como factor en el cálculo del valor de la dimensión social

Fuente: elaboración propia.

TABLA 10. Proceso de agregación de las variables ambientales

DIMENSIÓN AMBIENTAL = (SUMATORIA VALORES/10 O 14) NOTAS: MÁXIMO VALOR SUMATORIA=ENTRE 10 Y 14, VALORES DIMENSIÓN ENTRE 0 Y 1		Año base	Año I
A0. Número de unidades producidas promedio (mes)			
A1. Consumo de agua (m ³) promedio (mes) (bimensual) (anual)			
A2. Consumo de energía (kW/h) promedio (mes) (bimensual) (anual)			ahorro con respecto a valor normalizado* (positiva= 1), (Negativa o igual al año anterior =0)
A3. Generación total de residuos (kg) promedio (mes) (bimensual) (anual)		valor base	* valor normalizado usando número de unidades o ventas
A4. Aprovechamiento de residuos (kg) promedio (mes) (bimensual) (anual)			Variación con respecto a valor normalizado* (aumento=1), (disminución o igual al año anterior =0)
A5. ¿Tiene evaluación de inventario de huella de carbono? (Responda sí o no)		Rta.(sí, I), (no, o)	
A5.1 En caso de que sí, ¿cuál es la huella de carbono?		No se incluye como factor en el cálculo del valor de la dimensión ambiental	
A6. ¿Tiene plan de ahorro y uso eficiente del agua? (Responda sí o no)		Rta. (sí, I), (no, o)	
A6.1 En caso de que sí, cumplimiento (%) metas del plan de ahorro y uso eficiente del agua		%** (>=90 %, I), (% 80-90, O), (< 90 %, O)	

DIMENSIÓN AMBIENTAL = (SUMATORIA VALORES/10 O 14) NOTAS: MÁXIMO VALOR SUMATORIA=ENTRE 10 Y 14, VALORES DIMENSIÓN ENTRE 0 Y 1	
A7. Tiene plan de ahorro y uso eficiente de energía (responda sí o no) _____	Rta. (sí, 1), (no, 0)
A7.1 En caso de que sí, cumplimiento (%) metas del plan de ahorro y uso eficiente de energía	%** (>=90 %, 1), (% 80-90, 0,5), (< 90 %, 0)
A8. Cantidad de energía proveniente de energías renovables (%) _____	% sobre el consumo total (>=25 %, 1), (25 %-5%, 0,5) (< 5%, 0)
A9. ¿Tiene un sistema de tratamiento de aguas residuales? (Responda sí o no) _____	Rta (sí, 1), (no, 0)
A9.1 En caso de que sí, ¿tiene permiso de vertimientos? (Responda sí o no) _____	Rta (sí, 1), (no, 0)
A10. Tiene sistema de combustión tipo horno/caldera/planta eléctrica? (Responda sí o no) _____	
A10.1 En caso de que sí, ¿tiene permiso de emisiones? (Responda sí o no) _____	Rta.** (sí, 1), (no, 0)
A11. ¿Tiene un sistema de gestión ambiental? (Responda sí o no) _____	Rta. (sí, 1), (no, 0)
A12. ¿Qué actividades realiza para evitar el impacto ambiental en su empresa (aparte de los descritos)? _____	No se incluye como factor en el cálculo del valor de la dimensión ambiental

** solo se tiene en cuenta en caso de que A10 = sí

Fuente: elaboración propia.

4. Resultados de la aplicación piloto a empresas EAN impacta

Con el fin de comprobar el correcto funcionamiento del instrumento de evaluación, se determinó llevar a cabo un proyecto piloto de aplicación de este a cinco empresas pertenecientes al programa EAN Impacta —incubadora de empresas de estudiantes y egresados— de la Universidad EAN; cifra que corresponde al 10 % de las empresas que anualmente salen del programa de incubación.

En primera instancia, se procedió a digitalizar el instrumento de evaluación a través de un formulario electrónico, tomando como referencia la rúbrica expuesta. Luego, se inició la comunicación con los emprendedores a cargo de cada empresa, informándoles acerca del alcance y propósito del presente proyecto de investigación, e invitándolos a ser parte de este al diligenciar el instrumento virtual. La totalidad de los emprendedores invitados accedió a participar en el piloto, proveyendo así un excelente insumo para analizar el desempeño del EAN Sustainability Index.

Con los datos obtenidos, se pudo hacer una revisión a través del Alfa de Cronbach para conocer la fiabilidad de los elementos estudiados y, así mismo, la correlación entre cada una de las variables. Para esto fue necesario dividir las variables en dos grupos: en el primer grupo se incluyeron todas las variables de la dimensión económica, y en el segundo, las variables de las dimensiones social y ambiental.

El primer grupo obtuvo un resultado de 0,95, donde 1 era el valor máximo. Esto quiere decir que los resultados están dirigidos hacia un mismo punto: medir los factores económicos. Por otro lado, el segundo grupo obtuvo un resultado promedio de 0,54. Pese a su número bajo, fue un resultado positivo; esto, debido a que estas dimensiones contaron con faltantes de información, que habrían permitido aumentar el resultado si hubiesen sido respondidas. En general, ambos resultados representan una respuesta positiva con respecto a los valores hallados en el EAN Sustainability Index, y a la fiabilidad del instrumento.

En segunda medida, el proyecto piloto de aplicación del instrumento con las empresas del programa EAN Impacta resultó de enorme utilidad, pues permitió identificar las fortalezas, así como los aspectos a mejorar, para futuros ejercicios con el EAN Sustainability Index. En cuanto al desempeño de las empresas participantes, a continuación,

se presenta la infografía elaborada con los resultados consolidados de este primer piloto.

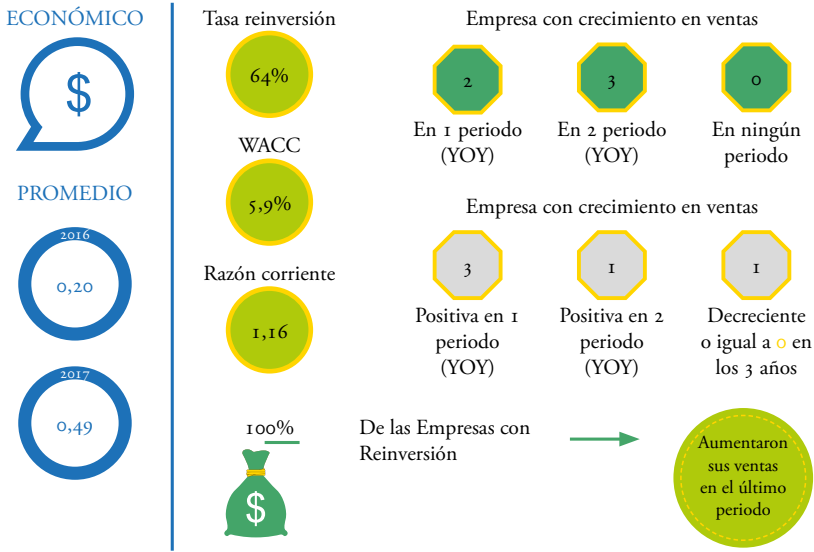


IMAGEN 1. Infografía piloto EAN Impacta. Dimensión económica

Fuente: elaboración propia.

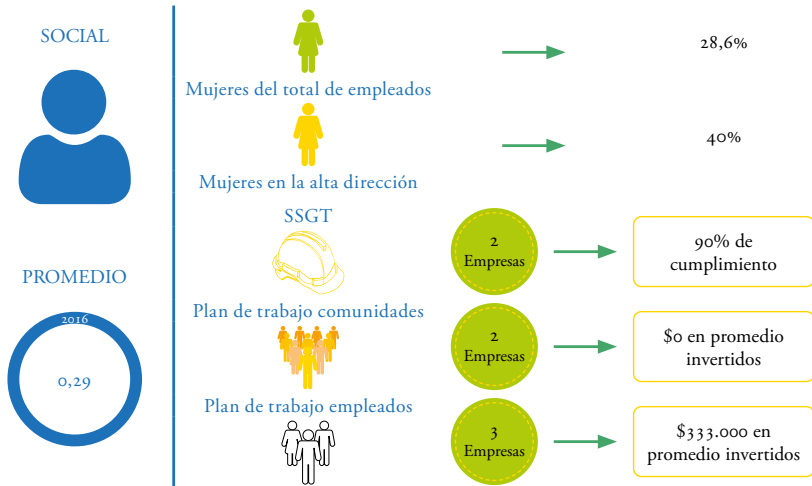


IMAGEN 2. Infografía piloto EAN Impacta. Dimensión social

Fuente: elaboración propia.

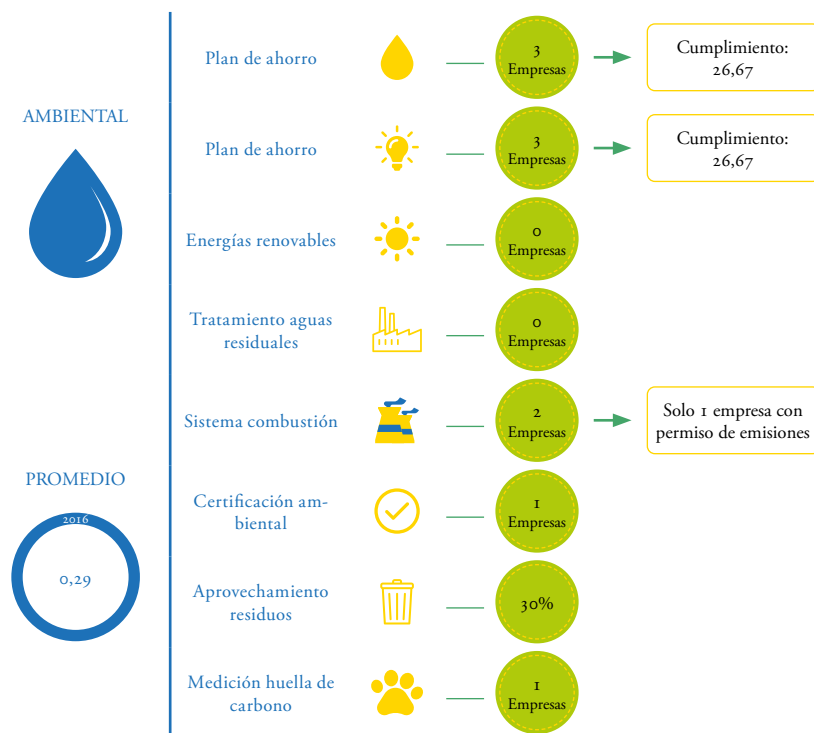


IMAGEN 3. Infografía piloto EAN Impacta. Dimensión ambiental

Fuente: elaboración propia.

En términos generales, como resultado global de la aplicación del instrumento a estas empresas del programa EAN Impacta, se resalta que ciertos aspectos que fueron definidos como parte de las variables de cada dimensión del instrumento —y, por tanto, fueron incluidos en el formulario electrónico— no hacían parte de los mecanismos de agregación de la información a través de los cuales se obtiene la calificación ponderada para cada dimensión; de la misma forma, ciertos aspectos que se establecieron como parte de los mecanismos de agregación de la información no se encontraban dentro de la lista de variables.

Además, los resultados acerca de la representatividad de las preguntas vinculadas a las variables y su representatividad frente a las dimensiones de análisis propuestas denotan la adecuada labor realizada en términos de contextualizar la identificación de variables, y a la acertada aplicación de criterios para seleccionar las variables que harían parte del instrumento. Este, que resulta un paso de validación estadístico, es vital para cualquier tipo de instrumento que se desee aplicar de forma

masiva, y es un punto de confianza en el camino del EAN Sustainability Index de cara al futuro. De hecho, investigaciones posteriores que han ampliado el rango de aplicación a más de las cincuenta empresas (Martínez *et al.*, 2019) se han podido desarrollar por cuenta de esta comprobación valiosa de representatividad.

En relación con la investigación, se pone en evidencia la dificultad de la exactitud de los resultados, debido a que las empresas no suelen realizar un seguimiento adecuado de indicadores de algunas de las dimensiones a lo largo del tiempo. De la misma forma, se muestra una potencial gran limitación en la información brindada, principalmente, con respecto a la dimensión económica.

5. Conclusiones y limitaciones de la investigación

El desarrollo de la presente investigación hizo posible formular una metodología que integra diferentes necesidades de información que existen en la actualidad para la empresa privada, sin generar demandas adicionales de captura de datos o de procesamiento de información, al desarrollar un índice que permite la medición de la producción sostenible (o de la sostenibilidad de la actividad empresarial), tanto para actividades de manufactura como de servicios.

La validación del instrumento, la armonización con requerimientos externos —como lo pueden ser los ODS— e internos —como Key Performance Indicators [KPI]— de una empresa, así como la sinergia del índice propuesto con otras metodologías probadas y en funcionamiento —programa EAN Impacta y los modelos MMGO[®] y Mispymes de la Universidad EAN—, garantizan el funcionamiento del índice más allá de los pilotos desarrollados durante la investigación.

Examinar las dimensiones de la sostenibilidad a la luz de los ODS permite la complementariedad de los análisis propuestos, y genera valor agregado para los reportes que, desde el sector privado, se deban realizar para consolidar información sobre las metas de los ODS en el marco de un informe país.

Los resultados obtenidos durante el diseño de la herramienta en 2017 hicieron posible que entre 2018 y 2019 se aplicara de forma voluntaria el EAN Sustainability Index a empresas que hacen parte de iniciativas voluntarias de trabajo en emprendimiento sostenible de Colombia, con

el fin de generar una plataforma de reconocimiento y *benchmarking* entre las empresas que vienen implementando históricamente medidas de sostenibilidad en su actuar y, además, desarrollan informes o reportes de sostenibilidad bajo alguno de los estándares existentes y reconocidos en el mundo.

Sobre la base de la experiencia obtenida al aplicar de forma piloto el EAN Sustainability Index a cinco empresas del programa EAN Impacta, se observan oportunidades de mejora en la captura y procesamiento de la información, que van a redundar en los resultados obtenidos en el proceso. Al respecto, se hace necesario verificar que todas las variables sobre las cuales se captura información hagan parte de la valoración de la dimensión respectiva —y, por ende, del instrumento—; y en la misma vía, que la captura de la información se haga de forma completa para poder contar con la totalidad de la data requerida para la evaluación de las dimensiones.

Las limitaciones del instrumento generado durante la presente investigación están directamente vinculadas con su desarrollo teórico y el restringido marco de su validación, lo cual genera la necesidad de ampliar el espectro de aplicación, con el fin de observar tanto la usabilidad de los resultados que arroja como la replicabilidad de estos. Se considera que una siguiente fase de la investigación debe llegar a una muestra mayor de empresas de EAN Impacta, así como a empresas que no han hecho parte del programa de incubación de la Universidad EAN.

6. Referencias

- Adkins, R.; Aledort, R.; Borowick, R. (2003). *The Feasibility of Sustainability Reporting at Dartmouth College*. Hanover: Dartmouth College.
- Andrews, R. N. L., Darnall, N., Gallagher, D. R., Keiner, S. T., Feldman, E., Mitchell, M. L.; Amaral, D.; Jacoby, J. D. (2001). Environmental Management Systems: History, theory, and implementation research. En Coglianese, C.; Nash, J. (eds.). *Regulating from the inside. Can environmental management systems achieve policy goals?* (31-60). Washington: RFF Press.
- Bernal, L. E. P.; Herrera, A. L.; Rodríguez, A. V. (2016). Evaluación del desempeño ambiental de las unidades de producción con agricultura

- protegida. *Red Internacional de Investigadores en Competitividad*, 9(1), 2018-2035.
- Bigné, E.; Chumpitaz, R.; Andreu, L.; Swaen, V. (2005). Percepción de la responsabilidad social corporativa: un análisis cross-cultural. *Universia Business Review*, (5), 14-27.
- Carruthers, G. (2005). *Adoption of environmental management systems in agriculture. An analysis of 40 case studies*. Canberra: RIRDC. Australian Government.
- Comisión Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo (1987). *Our Common Future*. Oxford: Oxford University Press.
- Corbett, C.; Luca, A.; Pan, Jeh-Nan. (2003). Global perspectives on global standards: a 15-economy survey of ISO 9000 and ISO 14000. *ISO Management Systems*, 31-40.
- Florida, R.; Davison, D. (2001). Why do firms adopt environmental practices (and do they make a difference)? En Coglianesi, C. y Nash, J. (eds.), *Regulating from the Inside: Can environmental management systems achieve policy goals?* (82-104). Washington: RFF Press.
- Flórez, M.; Reyes, D.; Martínez, A. (2018). *Instrumentos para la medición de la sostenibilidad empresarial*. Bogotá: Secretaría de Desarrollo Económico/ Universidad EAN.
- Fonseca, A. (2011). The state of sustainability reporting at Canadian universities. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 12(1), 22-40.
- Gallardo, D.; Sánchez, M. I. (2013). Análisis de la incidencia de la responsabilidad social empresarial en el éxito competitivo de las microempresas y el papel de la innovación. *Universia Business Review*, (38), 14-31.
- Gómez, D.; Martínez S., J. A. (2013). *Diseño e implementación del índice de sostenibilidad ambiental en la Universidad EAN. Informe final de investigación*. Bogotá: Universidad EAN.
- Grolleau, G.; Mzoughi, N.; Thomas, A. (2007). What drives agrifood firms to register for an Environmental Management System? *European Review of Agricultural Economics*, 34(2), 233-255.
- Hussey, D.; Kirsop, P.; Meissen, R. (2001). Global Reporting Initiative Guidelines: An Evaluation of Sustainable Development Metrics for Industry. *Environmental Quality Management*, 11(1), 1-20.
- Lok, S. (2010). Indicadores de sostenibilidad para el estudio de pastizales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 44(4), 333-344.
- López, C.; López, E.; Ancona, I. (2005). Desarrollo sustentable o sostenible: una definición conceptual. *Horizonte Sanitario*, 4(2), 8-14.

- Lozano, R. (2006). A tool for Graphical Assessment of Sustainability in Universities (GASU). *Journal of Cleaner Production* (14), 963-972.
- Lozano, R. (2011). The state of sustainability reporting in universities. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 12(1), 67-78
- Maestre Córdoba, D.; Ramírez Freyle, E.; Romero Zúñiga, C. (2017). Dimensión Ambiental de la Responsabilidad Social Empresarial, en el Sector Hotelero en Riohacha (La Guajira - Colombia). *Science of Human Action*, 2(1), 100-116.
- Martínez, J. A.; Valero G., Jorge L (s. f.). Identificación de factores que inciden en la sostenibilidad de las PyMes. Working paper.
- Martínez, J. A. (2018). La economía circular y los residuos. *Revista ANDESCO*, (34), 50-55.
- Martínez, J. A.; Reyes, D. M.; Carrillo, L. N.; Rueda, M. J. (2019). Implementación de un método de medición de la sostenibilidad empresarial: EAN Sustainability Index. *NOVUM*, 2(9), 49-64.
- Medina, J. V.; Martín, Y. P. M.; Beltrán, J. E. P. (2016). La responsabilidad social empresarial (RSE) en las organizaciones públicas: estudio de caso "Ecopetrol". *Academia y Virtualidad*, 6(1), 92-113.
- Méndez, R. M.; Muñoz, M. A. M. V.; Román, J. G. (2016). Gestión ambiental empresarial en las micro y pequeñas empresas procesadoras de alimentos ubicadas en Puebla, México. *Revista Global de Negocios*, 4(4), 53-64.
- Morhardt, J.; Baird, S.; Freeman, K. (2002). Scoring corporate environmental and sustainable reports using GRI 2000, ISO 14031 and other criteria. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 9(4), 215-233.
- Nava Rosillón, M. (2009). Análisis financiero: una herramienta clave para una gestión financiera eficiente. *Revista Venezolana de Gerencia*, 14 (48), 606-628.
- Newport, D.; Chesnes, T.; Lindner, A. (2003). The 'environmental sustainability' problem: ensuring that sustainability stands on three legs. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 4(4), 357-63.
- Ortiz, A.; Izquierdo, H.; Rodríguez Monroy, C. (2013). Gestión ambiental en PYMES industriales. *Interciencia*, 38(3), 179-185.
- Romero, G. D. (2012). *Medir la sostenibilidad: indicadores económicos, ecológicos y sociales*. Departamento de Estructura Económica y Economía del Desarrollo, Universidad Autónoma de Madrid. Recuperado de www.ucm.es/info/ec/jec7/pdf/com1-6.pdf

- Perales, J. A. S.; Vázquez, S. T. (2016). Del milenio a la sostenibilidad: en ruta hacia la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible. *Temas para el debate*, (254), 16-18.
- Saavedra, M. L. (2011). La responsabilidad social empresarial y las finanzas. *Cuadernos de Administración (Universidad del Valle)*, 27(46), 39-54.
- Sabogal, J. (2008). Aproximación y cuestionamientos al concepto responsabilidad social empresarial. *Revista Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión*, 16(1), 179-195.
- Segerson, K. (2013). When is reliance on voluntary approaches in agriculture likely to be effective? *Applied Economic Perspectives and Policy*, 35(4), 565-592.
- Shriberg, M. (2002). Institutional assessment tools for sustainability in higher education: strengths, weaknesses, and implications for practice and theory. *Higher Education Policy*, 15, 153-67.
- Speir, J. (2001). EMS and tiered regulation: getting the deal right. En Coglianesi, C. y Nash, J. (eds.), *Regulating from the inside. Can environmental management systems achieve policy goals?* (198-219). Washington: RFF Press.
- Tinsley, S. (2002). EMS Models for business strategy development. *Business Strategy and the Environment*, 11, 376-390
- Vargas, L. (2015). La medición de la sostenibilidad del territorio. *ASUNTOS*, 13-28.
- Williams, H.; Van Hooydonk, A.; Dingle, P.; Annandale, D. (2000). Developing tailored environmental management systems for small businesses. *Eco-management and Auditing*, 7(3), 106-113.

