

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible

y su incidencia en la
transformación de la
Ingeniería

Edgar Ricardo Monroy
Compilador

U2 UNIVERSIDAD
Piloto
DE COLOMBIA

Los objetivos de desarrollo sostenible y su incidencia en la transformación en la ingeniería/
Compilador Edgar Ricardo Monroy. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia, 2023
284 Páginas.
Incluye referencias.
ISBN: 9786287704077

Objetivos de Desarrollo sostenible - Ingeniería
Construcciones sostenibles – Planeación
Desarrollo urbano – Cambio climático
Desarrollo sostenible

CCD: 333.7

Presidente

Olinto Quiñones Quiñones

Rectora

Ángela Gabriela Bernal Medina

Director de Publicaciones y Comunicación Gráfica

Rodrigo Lobo-Guerrero Sarmiento

Director de Investigaciones

Mauricio Hernández Tascón

Decana Programa de Ingeniería Civil

Myriam Jeannette Bermudez Rojas

© Los Objetivos de Desarrollo Sostenible y su insidencia en la tranformación de la Ingeniería**Compilador**

Edgar Ricardo Monroy Vargas

Editor literario

Ronal Orlando Serrano Romero

ISBN

978-628-7704-07-7

Primera edición – 2023

Bogotá, Colombia

Coordinadora de publicaciones

Nancy Liliana Rodríguez

Diseño y diagramación

María Paula Martín



OPEN ACCES



Atribución - No comercial - Sin derivar: Esta licencia es la más restrictiva de las seis licencias principales, sólo permite que otros puedan descargar las obras y compartirlas con otras personas, siempre que se reconozca su autoría y al sello editorial pero no se pueden cambiar de ninguna manera ni se pueden utilizar comercialmente.

Universidad Piloto de Colombia

© Mecánica Estructural

La obra literaria publicada expresa exclusivamente la opinión de sus respectivos autores, de manera que no representa el pensamiento de la Universidad Piloto de Colombia. Cada uno de los autores, suscribió con la Universidad una autorización o contrato de cesión de derechos y una carta de originalidad sobre su aporte, por tanto, los autores asumen la responsabilidad sobre el contenido de esta publicación.

Contenido

Introducción	7
Parte I. La transversalidad de los saberes: aporte para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible	15
Capítulo 1. Criterios de sostenibilidad para ciudades intermedias de Colombia	16
Capítulo 2. Riesgo y ordenamiento territorial: análisis desde un enfoque integral para la seguridad humana	39
Capítulo 3. Gobernanza institucional para la planeación y ejecución de proyectos de desarrollo sostenible enmarcados en la configuración de modelos de adaptación al cambio climático en regiones	55
Capítulo 4. Desarrollo urbano sostenible. Enfoques y resultados en la ciudad de Rosario	79
Capítulo 5. El papel de las certificaciones como estrategia de impulso de la construcción sostenible en Colombia	95
Capítulo 6. Construcciones sostenibles en guadua para viviendas de un piso en zonas rurales	128
Capítulo 7. Evaluación de una alternativa sostenible a los ladrillos convencionales mediante la medición de propiedades físico-mecánicas en ladrillos de arcilla fabricados con adición de residuos de eucalipto.	142
Capítulo 8. Aplicación de agregados reciclados de concreto para mezclas asfálticas de pavimentos: un aporte para la construcción del desarrollo sostenible	168
Capítulo 9. Estudio de mezclas asfálticas densas en caliente con diferentes llenantes minerales para pavimentos de carreteras: una apuesta hacia la sostenibilidad.	185

Parte II. Ensayos cortos y apuntes para un abordaje de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en clave ambiental y en el campo de la educación	202
Capítulo 1. La seguridad hídrica, factor determinante de la efectividad de los Objetivos de Desarrollo Sostenible	203
Capítulo 2. El derecho al agua protegido desde la cooperación de parques nacionales naturales	214
Capítulo 3. La encíclica LAUDATO SI': desafío del cuidado de la casa común a partir de ciudades sostenibles	225
Capítulo 4. La calidad de la educación: un concepto complejo y determinante en la transformación sostenible del sistema educativo	236
Capítulo 5. Proyectos que contribuyen a mejorar el entorno de los estudiantes, sus conocimientos y competencias de manera sostenible	247



Introducción

Edgar Ricardo Monroy Vargas

Ronal Orlando Serrano Romero

El consenso universal del cuidado por el medio ambiente y el aseguramiento de la preservación de la vida de las generaciones presentes y futuras, plasmado en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), atribuye a los líderes de todos los países retos conducentes a una transformación visionaria en la era del conocimiento y la información. Hacer posibles estos desafíos requiere evidentemente de un conocimiento transversal, por lo que propender por el logro de dichos objetivos desde la óptica de la Ingeniería, hace imperiosa la obligación de lograr un engranaje junto a otras disciplinas en aras de brindar un aporte significativo en el cumplimiento de estos ambiciosos propósitos, pero demandados ante los contundentes sucesos finiseculares.

Al respecto, se podría decir que Colombia jamás se había enfrentado a un escenario como el de los últimos años, colmado de vertiginosos cambios que día a día impulsan a repensar el territorio e incorporar la participación de las comunidades que lo habitan. Sin duda, la firma del Acuerdo Final para la Terminación del Conflicto Armado y la Construcción de una Paz Estable y Duradera, la adopción de la Agenda 2030, la aceptación del Acuerdo de París para el Cambio Climático y la implementación de la Misión Crecimiento Verde, han configurado un camino hacia el futuro marcado por grandes retos y profundas transformaciones del territorio colombiano. Sin embargo, este panorama también implica superar las limitaciones que han caracterizado, desde el siglo pasado, el desarrollo territorial en Colombia.

Hablar sobre cómo reducir las brechas desigualdad ratificadas en las disparidades de desarrollo que experimentan las zonas rurales y urbanas, así como las regiones más aisladas del centro del país, se convierte en la meta principal de todas las agendas de trabajo nacional que han reconocido en los Objetivos del Milenio, las lecciones aprendidas y los recursos necesarios para movilizar acciones que lleven a garantizar un mejor planeta para las futuras generaciones. Así las cosas, el engranaje que se requiere para este asunto debe diseñarse a partir de profundas reflexiones que integren los componentes del ordenamiento territorial en sus diferentes escalas con la totalidad de las dimensiones del desarrollo, lo que involucra una integración y alineación de toda la sociedad; y es aquí donde surge la oportunidad de explorar los asuntos coyunturales y estructurales de la agenda que trazará el mañana en Colombia, no solo en el marco de la sos-

tenibilidad, sino desde una concepción de territorio en una Nación de regiones pluriétnicas, multiculturales y diversas.

Partiendo del anterior argumento, se consolidan los trabajos de investigación, divulgación y reflexión que moldean los resultados en este libro, siendo una propuesta multidisciplinar donde a través de sus catorce textos se pretende ofrecer al lector una variedad temática de cara a los ODS universales y transformadores, presentando diferentes propuestas sobre la utilización de nuevos materiales, la concepción de construcciones sostenibles y la gestión territorial orientada a la implementación de los mismos, haciendo uso de herramientas propias de las perspectivas ambiental, social y económica influyentes en el desarrollo.

Como resultado, el libro se ha dividido en dos secciones que no solo buscan establecer un escenario de reflexión y debate a la luz de las perspectivas y los enfoques que permiten abordar las cuestiones que se atañen a la adopción de los ODS, sino también fomentar la investigación a partir de la apropiación y circulación del conocimiento derivado de proyectos de investigación y ensayos de reflexión relacionados con la temática. Entonces, la primera sección titulada *La transversalidad de los saberes, aporte para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible*, reúne nueve capítulos de investigación que exploran, en su orden, avances e implicaciones relacionadas con el logro de ciudades y comunidades sostenibles, la construcción de sostenible y la innovación en nuevos materiales.

En el primer capítulo muestra como la preocupación mundial derivada de los límites que ha alcanzado la humanidad, data de los años 70 cuando empezaban a surgir los primeros análisis de la capacidad de carga del planeta y hacia la década de los 80, tomaban relevancia problemas como la contaminación, el consumo, los residuos y la creciente urbanización ligada al incremento demográfico. La respuesta fue el concepto de sostenibilidad y una agenda internacional con metas comunes, primero, representada en los Objetivos de Desarrollo del Milenio y, posteriormente en los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Ante el panorama actual, con un listado de 17 Objetivos por implementar, resulta pertinente analizar su implicación con el contexto colombiano y las necesidades de desarrollo de las regiones. De este modo, el texto aborda la sostenibilidad

urbana desde los Objetivos de Desarrollo Sostenible, específicamente desde el Objetivo 11. Ciudades y Comunidades Sostenibles; y analiza la incidencia de la urbanización en los desequilibrios de las ciudades y como desde el campo teórico de las ciudades intermedias puede encontrarse. Se presentan así, una propuesta de siete criterios de sostenibilidad en ciudades intermedias para contribuir a la meta común de avanzar en un marco de la sostenibilidad.

Posteriormente, en el segundo capítulo se abre paso a una discusión que parte un asunto clave, en el contexto colombiano es reciente la incorporación normativa de la gestión del riesgo como un determinante del modelo de ocupación del territorio. La seguridad humana, y por extensión, de los asentamientos, es el fin prioritario de estos requerimientos normativos. Es así como en este segundo trabajo se exponen las razones que hacen necesario considerar de manera sistemática la incorporación del riesgo, incluyendo la revisión y adaptación metodológica y la comprensión más adecuada de los fenómenos generadores de riesgo a escalas regionales y urbanas. Para ilustrar la cantidad de factores involucrados, se presenta un análisis de componentes principales realizado para el caso de fenómenos de remoción en masa, del que se concluye que el proceso es complejo e intervienen factores de diferente naturaleza, sobre los cuales es necesario indagar más.

El tercer capítulo, por su parte, describe algunas ideas sobre los efectos del cambio climático en relación con la precipitación atmosférica; variable climática de gran importancia en el análisis del sistema climático regional y global, como también en el desarrollo sostenible de las sociedades asentadas por el mundo. Se presentan algunas consideraciones conceptuales sobre las relaciones físicas que gobiernan la dinámica de la precipitación y cómo éstas conectan con el sostenido crecimiento de las anomalías de temperatura del planeta. Así mismo, se prescriben algunas inquietudes o preguntas abiertas en las teorías científicas que explican la naturaleza de los eventos extremos de precipitación y se establecen algunas rutas para verificar el nivel de complejidad de las interacciones físicas que explican tales eventos. Su conclusión presenta algunas reflexiones alrededor de la gobernanza ambiental como instrumento articulador para enfrentar las potenciales amenazas de los fenómenos climáticos, y que ofrecen nuevas percepciones sobre las medidas de adaptación y mitigación del cambio climático.

El cuarto y último capítulo vinculado a la gestión de ciudades y comunidades sostenibles, titulado *Desarrollo urbano sostenible, enfoques y resultados en la ciudad de Rosario*, propone un planteamiento en que la gestión de la ciudad tiene un rol tan importante como las medidas y propuestas que se formulan para alcanzar las metas establecidas por la administración local. De este modo, el texto aterriza en las formas en que la municipalidad de Rosario, Argentina, fue abordando el tema del desarrollo urbano sostenible, en particular durante los últimos años cuando se propone trabajar con un enfoque más global e integral al respecto. En relación con los ODS, se muestran los avances y las limitaciones, y se presentan resultados concretos en cuanto a los estudios de emisión de GEI y del control térmico en las edificaciones. En concordancia, su cierre abre paso al quinto capítulo de la sección orientado a estudiar el estado del arte de la construcción sostenible en Colombia, y en particular, las certificaciones que, hoy en día, son quienes lideran el desarrollo sostenible en el país. Aunque recientemente se han implementado algunas normas de construcción orientadas a lograr ahorros en los recursos, como el agua y la energía, hace falta regulaciones claras y prácticas que impulsen el sector de la construcción y determinen una gestión integral en materia de sostenibilidad en el ámbito social, ambiental y económico. Así mismo, a partir de la pregunta: ¿Cuáles deben ser las estrategias para seguir en la construcción sostenible en Colombia, como una ruta para conseguir las metas establecidas en el marco del desarrollo de ciudades sostenibles?, los autores examinan los vacíos en materia de regulación y las prácticas asociadas en el país que pueden evidenciarse a partir de razonamientos análogos, entre el estado de arte de los sistemas de certificación sostenible y la regulación local asociada.

El abordaje del Objetivo 9. Industria, Innovación e Infraestructura continua con un trabajo centrado en exponer la importancia de la guadua como materia prima o producto de la construcción. En él se estudian sus propiedades físico-mecánicas y de durabilidad como material renovable de gran significancia en la construcción de vivienda, puentes, canaletas y acueductos, así como en la elaboración de artesanías, utensilios de cocina e instrumentos musicales. No obstante, por ser un recurso renovable posee características especiales, por ejemplo, esta especie de plantas es un regulador de suma importancia de caudales, como también la captura CO_2 , la conservación de suelos, la fauna y la flora aso-

ciada. Como resultado, se revela el procedimiento de construcción en guadua de viviendas unifamiliares, en la cual se va describiendo el proceso constructivo y se explica la importancia y las propiedades del material utilizado.

De manera complementaria a esto último, el siguiente trabajo buscó contribuir en el logro de los ODS, a través de la evaluación de una alternativa sostenible a los ladrillos convencionales a través de la medición de propiedades físico-mecánicas en ladrillos de arcilla fabricados con adición de residuos de eucalipto. Para tal fin, se procedió a la caracterización de la arcilla mediante el método de los límites de Atterberg, logrando fabricar ladrillos con 10% de adición de cortezas y aserrín de eucalipto, en peso. Sus resultados permitieron medir la densidad, la resistencia a la compresión y la tasa de absorción, concluyendo que la reducción de la resistencia a la compresión está directamente relacionada a la cantidad de residuos en la mezcla.

Luego, el trabajo de investigación sobre la *Aplicación de agregados reciclados de concreto para mezclas asfálticas de pavimentos: un aporte para la construcción del desarrollo sostenible*, se refiere al uso de materiales reciclados para la construcción de obras de ingeniería, lo que supone fortalecer la aplicación de los ODS, permitiendo el crecimiento económico de un país a través de la integración y la competitividad. Allí se evaluó en laboratorio la aplicación de materiales alternativos para capas de rodadura de pavimentos flexibles y posteriormente, la adherencia por medio de susceptibilidad de la resistencia a la tracción indirecta en condiciones secas y húmedas, así como también el desgaste a la abrasión cántabro. Como gran resultado, se puede concluir que la aplicación de los agregados RCA es viable desde el punto de vista técnico, lo cual contribuye a la preservación y conservación en términos de la sostenibilidad. La primera sección del libro finaliza con el capítulo Estudios de mezclas asfálticas densas en caliente con diferentes llenantes, el cual aporta nuevos criterios y formas en el diseño de pavimentos con un enfoque sostenible que se armoniza con la visión que Colombia tiene en la búsqueda del cumplimiento de los ODS.

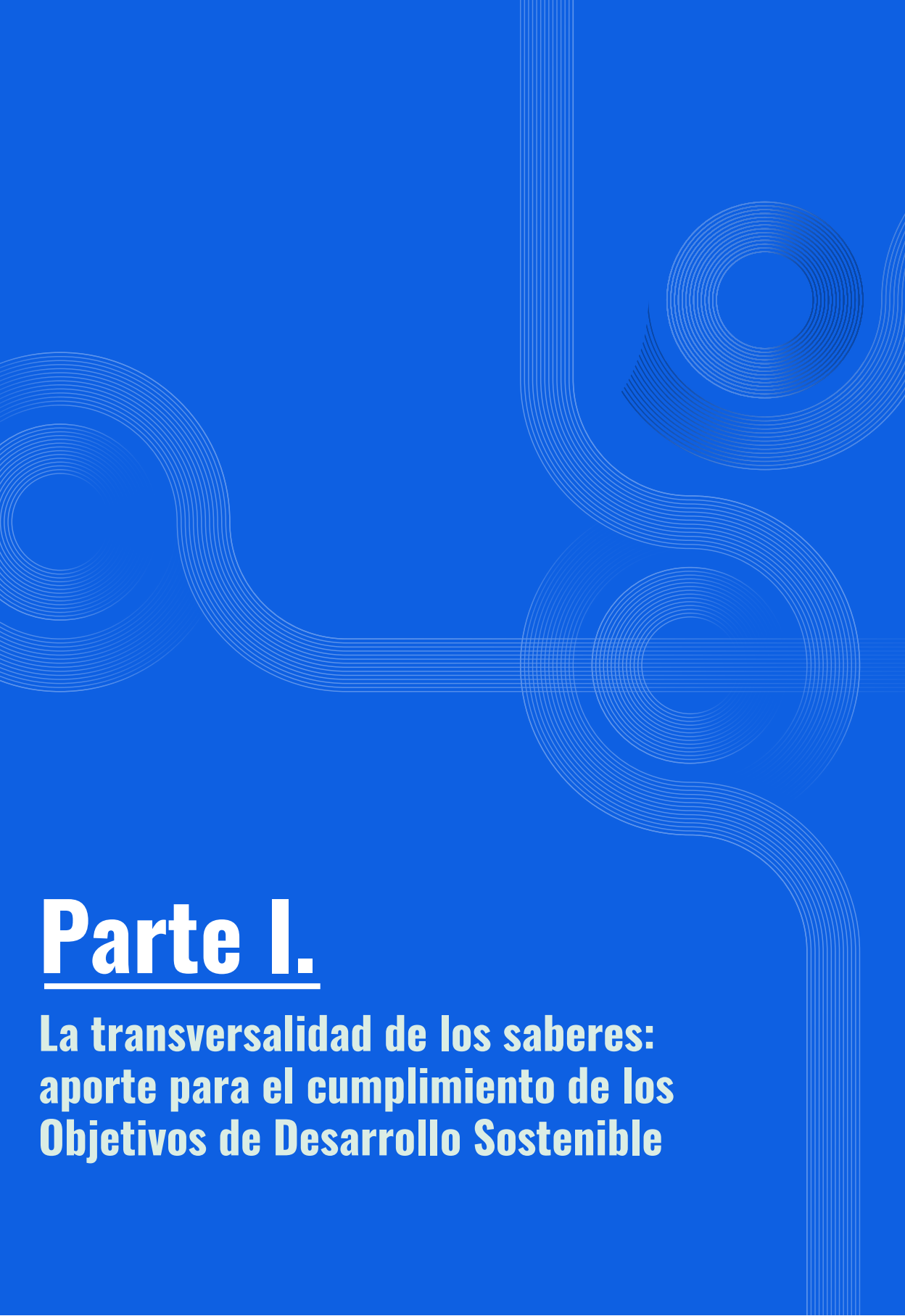
Ahora bien, la segunda sección titulada *Ensayos cortos y apuntes para un abordaje de los ODS en clave ambiental y en el campo de la educación*, agrupa cinco breves textos de divulgación que buscan exponer diversas posturas críticas o

propositivas relacionadas con el derecho al agua, la educación, la ciudad y otros factores determinantes en el ámbito del colombiano. El primer capítulo de este apartado denominado *La seguridad hídrica, factor determinante de la efectividad de los ods en Colombia*, hace un breve análisis de todos los mecanismos que debe implementar el Gobierno Nacional a favor de la protección ambiental de las cuencas a los ciudadanos que habitan en estas zonas. La preocupación por estos sujetos es buscar componentes más participativos para defender los recursos naturales, donde puedan ser parte de las decisiones de los entes gubernamentales que puedan afectar el recurso hídrico y tener un rol de interventores ante las amenazas que se encuentran actualmente en un entorno global tales como la competitividad corporativa, el crecimiento demográfico y la evolución tecnológica, fenómenos que se pueden catalogar como riesgos, los cuales, inciden si no se establecen programas integrales de sostenibilidad ambiental, en una clara vulneración a la salud humana y a la garantía de seguridad hídrica.

Ahora, en el siguiente capítulo se esboza desde el punto de vista jurídico y legal la particularidad que tiene el agua como derecho fundamental consignado en la carta magna, y la manera como organismos internacionales han venido gestionando este recurso en favor de garantizar su protección, conservación y uso de manera asequible a todas las comunidades. De otro lado, se da una mirada global a la manera como los parques naturales contribuyen a la protección de este derecho desde una perspectiva jurídica que busca primordialmente, blindar este preciado recurso en este tipo de ecosistemas. Posteriormente, el trabajo *Encíclica Laudato Si' hacia el logro de los ods desafío del cuidado de la casa común a partir de ciudades sostenibles*, reseña a este como un proceso de gestión urbana cuya finalidad es mejorar las condiciones actuales y futuras de las ciudades o centros urbanos, sin ir deteriorando las condiciones medioambientales del lugar, todo conlleva a un plan de mejoramiento por parte del Estado con adecuaciones de parques, zonas residenciales, protección de reservas naturales, establecimiento de políticas de ahorro energético, cobertura del agua potable, protección de los acuíferos, la gestión integral de los residuos, cuyo propósito es la creación de un entorno agradable a partir de una red de zonas verdes, concepto alineado con lo expresado por el Papa Francisco en su Encíclica para el cuidado de la casa común.

Finalmente, el libro cierra con dos apuntes sobre Educación Superior. El primero titulado *La calidad de la Educación: un concepto complejo y determinante en la transformación sostenible del sistema educativo*, permite una aproximación al concepto de calidad educativa, el cual incluye varios elementos a tener en cuenta para la toma de decisiones y establecer las políticas educativas de cualquier país de la región, en la búsqueda de una educación inclusiva, equitativa y que propenda por el desarrollo tecnológico, científico y humano de los niños y jóvenes. Por último, el capítulo “Proyectos que contribuyen a mejorar el entorno de los estudiantes, sus conocimientos y competencias de forma sostenible”, se centra en mostrar que la aplicación de métodos como el Aprendizaje Basado en Problemas y Orientado por Proyectos, es una forma de construir el conocimiento en áreas como las matemáticas, dada la necesidad de implementar nuevas metodologías para hacer frente a los cambios sociales y a la formación de los profesionales con pocas competencias humanas y profesionales. Al respecto, se observan los cambios que se generan en los estudiantes, tanto en la educación media como en la universitaria, con base en la investigación hecha sobre dos proyectos en los que se desarrollaron investigaciones para la enseñanza de las matemáticas y desplegadas en algunas instituciones educativas de Boyacá y en el área de Ciencias Básicas, del Programa de Ingeniería Civil de la Universidad Santo Tomás, Tunja.

Las reflexiones y los planteamientos esbozados hasta aquí son una muestra de la incidencia de los procesos de investigación y divulgación universitaria en una mejor comprensión por la preservación de toda forma de vida basados en las actuales teorías biocéntricas y ecocéntricas, inquiriendo un desarrollo en criterios de sostenibilidad centrada en la responsabilidad, educación y conciencia ambiental dentro de un contexto global de innovación y creatividad de pensamiento. Vale la pena mencionar que, como ya es tradición en los libros que componen la Colección de Investigaciones del Programa de Ingeniería Civil de la Universidad Piloto de Colombia, los documentos presentados son resultados de trabajos de investigación y divulgación que no solo pueden y “deben” ser sometidos a importantes cuestionamientos, sino que también proponen ejes de estudio que permiten ampliar la búsqueda de instrumentos útiles para concebir y comprender el territorio con base en las dimensiones de la sostenibilidad.



Parte I.

**La transversalidad de los saberes:
aporte para el cumplimiento de los
Objetivos de Desarrollo Sostenible**

Capítulo 1. Criterios de sostenibilidad para ciudades intermedias de Colombia

Paula Andrea Cifuentes Ruiz

Juan Pablo Londoño Linares

Universidad de La Salle

Entre los propósitos que agrupan a la humanidad como conjunto, están la protección del planeta, el fin de la pobreza, el disfrute de la paz y la prosperidad, razón por la cual, los Estados miembros de las Naciones Unidas adoptaron en 2015 los diecisiete Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), los cuales constituyen una agenda común hasta el 2030. Atendiendo a su definición de universalidad, estos objetivos deben contextualizarse y adoptarse en las diferentes políticas de gestión y, por supuesto, son la base para transformar el discurso hacia la sostenibilidad.

Los ods y su relevancia mundial

Antes de hablar de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), se hace necesario presentar los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), porque gracias a estos se identificaron oportunidades y retos contemplados posteriormente en los ODS de una manera más eficaz. Los ODM se establecieron como una hoja de ruta para poner en marcha la Declaración del Milenio (Naciones Unidas, 2000a) con base en los valores y principios acordados por los Estados miembros en la Cumbre del Milenio de 2010 (Naciones Unidas, 2000b). Los ODM (ver Figura 1) están estructurados en ocho objetivos enfocados en la reducción del hambre y la pobreza, así como en mejoras de salud, educación, condiciones de vida, sostenibilidad ambiental e igualdad de género.

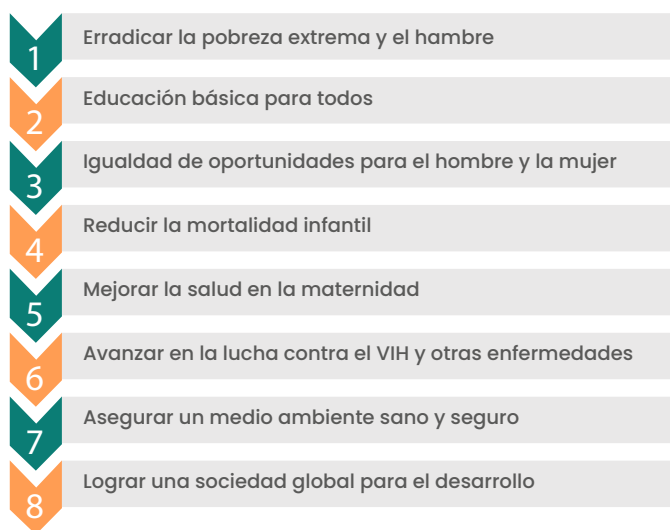


Figura 1. Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM)

Fuente: Elaboración propia con base en datos tomados de “Los Objetivos del Milenio cierran con muchas metas sin cumplir”, *Revista Semana*, 2015.

Los ODM fueron implementados hasta el 2015, año en el cual fueron reemplazados por los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

La Cumbre de las Naciones Unidas Rio+20, del 2012 en Brasil, propuso un conjunto de objetivos para alcanzar el desarrollo sostenible, los cuales, a partir del 2015, deberían tomar el relevo de los Objetivos de Desarrollo del Milenio.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible son una guía para el desarrollo sostenible a escala mundial que se fundamenta en diecisiete objetivos, definidos por la Asamblea General de las Naciones Unidas (2015) para el año 2030: 1) Fin de la pobreza; 2) Hambre cero; 3) Salud y bienestar; 4) Educación de calidad; 5) Igualdad de género; 6) Agua limpia y saneamiento; 7) energía asequible y no contaminante; 8) Trabajo decente y crecimiento económico; 9) Industria, innovación e infraestructura; 10) Reducción de las desigualdades; 11) Ciudades y comunidades sostenibles; 12) Promoción y consumo responsables; 13) Acción por el clima; 14) Vida submarina; 15) Vida de ecosistemas terrestres; 16) Paz, justicia e instituciones sólidas; y 17) Alianzas para lograr los objetivos. Los ODS forman

parte de la Resolución 70/1 de la Asamblea General de las Naciones Unidas del 25 de septiembre de 2015, titulada: “Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible” (ONU, 2015).

Los ODS tienen 169 metas que permitirán alcanzarlos. Estos a su vez incidirán en la acción de las cinco “esferas de importancia crítica para la humanidad y el planeta” (ver Figura 2) consignadas en el documento “Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible” (ONU, 2015, p. 2). Dichas esferas o ejes son: *Personas*, *Planeta*, *Prosperidad*, *Paz* y *Alianzas*; estas cinco esferas o ejes permiten agrupar a los ODS por temáticas de interés mundial.



Figura 2. Ejes estructurantes de los ODS

Fuente: Elaboración propia con base en datos tomados de Naciones Unidas, 2017.

Estas esferas o ejes se relacionan con cada uno de los ODS correspondientes, según la Figura 2. Con la idea de velar por que todos los seres humanos puedan realizar su potencial con dignidad e igualdad y en un medio ambiente saludable —además de velar por que todas las personas puedan disfrutar de una vida plena y por que el progreso económico, social y tecnológico se produzca en armonía con la naturaleza—, la Asamblea se compromete a tomar medidas urgentes para hacer frente al cambio climático, de manera que pueda satisfacer las necesidades de las generaciones presentes y futuras, propiciando sociedades pacíficas, justas e inclusivas, libres del temor y la violencia. Buscan asegurar la implementación de esta Agenda mediante una Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible revitalizada, que se base en un espíritu de mayor solidaridad mundial, centrada en las necesidades de los más pobres y vulnerables, con la colaboración de todos los países, todas las partes interesadas y todas las personas.

Algunos de los retos ponen en evidencia la necesidad de abordar otros ámbitos adicionales que se encuentran implícitos en los ODM, pero que se presentaban como objetivos en los ODS como se detalla a continuación.

Según la Figura 1, en algunos ejes se amplió la cantidad de objetivos, como en los casos del eje de *Planeta* y el eje de *la Prosperidad*. Los ODM, se centran principalmente en las *Personas* y dedican un objetivo al *Planeta*, uno a la *Paz* y otro a las *Alianzas*, mientras que, los ODS, dedican los primeros cinco objetivos a las *Personas*, subdividen el ODM 1 en los ODS 1 y 2, y unifican los ODM 4, 5 y 6 en el ODS 3. En el eje de *Planeta*, en los ODS se presentan cinco objetivos dedicados a la *Vida de ecosistemas terrestres y marinos*, a la *Acción por el clima*, a la *Producción y consumo responsables* y, así mismo, al *Agua limpia y saneamiento*. Tener en cuenta estos aspectos incluidos de manera explícita en los ODS permite que las metas sean realizables.

Los ODM sirvieron para evidenciar muchos retos a escala mundial y definir la mejor manera de enfrentarlos. Finalizada la vigencia de los ODM en 2015, se incluyó en la Agenda Mundial para el Desarrollo Sostenible la creación de un Fondo para la implementación de los ODS; así mismo, el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de la Secretaría de las Naciones Unidas, en respuesta

a la petición de la Asamblea General, presentó un informe de evaluación de la implementación de los ODM, del cual se puede destacar (PNUD, 2015):

- Se registró a nivel mundial que la cantidad de personas que viven en pobreza se redujo a la mitad.
- Entre 1990 y 2015 se triplicó la cantidad de personas de la clase media trabajadora que vive con más de 4 dólares por día.
- A nivel mundial, descendió casi a la mitad la cantidad de niños en edad de recibir enseñanza primaria que no asistió a la escuela.
- Disminuyó en más de la mitad la tasa mundial de mortalidad de niños menores de cinco años.
- A nivel mundial, desde 1990, se registró que la tasa de mortalidad materna disminuyó en un 45%.
- Se reporta un aumento en la esperanza y las oportunidades de la población en el mundo, gracias a los esfuerzos concertados de los Gobiernos nacionales, la comunidad internacional, la sociedad civil y el sector privado.

Para la implementación de los ods en Colombia, la Presidencia de la República creó, en 2015, la Comisión Interinstitucional de Alto Nivel para el alistamiento y la efectiva implementación de la Agenda de Desarrollo Post 2015 y sus ods (PNUD, 2016).

Urbanización

Según cifras de las Naciones Unidas, en Colombia, la proporción urbana entre 1990 y 2018 sufrió un incremento del 12%. De acuerdo con la Figura 3, la tendencia de la urbanización en Colombia es de carácter exponencial; según las proyecciones, se llegará a un 84% en 2030 y a un 89% en 2050, lo cual indica que quedaría como resultante un 11% de zona rural.

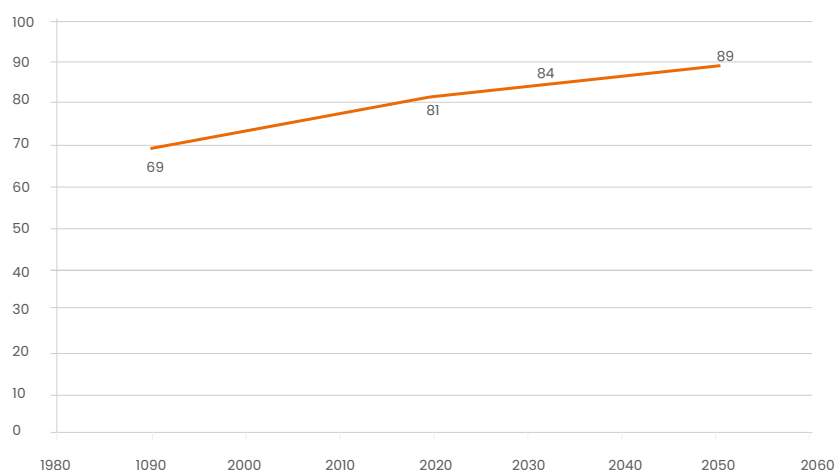


Figura 3. Porcentaje de proporción urbana en Colombia

Fuente: Elaboración propia con base en datos tomados de United Nations, 2018b.

La concentración de población en áreas urbanas genera grandes desigualdades entre la ciudad y el campo. Actualmente, uno de cada dos colombianos(as) que habitan en zonas rurales es pobre, mientras que uno de cada cuatro que habitan en zonas urbanas es pobre (PNUD, 2016, p. 13).

La nueva agenda planteada por los ods, según la Asamblea General de las Naciones Unidas (Naciones Unidas, 2015), tiene por objeto abordar los problemas actuales y futuros. La creciente desigualdad mundial, el aumento de la exposición a los peligros naturales, la rápida urbanización, los nuevos modelos de migración y el consumo excesivo de energía y recursos naturales, por parte de algunos, amenazan con elevar el riesgo de desastres a niveles peligrosos, con efectos sistémicos a nivel mundial. Abordar el ODS 11, “Ciudades y comunidades sostenibles”, desde la arquitectura y el urbanismo se hace indispensable como aporte al desarrollo urbano sostenible.

Este objetivo muestra la importancia del desarrollo urbano y el papel que juegan las ciudades en un mundo que se ha urbanizado rápidamente. En 1950, sólo el 30% de la población mundial vivía en áreas urbanas; se registra que, en 2018, el 55% de las personas habitaba zonas urbanas (United Nations, 2018a).

De acuerdo a datos del documento *World Urbanization Prospects 2018* (United Nations, 2018b), por regiones en el mundo se reportan las siguientes cifras: la zona más urbanizada es América del Norte (con el 82%), le siguen América Latina y el Caribe (81%), Europa (74%) y Oceanía (68%). El nivel de urbanización en Asia se acerca al 50 %; mientras África sigue siendo principalmente rural, con el 43% de su población en áreas urbanas. Según las proyecciones a 2050, la tendencia de crecimiento urbano sigue siendo exponencial (ver Figura 4).

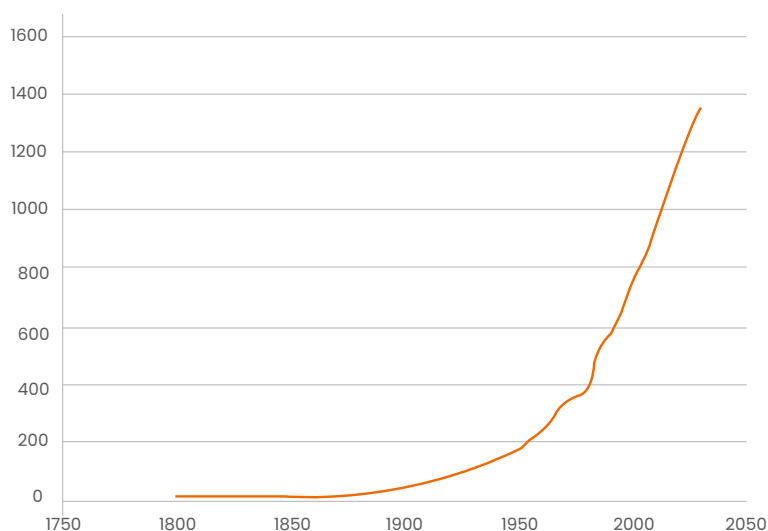


Figura 4. Tendencia urbanización mundial por años

Fuente: Elaboración propia con base en datos tomados de Satterthwaite, 2014.

Los datos confirman que las ciudades son el escenario para la práctica de la sostenibilidad. El planeta está en un proceso rápido de urbanización que crea enormes presiones en las áreas urbanas conducentes a proveer mejores condiciones de vida para la humanidad.

Específicamente con relación a la infraestructura, los daños en puentes, edificios y sistemas de infraestructura distribuida, derivados de la ocurrencia de huracanes, terremotos, inundaciones u otros fenómenos de origen natural, pueden resultar en un conjunto de consecuencias adversas que reducen el potencial de sostenibilidad, incluso en aspectos sociales, ambientales y económicos. Estos

impactos abarcan desde pérdidas de vidas o amenazas a la seguridad pública, interrupción de las actividades económicas e inequidad en los servicios proveídos; pérdidas económicas directas debidas a daños o deterioro de la funcionalidad, generación de residuos, gasto excesivo de recursos y generación de emisiones derivadas de actividades de reconstrucción. Prevenir las pérdidas derivadas de amenazas naturales mediante estrategias de mitigación es un gran aporte a la configuración de comunidades seguras y sostenibles.

Al hablar sobre el incremento exponencial en la población mundial, se evidencian aspectos como las enormes desigualdades presentes en países en desarrollo, la falta de acceso a servicios públicos y la segregación socioespacial.

La relación entre campo-ciudad se ha ido transformando y el campo se ha urbanizado mediante la proliferación de urbanizaciones periféricas. Harvey (2013) dice que el desarrollo capitalista ha incidido en la pérdida de la ciudad tradicional, por el consumo y la “necesidad de disponer de capital sobreacumulado ávido de inversión” (p. 13), y que este modelo económico trae consigo un crecimiento ilimitado, sin importar los impactos ambientales, sociales o políticos, y es considerado el causante de la crisis ambiental actual.

Desde la Nueva Agenda Urbana, se indica que “la población urbana mundial prácticamente se duplicará para el año 2050, lo que hará de la urbanización una de las tendencias más transformadoras en el siglo XXI” (Naciones Unidas, 2016, p. 3). Se afirma que esta situación producirá repercusiones ambientales y humanitarias, con impactos sobre las poblaciones, las actividades económicas y, así mismo, sobre las interacciones entre lo social y lo cultural, las cuales se van a concentrar cada vez más en las ciudades, ocasionando desequilibrios y dificultades para alcanzar la sostenibilidad en vivienda, infraestructura, servicios básicos, seguridad alimentaria, salud, educación, empleos y seguridad, entre otros.

La implementación de la Nueva Agenda Urbana contribuye a la aplicación y la ubicación de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, de manera integrada, y a la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible —entre otros, el Objetivo 11— y sus metas de lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.

Con la introducción del concepto de sostenibilidad en el ámbito urbano, se dio comienzo a la reflexión sobre la posibilidad de construir y consolidar una sociedad urbana que tuviera en cuenta las generaciones futuras, tratando de mejorar las condiciones de vida urbana actuales, sin agotar la base de los recursos naturales en que se sustenta ni deteriorar el medio ambiente, teniendo en cuenta el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus necesidades.

Criterios de sostenibilidad para la ciudad intermedia

Considerando que, debido al auge de la urbanización, será en las ciudades donde se protagonizarán los cambios de la sociedad actual y futura, y teniendo en cuenta que las escalas medianas y pequeñas facilitan el estudio por su tamaño, se plantean unos criterios que permitan implementar a escala intermedia, en zonas urbanas, diferentes estrategias de desarrollo sostenible.

Las ciudades intermedias son consideradas centros urbanos que pueden contribuir a un proceso de urbanización más sostenible debido a las escalas que se manejan en estas ciudades, las interacciones con poblaciones de mayor o menor tamaño, aspectos regionales, culturales y económicos, y porque son las aglomeraciones urbanas que albergarán la mayoría de población en el futuro. En Colombia, se han venido implementando iniciativas en ciudades intermedias para dar respuesta, a corto y largo plazo, a los déficits en aspectos sociales, ambientales, económicos y fiscales. Algunos ejemplos son los programas de “Ciudades Sostenibles y Competitivas” y “Ciudades Emblemáticas” (Departamento Nacional de Planeación, 2014, p. 6).

Se considera que las ciudades son el motor del crecimiento económico sostenible e inclusivo en Colombia. Son lugares para la convergencia en la prestación de servicios públicos y sociales, al igual que focos de seguridad y crecimiento económico; al menos mucho más que en las zonas rurales. Actualmente, el 85% del PIB nacional se genera en las ciudades, con una relación fuerte y positiva entre el nivel de urbanización y la riqueza per cápita de los colombianos (Departamento Nacional de Planeación, 2014, p. 9), sin embargo, es allí donde se registran altos niveles de pobreza y desigualdad, según cuales sean los diferentes centros urbanos.

Frente a los desequilibrios que padecen actualmente las ciudades, surge el campo teórico de las ciudades intermedias (Bellet y Llop, 2000; Bolay y Rabinovich, 2004; Llop y Bellet, 1999) debido a fenómenos como el crecimiento urbano exponencial y sin control, y resulta interesante pensar en criterios que permitan a estas ciudades encaminarse hacia la sostenibilidad. Para ello se proponen siete criterios de la sostenibilidad urbana, presentados con anterioridad en Cifuentes Ruiz (2013) y Cifuentes Ruiz y Llop Torné (2015):

1. Intermediación
2. Compacidad
3. Eficiencia
4. Habitabilidad
5. Movilidad
6. Gobernabilidad
7. Participación ciudadana

Cada uno de estos criterios se relaciona e interactúa con los demás, con la intermediación como centro del esquema y de las relaciones entre los demás criterios (ver Figura 5). Si falta el criterio de intermediación, el sistema no funciona y, a su vez, la ciudad pierde su característica más determinante.

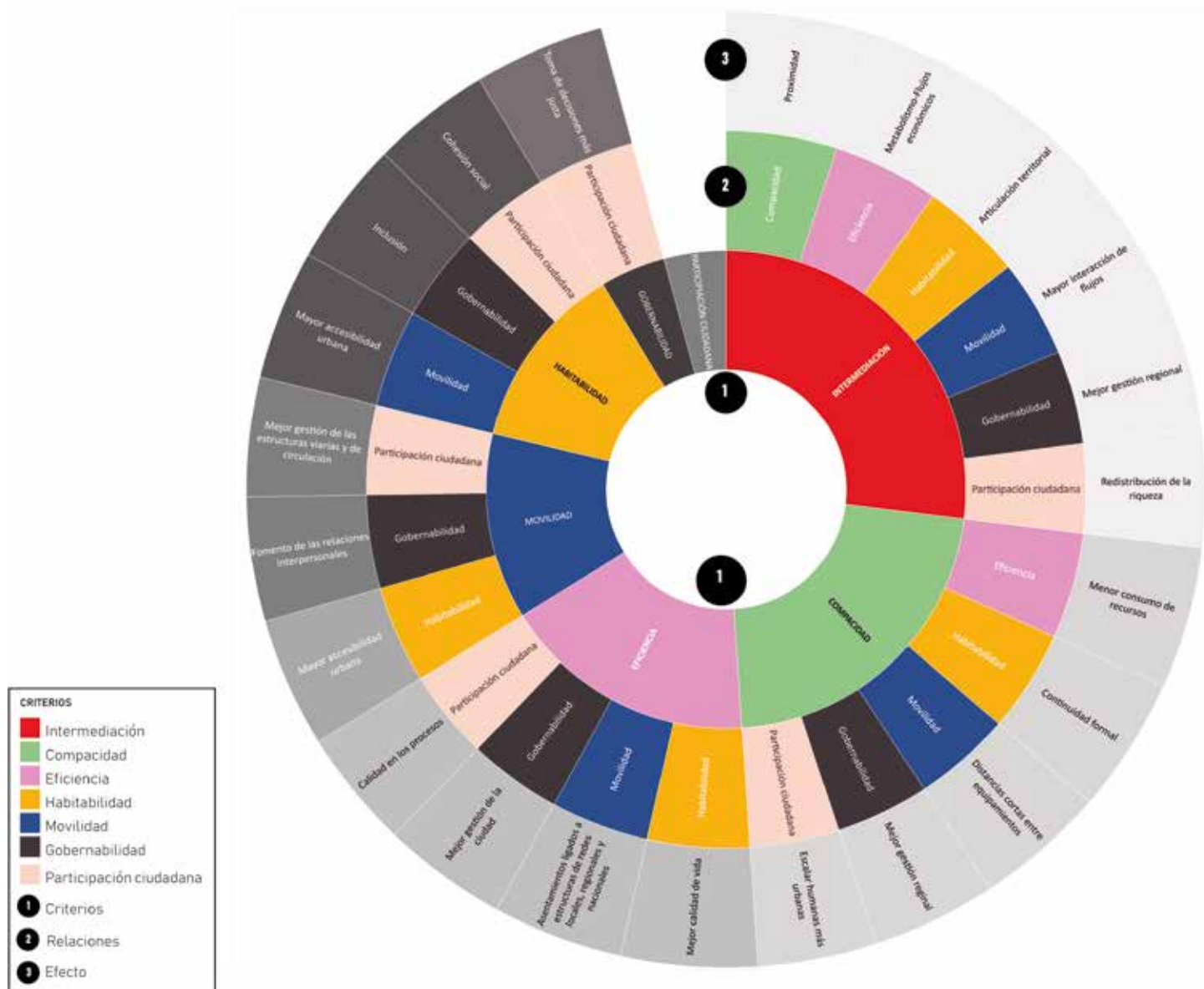


Figura 5. Esquema relaciones entre los criterios de sostenibilidad propuestos
Fuente: Elaboración propia con base en datos tomados de Cifuentes Ruiz, 2013.

La ciudad intermedia es vista dentro de un sistema de ciudades, por eso se plantea como una propuesta de implementación del ods 11, “Ciudades y comunidades sostenibles” para Colombia. Cada criterio posee unas relaciones con los demás, las cuales permiten la existencia permanente de interacciones y flujos de intercambio a diferentes niveles y en diferentes ámbitos: ambientales, sociales, políticos, económicos, históricos, culturales, entre otros. De la relación de cada criterio con otro surgen estrategias de sostenibilidad apropiadas para ciudades intermedias que funcionan también como vínculo y unión recíproca entre los criterios; así mismo, permiten la implementación de estos en lineamientos, estrategias de diseño urbano y acciones para los tomadores de decisiones.

A continuación, se describen de manera sencilla y desde la teoría cada uno de los criterios:

Intermediación. Este criterio se considera fundamental en la caracterización de una ciudad como intermedia. No es suficiente que una ciudad sea de talla media o mediana, es el rol que ésta cumple en una región lo que le permite gozar de este criterio; los flujos e interacciones con aglomeraciones urbanas de mayor o menor tamaño son una pauta indiscutible para considerar una ciudad como intermedia.

Para su implementación se plantean seis relaciones con los demás criterios (ver Figura 6), las cuales son: proximidad, metabolismo y flujos económicos, articulación territorial, mayor interacción de flujos, mejor gestión regional y redistribución de la riqueza

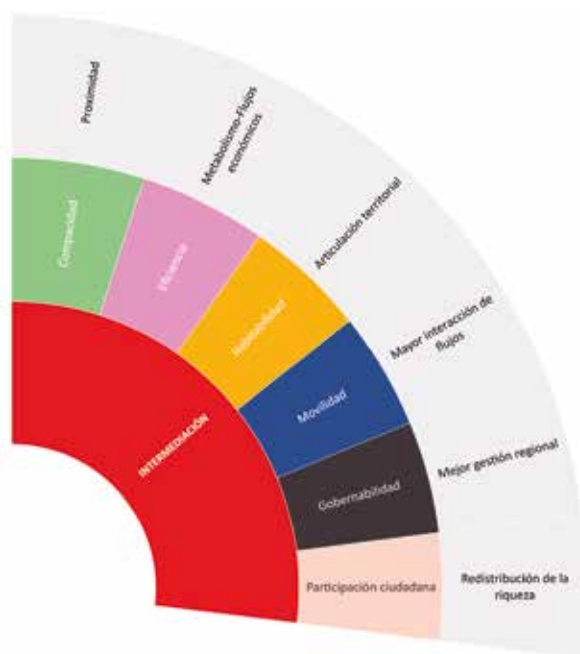


Figura 6. Relaciones entre Intermediación y los demás criterios

Fuente: Elaboración propia con base en datos tomados de Cifuentes Ruiz, 2013.

Bolay y Rabinovich (2004) describen de manera específica once tipos formales de intermediación, los cuales buscan recoger componentes esenciales que constituyen un intercambio entre la ciudad y el resto del mundo: Mercado regional, Centro de servicios, Capital regional, Localidad económica, Ciudades en un área conurbada, Asociación de un grupo de pueblos y Región urbana. En el caso del programa UIA-CIMES, Llop Torné y Hoeflich de Duque (2010) consideran que, dentro del concepto de ciudades intermedias, no se puede concebir el campo separado de la ciudad; agregan que la crisis mundial de alimentos y la industrialización de la agricultura han repercutido en las ciudades y que solamente una actitud intermediaria que incluya al territorio rural fomentará oportunidades innovadoras.

Compacidad. Este criterio es un componente físico relacionado con la densidad edificatoria, la proximidad y la distribución de usos espaciales, entre otras

propiedades. La compacidad es considerada una característica básica de conceptos, como ciudad sostenible y los ecobarrios, pues define aspectos como continuidad formal, multifuncionalidad, heterogeneidad y diversidad urbana.

La escala menor en lo espacial y demográfico presenta una serie de características y rasgos que se convierten en fortalezas para la gestión urbana en América Latina. La proximidad, la cercanía y la compacidad son ventajas para la gestión y la administración de la ciudad. Aunque la población puede estar dispersa en el territorio, puede tener la característica de concentración de actividades y funciones, lo cual permite el incremento en el ahorro de recursos y una mayor eficiencia energética.



Figura 7. Relaciones entre Compacidad y los demás criterios

Fuente: Elaboración propia con base en datos tomados de Cifuentes Ruiz, 2013.

La compacidad se relaciona con los demás criterios planteados a partir del menor consumo de recursos, continuidad formal, distancias cortas entre equipamientos, mejor gestión regional y escalas urbanas más humanas (ver Figura 7).

Eficiencia. Los flujos de intercambio y las interacciones entre las ciudades que conforman una red territorial (intermediación) son características que inciden en la organización y funcionamiento urbano, la entrada y salida de materiales, energía e información; las entradas se reconocen a partir de los recursos y las salidas están representadas en los residuos y contaminación que emanan de cada ciudad.

Actualmente, se encuentran algunos conceptos que permiten implementar estrategias integrales para la gestión de las ciudades y sus territorios cercanos, como es el caso de la economía circular, la cual consiste en reducir tanto la entrada de los materiales como la producción de residuos, este concepto es empleado no solamente en el ámbito económico, sino también por los gobiernos para la gestión sostenible de la ciudad (Prendeville, Cherim, y Bocken, 2018). De las relaciones entre la eficiencia y los demás criterios, se reconocen: la calidad en los procesos urbanos, la mejor gestión de la ciudad, los asentamientos ligados a estructuras de redes locales, regionales y nacionales y la mejor calidad de vida frente a otras aglomeraciones urbanas de mayor tamaño porque su escala permite abordar más fácilmente sus problemas (ver Figura 8).

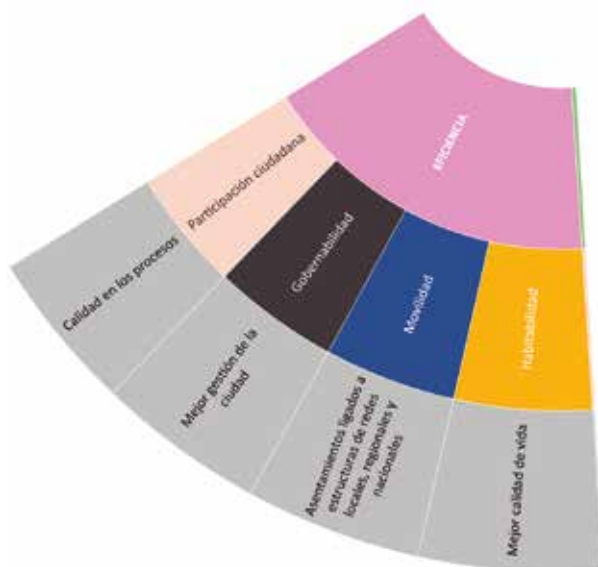


Figura 8. Relaciones entre Eficiencia y los demás criterios

Fuente: Elaboración propia con base en datos tomados de Cifuentes Ruiz, 2013.

Las ciudades intermedias son asentamientos ligados a estructuras de redes locales, regionales y nacionales, lo que incide en el intercambio de flujos desde y hacia el exterior; además, por su tamaño y morfología, poseen problemas ambientales de menor escala y menor consumo de recursos hacia el interior. La proximidad que experimentan estas ciudades, debido a la compacidad, contribuye a una mejor gestión de la ciudad y esto repercute directamente en la calidad de vida de los habitantes.

Habitabilidad. Este criterio define la capacidad de un lugar de satisfacer las necesidades humanas. En el caso de las ciudades intermedias, este criterio demuestra cómo las condiciones de proximidad, acceso a servicios y bienes, la escala urbana, por ejemplo, permiten dar a conocer la satisfacción de la población con dichas ciudades y por qué éstas son consideradas lugares, por excelencia, para vivir (Departamento Nacional de Planeación, 2016; Llop, J. y Bellet, 1999; Llop Torné y Hoeflich de Duque, 2010; PNUD, 2016; UNDESA, 2014).

Las relaciones entre Habitabilidad y los demás criterios presentan los siguientes componentes: cohesión social, inclusión y mejor accesibilidad urbana (ver Figura 9).

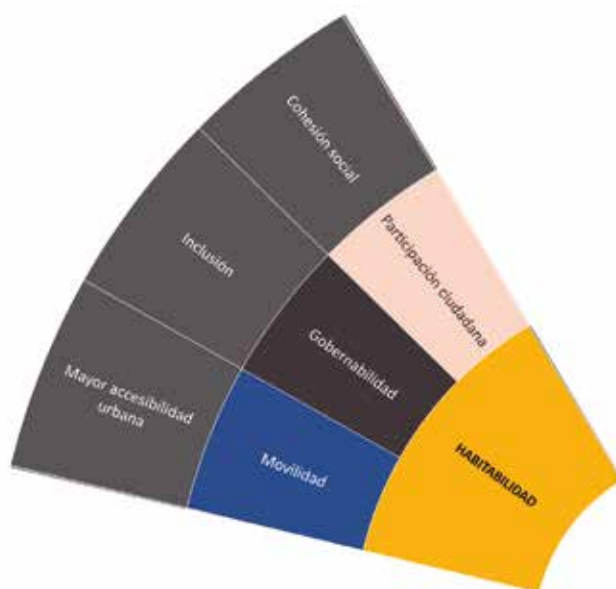


Figura 9. Relaciones entre Habitabilidad y los demás criterios

Fuente: Elaboración propia con base en datos tomados de Cifuentes Ruiz, 2013.

Movilidad. Desde un enfoque espacial y de infraestructura, a medida que las ciudades aumentan su población, se incrementan los problemas de movilidad, debido al incremento de los automóviles y el uso indiscriminado de estos frente al uso del transporte público, por su poca cobertura y capacidad para satisfacer las necesidades permanentes de desplazamiento de la población.

En las ciudades intermedias, estos problemas aún son menores debido a su tamaño, compacidad y a su proximidad a bienes y servicios, lo cual permite desplazamientos a pie, en bicicleta o en transporte público.

Las relaciones entre la Movilidad y los demás criterios planteados son: mejor gestión de las estructuras viarias y de circulación, fomento de las relaciones interpersonales y mayor accesibilidad urbana (ver Figura 10).

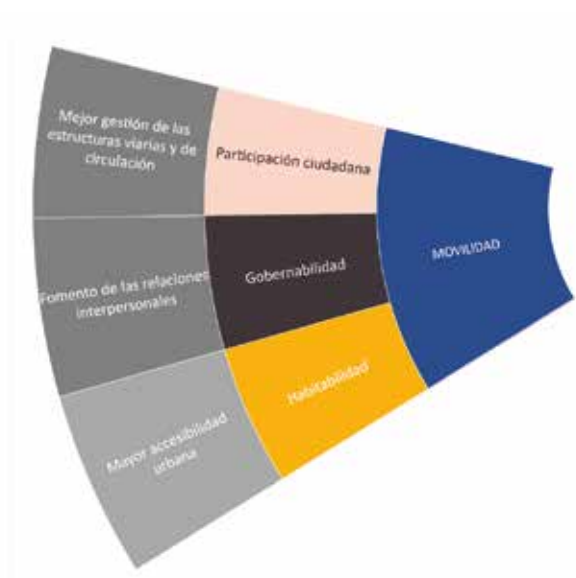


Figura 10. Relaciones entre la Movilidad y los demás criterios

Fuente: Elaboración propia con base en datos tomados de Cifuentes Ruiz, 2013.

Se considera que las ciudades intermedias son un buen laboratorio para identificar problemáticas presentes en las ciudades grandes. Específicamente, en el caso de la movilidad, permitirían no sólo abordar problemas de transporte y accesibilidad, sino también las interacciones con poblaciones cercanas, para potenciar y hacer más efectivas dichas relaciones, además de las necesidades

que tienen en amplias zonas rurales de acceder a vías en condiciones que les permitan el intercambio efectivo de sus productos y de plantear estrategias de movilidad más sostenibles para evitar mayores desplazamientos y emisiones de gases contaminantes.

Gobernabilidad. Este criterio es el responsable de la toma de decisiones y de la capacidad de orientar los procesos de configuración y funcionamiento de las poblaciones, de este criterio depende la adecuada gestión de la ciudad. Las ciudades intermedias son centros urbanos que, por su escala y población, se consideran más gobernables, gestionables, y permiten una participación ciudadana más efectiva no solo por su tamaño urbano, sino también por la proximidad e interacción entre sus habitantes.

La gobernabilidad es uno de los dos faltantes de la lista de criterios de sostenibilidad planteados, con los cuales ya se estableció su relación; sólo falta identificar la relación con la participación ciudadana, la cual se refleja en toma de decisiones más justas (ver Figura 11).



Figura 11. Relaciones entre Gobernabilidad y Participación ciudadana

Fuente: Elaboración propia con base en datos tomados de Cifuentes Ruiz, 2013.

La inversión también es un factor que se facilita en ciudades de esta escala; si se fomenta, esto permitiría la dinamización del sector económico a partir de programas de incentivos y atracción de inversiones.

Participación ciudadana. Este criterio es un derecho de todo ciudadano, pero en algunos lugares no se aplica. Resulta de gran apoyo para los tomadores de decisiones a diferentes escalas, pero, por el contrario y debido a intereses particulares, se tornó irrelevante, lo cual ha ocasionado el fracaso de muchas políticas y decisiones a diferentes niveles.

Es por eso que, en el caso las ciudades intermedias, esta propuesta va de la mano con el criterio anterior, para abordar mejor las condiciones de desarrollo e integración social, pues son las comunidades quienes mejor conocen sus necesidades y el orden de prioridad que se da a la ejecución de proyectos. Esto requiere superar las formas de exclusión y segregación, así como también incrementar la cohesión social, a partir de la articulación de las necesidades reales de las comunidades con la política urbana, en busca de un desarrollo de las ciudades intermedias más justo y solidario.

Como en el caso del criterio anterior, las relaciones de la Participación ciudadana con los demás ya se plantearon y aquí se muestra la toma de decisiones más justas, la cual se repite con la figura 12.



Figura 12. Relaciones entre la Participación ciudadana y la Gobernabilidad

Fuente: Elaboración propia con base en datos tomados de Cifuentes Ruiz, 2013.

Otra de las ventajas de este criterio, en su relación con los demás, radica en el trabajo en red que se puede realizar y los aprendizajes que esto conlleva. Se pueden establecer relaciones de complementariedad y cooperación, posibilidades de intercambio y reactivación económica, entre otras mencionadas.

En su esfuerzo por superar la visión tradicional de la planificación y lograr un ordenamiento territorial justo que tenga en cuenta las necesidades de las poblaciones, más que la atención a las demandas económicas presentes en el territorio y las comunidades.

Aunque cada día es mayor el empoderamiento y la participación dada a las comunidades para la toma de decisiones y la gestión de su territorio, todavía surgen grandes retos para las comunidades y los tomadores de decisiones

en su esfuerzo por superar la visión tradicional de la planificación y lograr un ordenamiento territorial justo que tenga en cuenta las necesidades de las poblaciones, más que la atención a las demandas económicas presentes en el territorio y las comunidades.

Conclusiones

Los acuerdos realizados a escala global repercuten en los compromisos de los gobiernos y naciones del mundo para su implementación a niveles nacionales y regionales a partir de normativas y lineamientos, los cuales permiten que las escalas menores (ciudades) los apliquen en la toma de decisiones.

Todos los antecedentes de asambleas, acuerdos y foros mundiales han incidido en lo que representan y pretenden abarcar los ODS. Se trata de una apuesta por implementar objetivos, a partir de acciones en diferentes ámbitos, de los cuales depende no sólo la preservación de nuestro planeta, sino también el mejoramiento de las condiciones de vida de los asentamientos humanos, como lo proclama el ODS 11 sobre las “Ciudades y comunidades sostenibles”.

Alcanzar los ODS no solamente depende de la voluntad política, también es, en gran medida, un llamado a la academia y a las diferentes instituciones públicas y privadas para que implementen estrategias que contribuyan a su obtención.

Las ciudades en un mundo urbanizado desempeñan un papel cada vez más decisivo en la preservación de nuestra especie, pues es en ellas donde se desarrolla y desarrollará, siempre en mayor proporción, la vida de la humanidad. Es por ello que se requiere pensar en estrategias que permitan alcanzar niveles sostenibles en la producción y el consumo de recursos.

Las ciudades intermedias permiten estudiar los fenómenos urbanos en razón de su dimensión y rol de intermediación, ya que esto las conecta con las demás ciudades de su entorno y les permite interacciones de mayor escala regional, nacional y, en algunos casos, hasta internacional, como es el caso de las ciudades intermedias localizadas en zonas limítrofes.

Lograr implementar estos criterios y otros nuevos podría contribuir a la ejecución de los ODS en ciudades intermedias y estas experiencias, a su vez, podrían trasladarse a ciudades de mayor tamaño.

Los criterios planteados hacen parte de una investigación en curso, con la cual se espera llegar a definir estrategias y actores para su aplicación en ciudades intermedias como contribución a la implementación de los ODS.

Referencias

- Bellet, C. y Llop, J.-M. (2000). Documento 4. Ciudades intermedias y urbanización mundial. Presentación del Programa de Trabajo de la Unión Internacional de Arquitectos (UIA). En Milenio (Ed.), *Ciudades intermedias. Urbanización y sostenibilidad*. Barcelona. <http://www.ceut.udl.cat/wp-content/uploads/D4.pdf>
- Bolay, J. C. y Rabinovich, A. (2004). Intermediate cities in Latin America: Risk and opportunities of coherent urban development. *Cities*, 21(5), 407-421. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2004.07.007>
- Cifuentes-Ruiz, P. A. (2013). *La modelización como herramienta para el análisis urbano de las ciudades intermedias. Estudio de caso usando sistemas de información geográfica en Manizales, Colombia* [tesis doctoral inédita]. Politénica de Catalunya. <https://www.tdx.cat/handle/10803/129849>
- Cifuentes Ruiz, P. A. y Llop Torné, J. M. (2015). Repensando la ciudad: Estrategias de desarrollo urbano sostenible de las ciudades intermedias de América Latina. *Nodo: Arquitectura. Ciudad. Medio Ambiente*, 10(19), 73-83. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5646260.pdf%5Cnhttps://dialnet.unirioja.es/servlet/extart?codigo=5646260>
- Departamento Nacional de Planeación. (2014). *Documento CONPES 3819*. Bogotá.
- Departamento Nacional de Planeación. (2016). *Ciudades modernas*. Bogotá. <https://oscpr.dnp.gov.co/index.php/escalafones/sistema-de-ciudades>
- Harvey, D. (2013). Ciudades rebeldes. *Del derecho de la ciudad a la revolución urbana*. J. Madariaga (Ed.). <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Los Objetivos del Milenio cierran con muchas metas sin cumplir. (2015, julio 5). *Revista Semana*. <https://sostenibilidad.semana.com/impacto/articulo/objetivos-del-milenio-cierran-muchas-metas-cumplir/33340>
- Llop, J. y Bellet, C. (1999). *Intermediate Cities and World Urbanisation*.
- Llop Torné, J. M. y Hoeflich de Duque, S. (2010). Ciudades intermedias, 58. [https://doi.org/10.1016/S0141-0229\(03\)00220-5.L](https://doi.org/10.1016/S0141-0229(03)00220-5.L)

- Naciones Unidas. (2000a). *Declaración del Milenio*. <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N00/559/54/PDF/N0055954.pdf?OpenElement>
- Naciones Unidas. (2000b). *Objetivos de Desarrollo del Milenio*. <https://www.un.org/development/desa/es/millennium-development-goals.html>
- Naciones Unidas. (2015). *Memoria del Secretario General sobre la labor de la Organización*.
- Naciones Unidas. (2016). *Conferencia de las Naciones Unidas sobre la vivienda y el desarrollo urbano sostenible* (Hábitat III) (Vol. 4). Quito. <https://doi.org/10.18268/bsgm1908v4n1x1>
- Naciones Unidas. (2017). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2017/07/se-debe-acelerar-la-implementacion-de-los-objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Organización de las Naciones Unidas, ONU. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU*. Agenda 2030, 16301, 1-40. https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=S
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD. (2015). *Objetivos de Desarrollo del Milenio*. https://www.undp.org/content/undp/es/home/sdgoverview/mdg_goals.html
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD. (2016). *Objetivos de Desarrollo Sostenible, Colombia*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD. <http://www.undp.org/>
- Prendeville, S., Cherim, E. y Bocken, N. (2018). Circular Cities: Mapping Six Cities in Transition. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 26, 171-194. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2017.03.002>
- Satterthwaite, D. (2014). Cities of more than 500,000 people. Visualisation. *International Institute for Environment and Development*. <http://www.iied.org/cities-interactive-data-visual>
- Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas, UNDESA. (2014). *World Urbanization Prospects*. Undesa. <https://doi.org/10.4054/DemRes.2005.12.9>
- United Nations. (2018a). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*, Online Edition. <https://esa.un.org/unpd/wup/%0APublications>
- United Nations. (2018b). *World Urbanization Prospects 2018. Highlights*. Webpage. <https://population.un.org/wup/>

Capítulo 2. Riesgo y ordenamiento territorial: análisis desde un enfoque integral para la seguridad humana

Juan Pablo Londoño Linares

Paula Andrea Cifuentes Ruiz

Universidad de La Salle

A lo largo de los últimos treinta años, se ha elaborado un cuerpo conceptual bastante explícito y robusto en torno al *riesgo* de desastres. Este marco de referencia es resultado del acopio de múltiples elementos de diferentes materias y de su combinación desde una perspectiva interdisciplinaria con visión holística.

Según la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, en su terminología ampliamente aceptada, el *riesgo* es un concepto compuesto, combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas. En tal sentido, la probabilidad de que se produzca el evento está asociada al término *amenaza*, mientras que la vulnerabilidad tiene su expresión en las características y circunstancias de una comunidad o sistema que la hace susceptible a los efectos dañinos de una amenaza.

Resulta evidente la conexión que existe entre el conocimiento de los componentes del riesgo —*amenaza y vulnerabilidad*—, las acciones que deben tomarse y el producto final de todo el proceso, el cual es la seguridad de los asentamientos humanos.

Tradicionalmente, el concepto de *desastre* se asocia con eventos de magnitudes desproporcionadas, cifras importantes de pérdidas de vida, de bienes y producción, y con la necesidad de la movilización de grandes cantidades de ayuda humanitaria y altos costos para el proceso de rehabilitación o reconstrucción de las sociedades afectadas (Lavell, 2010). No obstante, existen otros eventos de consecuencias más contenidas, que ocurren con cierta recurrencia, también detonados por fenómenos naturales, que tienen impactos acumulativos, y muchas veces pasan desapercibidos dadas las definiciones o umbrales mínimos para ingresar a las bases de datos. Este tipo de procesos tiende a formar parte de la cotidianidad de muchas comunidades, especialmente en países en vías de desarrollo, y a quedar fuera de los procesos de planificación del territorio.

Necesidad de estudios de riesgos a escalas urbanas

Es en los asentamientos urbanos donde convergen procesos sociales y naturales, mediados por las intervenciones antrópicas, propias de los procesos de urbanización y ocupación del territorio, y las relaciones sociales. Como producto de estos procesos, surge una nueva categoría de amenazas que han recibido el nombre de “socio-naturales” (Lavell, 1996), caracterizadas por tener lugar sobre elementos del ecosistema, pero mediante su concreción como producto de la intervención antrópica de los ambientes naturales, y la gestación gradual por medio de procesos con componentes estructurales históricos. Ejemplos especialmente críticos de este tipo de eventos son las avenidas torrenciales de Salgar, Antioquia (2015), Mocoa (2017), y más recientemente, la Alerta por inundación en la cuenca baja del río Cauca, a raíz de un posible fallo de la presa en construcción de Hidroituango (2018).

Además, pese a la existencia de un marco de referencia elaborado, y salvo eventos extraordinarios, es poco común contabilizar pérdidas, recolectar datos y evaluar el riesgo sistemáticamente, en términos territoriales. Como consecuencia, no es posible direccionar los recursos necesarios para proteger las comunidades e inversiones y reducir la exposición a futuros impactos, y no se dispone de opciones de priorización de esos recursos, al no conocer el riesgo o amenaza asociada a cada porción del territorio.

Teniendo en cuenta que el ordenamiento territorial se hace en función de los municipios, las amenazas por considerar deben tener implicaciones a esta escala. En el contexto andino son muy comunes las áreas urbanas desarrolladas en montañas, con lo cual cobran especial relevancia los procesos que tienen relación con la topografía, como es el caso de los procesos de remoción en masa y las inundaciones, que además se caracterizan por su alta frecuencia de ocurrencia y consecuencias contenidas.

La evaluación de la amenaza por inundación, por su parte, presenta una particularidad relacionada con la escala de trabajo: tiene un carácter más regional y debe analizarse en el contexto de cada cuenca hidrográfica y cada río en particular, y no obedece a una escala (urbana) específica; posiblemente, por ser competencia de procesos de ordenamiento ambiental a escalas más amplias. Por este motivo, dado que en esta investigación se hace énfasis en el análisis del entorno urbano, se analiza la amenaza que, a juicio de los autores, representa un claro determinante para el ordenamiento territorial a escala urbana: los procesos de remoción en masa.

Necesidad de adaptación de metodologías e incorporación de factores antrópicos

No existe un estándar en cuanto a procedimientos y técnicas para modelar amenazas con fuerte incidencia en áreas urbanas, como los deslizamientos e inundaciones, y faltan mecanismos para garantizar que los gestores de riesgo puedan entender y utilizar ampliamente los resultados derivados de evaluaciones de amenaza y riesgo. Esta situación se hace aún más crítica cuando en estos procesos, además de los elementos naturales, tienen alta importancia la intervención antrópica y el contexto.

Para que ocurra un deslizamiento es preciso que coincidan, temporal y espacialmente, ciertas particularidades geológicas, hidrológicas y geomorfológicas, y algunos procesos geodinámicos relacionados con coberturas vegetales, uso de la tierra y actividades humanas; al igual que algunas características de frecuencia e intensidad de las precipitaciones y la sismicidad. Bajo este panorama, existe un fuerte componente antrópico, representado en factores como

las características y localización de carreteras, tuberías, canales, oleoductos y otros elementos de infraestructura; presencia o ausencia de zonas pavimentadas; zonas verdes; localización de sumideros, drenajes y sitios de descarga de agua; alteración de la cobertura vegetal (Suárez, 2009), entre otros importantes condicionantes que reflejan la presencia humana en el territorio y deben considerarse preferiblemente de manera cuantitativa en un modelo de susceptibilidad de riesgo o amenaza.

En el caso colombiano, la reciente normativa destaca además la falta actual de reglamentación sobre metodologías de evaluación de amenazas y riesgo y la necesidad de buscar estándares, dado que, hasta el momento, cada municipio ha adoptado metodologías dispares, en muchos casos cualitativas, subjetivas y no comparables.

Necesidad de incorporación de estudios de amenaza y riesgo en el OT

Como un mecanismo para enfrentar las pérdidas potenciales por fenómenos naturales, la Planificación y Ordenamiento Territorial, por medio del planteamiento de acciones de prevención y mitigación en función de una “imagen objetivo” de la ciudad, debería poder prever eventos con niveles de daños grandes y frecuencias de excedencia altas. Esta forma de visualizar el riesgo es útil para resaltar la importancia que tiene la Planificación y Ordenación del Territorio, mediante el uso racional del suelo y los recursos.

La inclusión de la gestión del riesgo, de manera transversal en el proceso de planificación local y, por extensión, en el ordenamiento territorial, toma relevancia como estrategia necesaria e instrumento indispensable para actuar sobre el territorio y prevenir desastres mediante procesos de conocimiento y reducción del riesgo. Este tipo de actuaciones conduce a cada municipio a un ciclo de desarrollo continuo, previsto en la Ley 1523 de 2012, en el cual el mejoramiento de las condiciones de vida y la seguridad de la población se convierte en el objetivo prioritario.

Las consecuencias generadas por procesos de remoción en masa pueden minimizarse si se genera una identificación y delimitación de las zonas suscepti-

bles, como insumo básico para la evaluación de amenaza y definición de zonas en condición de amenaza o riesgo, que permitan generar elementos técnicos para la ordenación del territorio, estableciendo usos del suelo adecuados y acordes al entorno. Una tarea de este tipo debe apoyarse en propiciar el conocimiento del riesgo, mediante estudios técnicos que permitan la evaluación de susceptibilidad y amenaza por deslizamientos para la determinación del riesgo, adecuadamente documentado y reproducible. No obstante, es muy importante poder transmitir de manera óptima la información científica generada y poder articularla con las normas vigentes de planificación, códigos específicos de construcción y planes locales de defensa civil.

Como ejemplo de la relevancia que puede tener una correcta interpretación de los eventos generadores de riesgo a escala regional, se presenta un análisis de procesos de remoción en masa realizado en la cuenca del río Chinchiná, a partir del cual surgen conclusiones sobre los diferentes factores causales que inciden en el fenómeno. Un modelo de tipo estadístico para calcular la susceptibilidad a remoción en masa en la cuenca bajo estudio puede encontrarse en Londoño Linares (2017).

Metodología

Factores de propensividad

No existen guías universales para la selección de factores en la evaluación de susceptibilidad a deslizamientos (Ayalew *et al.*, 2005). Puede existir un parámetro importante que controle la estabilidad en cierta zona, pero no en otra. La selección de los factores causales requiere considerar las características del área de estudio y la disponibilidad de datos. Según Ayalew (2005), los factores seleccionados deben ser operacionales, representar la zona completa, ser no uniformes, no redundantes y medibles.

El punto de partida para generar modelos de susceptibilidad a deslizamientos es el supuesto de que los deslizamientos futuros ocurrirán en lugares que reúnan características similares bajo condiciones equivalentes a las que dieron lugar a los deslizamientos pasados. De manera complementaria, se asume que

las causas importantes son conocidas y se incluyen en la base de datos de referencia, y que existe un inventario completo que reúna todos los antecedentes históricos ocurridos en la zona.

En esta propuesta se prefirió utilizar el nombre de factores de propensividad, en lugar de causales, pues realmente se trata de factores intrínsecos de un área que definen qué tan propensa es cada zona a la presencia/ausencia de deslizamientos. No existen factores causales de deslizamientos enumerables, se trata de una combinación entre factores de propensividad y la presencia de un factor detonante que dependen de cada contexto y en conjunto generan predisposición a los movimientos en masa.

En la actualidad, gracias a los desarrollos de la geomática, se puede acceder a datos de sensores remotos y fuentes adicionales en formatos digitales. La existencia de herramientas de *software* geográfico especializadas, permite elaborar cálculos de diferentes niveles de complejidad y preparar diversas capas temáticas, para configurar un catálogo de factores causales de deslizamientos en regiones particulares (Gupta y Joshi, 1990; Van Westen, 2000; Saha, Gupta, y Arora, 2002; Saha *et al.*, 2005a; Saha *et al.*, 2005b), en menos tiempo y con menos esfuerzo que el requerido hace unas décadas.

Un elemento innovador en esta propuesta está constituido por la inclusión de la influencia antrópica y de ciertos factores de propensividad que hacen que el análisis no se limite tan solo a lo natural, como es característico de los estudios tradicionales sobre susceptibilidad a deslizamientos. La tabla 1 presenta una serie de factores de propensividad posibles y sus interrelaciones, clasificadas en dos grandes grupos: los factores naturales y los que son generados por influencia antrópica.

Tabla 1. Factores de propensividad considerados

	Factor causal	Tipo	Descripción
cobe	Coberturas	Coberturas, suelos y geología	Mapa reclasificado de cobertura del terreno.
mpar	Geología	Coberturas, suelos y geología	Mapa reclasificado de material parental en la cuenca.
geom	Geomorfología	Coberturas, suelos y geología	Mapa reclasificado de procesos geomorfológicos en la cuenca.
dem	Elevación del terreno	Asociados al relieve	Elevación del terreno en metros sobre el nivel del mar.
slop	Pendiente	Asociados al relieve	Pendiente de cada píxel de terreno en grados.
se2p	Pendiente transformada	Asociados al relieve	Se trata de una transformación senoidal de la pendiente $se2p = \sin(2 \times pend)$. El supuesto es que, para taludes, se llega a un “ángulo límite”, a partir del cual, si hay estabilidad, se considera que el material es suficientemente resistente y, por lo tanto, la propensión a deslizarse empieza a reducirse.
aspe	Orientación de las laderas	Asociados al relieve	Orientación de cada celda del terreno con respecto al norte geográfico.
curv	Curvatura de la superficie	Asociados al relieve	Curvatura de la superficie. Un valor positivo indica que la superficie es convexa, mientras que uno negativo indica que es cóncava.
prft	Curvatura en el sentido perpendicular a la pendiente	Asociados al relieve	Curvatura (en un plano) perpendicular al sentido de la pendiente de cada píxel.
prfl	Curvatura en el sentido de la pendiente	Asociados al relieve	Es la curvatura del perfil longitudinal del terreno en cada píxel.
acca	Área de cuenca vertiente	Asociados al relieve	Para un píxel dado, es la sumatoria de todos los píxeles cuyas aguas drenan hacia él (similar al concepto de área aferente).

	Factor causal	Tipo	Descripción
lcca	Longitud de flujo	Asociados al relieve	Para un píxel dado, es la distancia máxima que podría recorrer una gota de agua al drenar hacia él.
inso	Insolación incidente en el terreno	Asociados al relieve	Es el promedio de los mapas de insolación para cada hora del día; se calcula según la posición del sol y varía de 0 o nula insolación hasta 255 o máxima insolación.
dfal	Distancia a fallas y lineamientos	Proximidad a agentes causales	Distancia euclidiana desde cada punto del terreno hasta la falla geológica más cercana.
dvía	Distancia a vías y carreteras	Proximidad a agentes causales	Distancia euclidiana desde cada punto del terreno hasta la vía más cercana.
dpob	Distancia a centros poblados	Proximidad a agentes causales	Distancia euclidiana desde cada punto del terreno hasta el perímetro de la población o asentamiento más cercano.
drio	Distancia a ríos y cauces	Proximidad a agentes causales	Distancia euclidiana desde cada punto del terreno hasta el cauce, quebrada o río más cercano.

Área de estudio

Se seleccionó, como área de aplicación del procedimiento, la cuenca del río Chinchiná (Caldas, Colombia), dado que cuenta con información disponible sobre 234 eventos de deslizamiento debidamente referenciados.

Por otro lado, a partir de la topografía disponible (ASTER), se elaboró un modelo digital de elevaciones con resolución de 30 metros de píxel. Además, con la información cartográfica disponible, se pudo obtener un valor para cada uno de los parámetros mencionados en la tabla 1, en formato ráster, lo cual constituye la población de análisis. En total se tienen 17 mapas diferentes que representan numéricamente cada uno de los factores que, a juicio de los autores, están involucrados en el problema de inestabilidad de laderas en la ciudad. Como ejemplo se presenta la figura 1, con el mapa de pendientes obtenido.

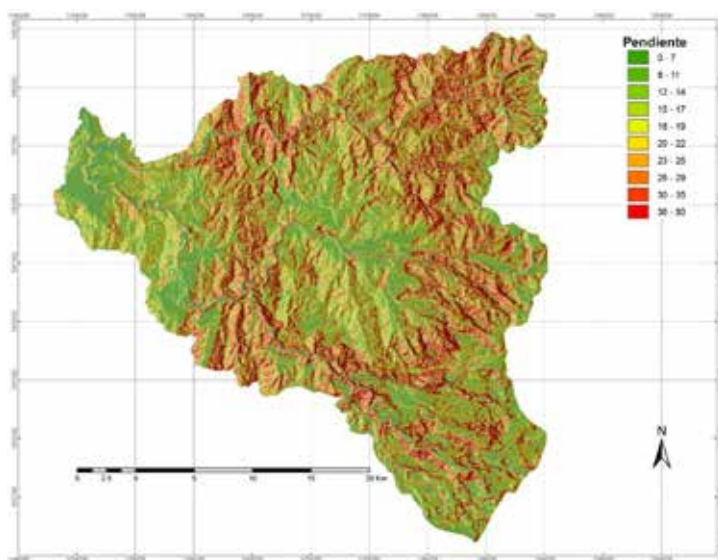


Figura 1. Mapa de pendientes en formato ráster obtenido para el área de estudio

Fuente: Elaboración de los autores.

Con el fin de obtener una muestra para tratamiento analítico, y de evitar problemas de dependencia estadística, se seleccionó un número igual de puntos estables del terreno, para un total de puntos de muestra de $234 \times 2 = 468$ puntos en el terreno, entre estables e inestables. A los puntos inestables se les asignó un dato de máxima susceptibilidad a la inestabilidad de laderas (1), y, a los estables, el valor menor (0).

Análisis de Componentes Principales (ACP)

Con el propósito de describir mejor la estructura de los factores que conducen a la generación de deslizamientos, se ejecutó un análisis de componentes principales sobre los datos que pretende contestar básicamente dos preguntas: ¿Cuántos componentes o factores son necesarios para representar las variables? y ¿qué representan estos componentes?

En total, se obtienen cuatro componentes principales, que explican en conjunto el 61,2% de la varianza total (Tabla 2) con base en el criterio conocido como regla de Kaiser, según el cual, se eligen los componentes con valores propios mayores a la unidad.

Tabla 2. Varianza explicada por los componentes principales

Componente	Eigenvalues iniciales			Extracción		
	Total	%Varianza	Acumulado	Total	%Varianza	Acumulado
1	3.00	30.04	30.04	3.00	30.04	30.04
2	1.79	17.92	47.97	1.79	17.92	47.97
3	1.56	15.61	63.58	1.56	15.61	63.58
4	1.07	10.68	74.25	1.07	10.68	74.25
5	0.83	8.27	82.52			
6	0.53	5.28	87.81			
7	0.43	4.32	92.13			
8	0.37	3.74	95.86			
9	0.24	2.37	98.24			
10	0.18	1.76	100.00			

Las comunalidades (Tabla 3) indican el monto de varianza que es contemplado por los componentes para cada variable.

Tabla 3. Comunalidades para las variables

	Extracción
Dvia	0.85
Dem	0.65
Dfal	0.66
Dpob	0.77
Drio	0.27
Geom	0.82
Inso	0.90
Slop	0.89
Mpar	0.78
Cobe	0.82

El test kmo (Tabla 4) es una prueba estadística que muestra la proporción de varianza que puede obedecer a los factores analizados. Mientras más se acerca el valor a 1, el análisis de componentes principales resulta más útil; valores menores a 0.5 desaconsejarían la aplicación del método. El test de esfericidad de Bartlett contrasta la hipótesis de que la matriz de correlación sea una

matriz identidad, lo cual indicaría que las variables no están relacionadas y el análisis sería inadecuado. Pequeños valores de niveles de significancia (<0.05) indican que el análisis factorial puede ser útil.

Tabla 4. Comunalidades para las variables

KMO and Bartlett's Test				
Kaiser - Meyer - Olkin - Measure of sampling Adequacy				3
0.535	0.261			0.084
	Componente			
	1	2	3	4
Dvia	0.535	0.261	0.084	-0.714
Dem	0.750	0.227	0.166	0.111
Dfal	0.778	0.100	-0.156	0.144
Dpob	0.679	-0.020	-0.512	0.216
Drio	0.496	-0.073	0.049	-0.134
Geom	-0.474	0.117	0.755	0.089
Inso	0.276	-0.878	0.226	-0.077
Slop	-0.143	0.929	-0.075	0.035
Mpar	0.541	0.166	0.640	-0.229
Cobe	0.477	0.059	0.448	0.626

La matriz de componentes principales (Tabla 5) ofrece una idea de la importancia de los diferentes factores dentro de cada componente principal obtenido. Para facilidad en su interpretación, estos valores se han graficado en la Figura 2.

Tabla 5. Matriz de componentes principales

	Componente			
	1	2	3	4
Dvia	0.535	0.261	0.084	-0.714
Dem	0.750	0.227	0.166	0.111
Dfal	0.778	0.100	-0.156	0.144
Dpob	0.679	-0.020	-0.512	0.216
Drio	0.496	-0.073	0.049	-0.134
Geom	-0.474	0.117	0.755	0.089

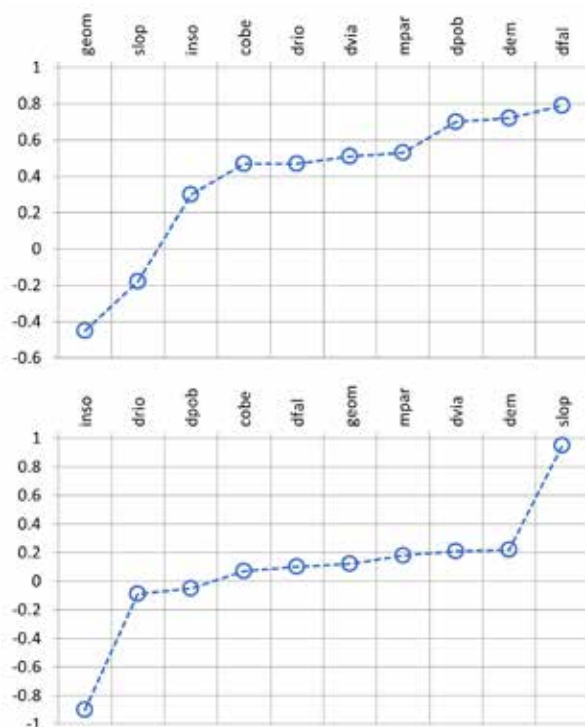
Inso	0.276	-0.878	0.226	-0.077
Slop	-0.143	0.929	-0.075	0.035
Mpar	0.541	0.166	0.640	-0.229
Cobe	0.477	0.059	0.448	0.626

En el componente 1 (30% de varianza), tienen influencia directa las variables dfal, dem, dpob, drio. Se trata de un componente relacionado con las variables de distancias a elementos y elevación.

En el componente 2 (17,9% de varianza), influyen las variables slop e inso, variables relacionadas con la pendiente y el grado de insolación que llega al terreno; es decir, variables de “forma” de la ladera.

En el componente 3 (15,6% de varianza), las variables más relevantes son geom y mpar, variables relacionadas con características de Geología/suelos.

En el componente 4 (10,7% de varianza), la variable más importante es dvia, seguida por cobertura, cobe



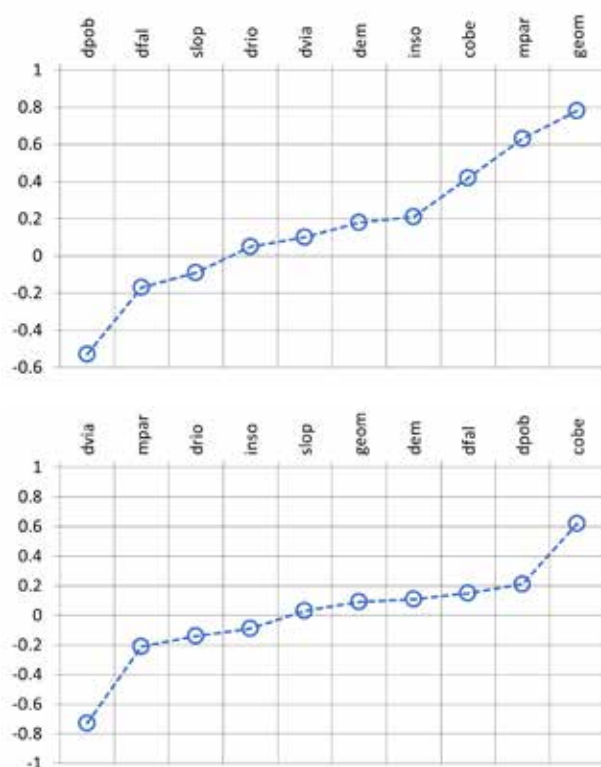


Figura 2. Gráfica componentes principales

Fuente: Elaboración de los autores.

Resulta claro que el problema de deslizamientos no es fácil de simplificar en unos cuantos factores causales. Es más bien una combinación de causas de diferentes orígenes, como puede verse en los componentes analizados: claramente, la distancia a fallas, ríos, poblaciones y la elevación configura un primer componente con mayor influencia. Variables que en algunos contextos pueden ser muy relevantes, como la pendiente, ocupan el segundo lugar en importancia, junto con la insolación del terreno. Las características geológicas, que en análisis a escalas más detalladas o en otras áreas pueden ser muy relevantes, conforman el tercer componente en importancia. Y un cuarto componente, con menor influencia, está relacionado con la distancia a vías y los usos del suelo (coberturas).

Conclusiones

Al analizar los resultados por componente, y con el fin de darles una interpretación a cada uno, se puede establecer que el primero tiene relación con características de tipo geomorfológico —con mayor influencia de la distancia a fallas y lineamientos—, otra manera de ver la densidad de fracturamiento en el terreno, parámetro cuya influencia en el fenómeno siempre ha sido clara.

El segundo componente tiene, en las variables de insolación y pendiente, la mayor influencia, por ser los dos parámetros del relieve, también importantes desde el punto de vista del proceso físico involucrado.

El tercer componente presenta influencia, por un lado, de la densidad poblacional, en el sentido inverso, y por otro, de la geomorfología, en el sentido directo. En este caso, se puede interpretar que este componente refleja la intervención del terreno de manera antrópica; la densidad está directamente relacionada con las formas del terreno.

El cuarto componente tiene relación con la distancia a vías y la cobertura superficial, parámetros que también reflejan la incidencia de las intervenciones antrópicas en el territorio.

En lo que respecta a la incidencia de tipo individual de cada variable, se destaca la importancia que juegan los factores de contexto, como la cercanía a poblaciones y vías. Estas variables ejercen influencia, como se puede observar, en los componentes CP3 y CP4, con porcentajes en la explicación de la varianza total de 15% y 10%. Estas cifras son importantes, aun cuando no hayan sido consideradas ampliamente en los estudios tradicionales de zonificación de susceptibilidad y amenaza frente a deslizamientos. Además, al entender el contexto poblado de la zona de estudio, se convierten en un input necesario.

En general, resulta claro que los análisis de susceptibilidad, amenaza y riesgo deben realizarse de manera integral. En este punto, cobra fuerza la idea de enfocar adecuadamente la situación analizada: se trata de valorar las consecuencias que las intervenciones humanas tienen en el territorio y, por tanto, los enfoques parciales y disciplinares son necesariamente incompletos.

Referencias

- Ayalew, L. y Yamagishi, H. (2005). The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 65(1-2), 15-31. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2004.06.010>
- Gupta, R., Kanungo, D. P., Arora, M. y Sarkar, S. (2008). Approaches for comparative evaluation of raster GIS-based landslide susceptibility zonation maps. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 10(3), 330-341. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2008.01.003>
- Gupta, R. P. y Joshi, B. C. (1990, febrero). Landslide hazard zoning using the GIS approach – A case-study from the Ramganga catchment, Himalayas. *Engineering Geology*, 28 (1-2), 119-131.
- Lavell, A. (2010). *Gestión ambiental y Gestión del Riesgo de Desastre en el contexto del cambio climático: Una aproximación al desarrollo de un concepto y definición integral para dirigir la intervención a través de un plan nacional de desarrollo* [Informe técnico]. Departamento Nacional de Planeación, DNP. <http://hdl.handle.net/20.500.11762/19838>
- Lavell Thomas, Allan. (1996). Degradación ambiental, riesgo y desastre urbano. Problemas y conceptos: hacia la definición de una agenda de investigación. En: María A. Fernández (Comp.), *Ciudades en Riesgo*. (pp. 21-59). La Red, Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.
- Londoño Linares, J. P., (2017). Landslides susceptibility assessment using discriminant analysis. Application on a regional scale. *DYNA*, 84(201), 278-289.
- Saha, A. K., Gupta, R. P. y Arora, M. K. (2002, enero). GIS-based landslide hazard zonation in the Bhagirathi (Ganga) Valley, Himalayas. *International Journal of Remote Sensing*, 23(2), 357-369.
- Saha, A. K., Arora, M. K., Gupta, R. P., Viridi, M. L. y Csaplovics, E. (2005a, nov). GIS-based route planning in landslide-prone areas. *International Journal of Geographical Information Science*, 19(10), 1149-1175.
- Saha, A. K., Arora, M. K., Gupta, R. P., Viridi, M. L. y Csaplovics, E. (2005b, noviembre). GIS-based route planning in landslide-prone areas. *International Journal of Geographical Information Science*, 19(10), 1149-1175.
- Suárez, J. (2009). *Deslizamientos: Análisis Geotécnico* (vol. I). Publicaciones Universidad Industrial de Santander, Colombia.
- Van Westen, C. J. (2000). The modelling of landslide hazards using GIS. *Surveys in Geophysics*, 21(2-3) 241-255.

Capítulo 3. Gobernanza institucional para la planeación y ejecución de proyectos de desarrollo sostenible enmarcados en la configuración de modelos de adaptación al cambio climático en regiones

Nancy Paola Montañez Aldana

Víctor Manuel Peñaranda Vélez

Édgar Ricardo Monroy Vargas

El término *gobernanza* tiene sus orígenes en el siglo xv, en Francia, y se usaba para referirse al arte de gobernar, enfocado de manera exclusiva en los asuntos públicos. Más tarde, se incluye, como elemento integrador del concepto, la noción de dirección o gerencia, permitiendo así su uso también en el ámbito privado (Montoya-Domínguez y Rojas-Robles, 2016). Sin embargo, es durante las tres últimas décadas del siglo xx que el término gobernanza retoma un papel protagónico y se incrementan los estudios sobre él, pero ya visto no sólo como una dirección de gobierno, sino como interacción con las comunidades e instituciones públicas; se establece entonces una relación directa entre el Gobierno, desde sus instituciones, y la sociedad. Esto es acogido por las Naciones Unidas (ONU) que, por medio del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (1997), define la gobernanza como “el conjunto de mecanismos, procesos, relaciones e instituciones mediante las cuales los ciudadanos y grupos articulan sus intereses, ejercen sus derechos y obligaciones, concilian sus diferencias” (p. 9).

Los estudios sobre gobernanza en el siglo XXI se enfocan en relaciones como las de instituciones-ciudadanos, Gobierno-participación ciudadana, instituciones-sociedad. Luis F. Aguilar (2007) considera que la gobernanza involucra procesos de descentralización y de interacción con la sociedad, entendidos como un sistema de gobernanza participativa. El autor señala que:

El supuesto básico de gobernanza participativa para las condiciones sociales actuales (nacionales e internacionales), el gobierno es un agente de dirección necesario pero insuficiente, dotado de todas las capacidades requeridas y sus acciones aprovechan a cabalidad las muchas capacidades que le han sido otorgadas. (p. 17)

En América Latina, los estudios sobre gobernanza analizan las condiciones políticas y sociales, y las nuevas necesidades de la ciudadanía, tales como los derechos emergentes, las preocupaciones por las amenazas de degradación de la aldea global y su relación con la aparición de instituciones formales e informales, los mecanismos de respuesta por parte del Estado y la influencia del mercado en estos procesos. La gobernanza implica una relación entre actores públicos y privados, la consolidación de sus valores y la búsqueda y logro de objetivos comunes (Kooiman, 2003; Castro *et al.*, 2015; Díaz Müller, 2009).

La relación cada día más directa entre el Gobierno y la ciudadanía, lo público y lo privado, el Estado y la sociedad, y la interacción e influencia de los organismos internacionales y el surgimiento de agendas comunes —como el caso de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)— ha permitido el intercambio de ideas y la lucha constante y unificada frente a los principales desafíos y preocupaciones mundiales, como el cambio climático, la preservación y conservación del medio ambiente y el fortalecimiento y la construcción de paz, justicia e instituciones sólidas; todo abarcado en los objetivos 13 y 16 de la Agenda 2030, liderada por las Naciones Unidas.

En torno a estas preocupaciones surgen estudios que intentan combinar elementos del uno y del otro. Es el caso de la aparición y desarrollo de conceptos como gobernanza ambiental y *gobernanza climática*, el primero de estos entendido como

un conjunto de procesos —globales, internacionales, nacionales y sub-nacionales— que ponen en interacción a numerosos actores —en los niveles mencionados— para la construcción de instituciones formales e informales que crean los principios organizadores del acceso, uso y distribución de recursos naturales que hacen posible la reproducción social y biológica de las sociedades humanas contemporáneas. Se trata, por lo tanto, de un conjunto de desarrollos políticos pero que en los Estados rentistas adquieren características especiales. (Andrade, 2015, p. 161)

El estudio de la gobernanza ambiental comprende varios elementos: el ámbito público, como coordinador de la gobernabilidad del Estado, y la participación, como escenario y/o espacio de interacción de la sociedad como actor político principal que manifiesta sus necesidades mediante movimientos sociales o grupos de ciudadanos. La participación de los actores es el elemento rector en un escenario político en el que convergen conflictos, multiplicidad de intereses y objetivos, luchas por la protección de derechos medioambientales, priorización de soluciones, reducción o desaparición de condiciones de desigualdad y garantía de condiciones estables en contextos institucionales, políticos y ambientales. Para ello, resulta necesaria la formulación de prácticas para el acceso y uso de recursos naturales. (Castro et al., 2015). En el mismo sentido, Molina, citando a Dufour (2009), considera que la gobernanza ambiental:

llega para hacer parte de un modelo de gestión pública por excelencia, pues deja reducida la participación del gobierno para que la sociedad civil desempeñe un papel preponderante en la creación y supervisión de las diferentes políticas ambientales, haciéndola partícipe activa y dejando al gobierno el carácter de regulador. (2014, p. 32)

En lo que respecta a la gobernanza climática, ésta se concibe como:

resultado de la interacción entre los diversos actores y sectores que van desarrollando una agenda particular para encontrar soluciones en un esquema democrático de inclusión, cooperación y consenso en un asunto complejo como lo es el cambio climático. Los ámbitos social, político y ambiental se mezclan cuando queremos evaluar los procesos de mitigación y

adaptación al cambio climático en el estado. (Córdova Bojórquez y Romo Aguilar, 2015, p. 143)

La agenda particular propuesta en esta definición se remonta a la última década del siglo XX, época en la que las Naciones Unidas hacen un llamado a los Estados a comprometerse en combatir el cambio climático. Esto da lugar a la firma del Protocolo de Kioto y a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, en la década de los 1990. Posteriormente, en Dinamarca se firma el Acuerdo de Copenhague y el Acuerdo Voluntario, lineamientos de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), entre otras normas que fueron adoptadas por la mayoría de países en el mundo, unidos en torno a la misma preocupación de salvaguardar los recursos naturales del planeta y con ello la supervivencia humana. No obstante, el papel de los Estados va más allá del trámite de adopción de lineamientos al interior de sus países y de la reglamentación particular como compromiso de sostenibilidad ambiental. Es decir, en su ejercicio propio de gobernabilidad resulta necesario el fortalecimiento de la institucionalidad, de la gobernanza —en este caso, climática—, a partir de la implementación de políticas públicas sobre la protección del medio ambiente, la concientización ciudadana de la importancia del cuidado del planeta y el compromiso, por parte de la empresa privada, de reducir las actividades nocivas, la utilización excesiva de materias primas, la emisión de gases efecto invernadero, entre otras prácticas. En general, se requiere la participación de actores públicos y privados en torno a la adaptación y mitigación del cambio climático.

En ese contexto, la gobernanza aparece como un posible instrumento coordinador de las estrategias políticas y sociales para combatir el cambio climático. Lo local, como el nivel básico del Estado, se convierte en el más propicio para la implementación de las iniciativas desde la gobernanza, debido a la cercanía con el ciudadano, eje primario y principal ejecutor y responsable de la sostenibilidad del planeta y nivel propicio para que se dé la presencia de relaciones como Gobierno-ciudadano, instituciones-participación ciudadana, Estado-sociedad civil. Lograr la legitimación y los compromisos de estas relaciones con respecto al cambio climático es uno de los retos más importantes

de la gobernanza (Moraga, 2016).

La coordinación de todos los actores constituye la base y, al mismo tiempo, el reto más grande, por cuanto éstos van en direcciones diferentes, en algunos casos opuestos, lo cual genera consecuencias cada vez más desfavorables para la sociedad, especialmente en los países subdesarrollados. Es importante denotar que el aumento potencial de eventos de precipitación sobre el mundo dará lugar a fuertes alteraciones en el manejo y la gestión del recurso hídrico de las poblaciones, ante lo cual su primer y mayor foco de análisis será la respuesta que dará la sociedad al enfrentar las inundaciones a escala regional y las deficiencias en la cantidad y la calidad del recurso hídrico. Por tal razón, el papel de los gobiernos deberá estar orientado a la creación de instrumentos normativos y de programas públicos para la gestión del riesgo, así como también a la generación de estrategias para reducir los impactos de los fenómenos conexos a los eventos extremos del clima. La implementación de estos programas e instrumentos ofrecerán a la sociedad medidas para mejorar la vulnerabilidad de los ecosistemas, reducir el desarrollo de procesos que alteran la temperatura superficial del planeta y mitigar las intermitencias en la operación de sistemas hídricos, lo cual sólo es posible lograr a partir de cambios en los actores públicos y privados, impulsados por el Gobierno y la ciudadanía. Por lo tanto, “uno de los mayores desafíos que impone el cambio climático tiene que ver con modificar la percepción de la ciudadanía y de la administración respecto a la urgencia en la adopción de políticas y acciones para enfrentar el cambio climático” (Moraga, 2016, p. 9).

La toma de decisiones se viene dando de manera paulatina en los gobiernos, ejemplo de ello es el caso colombiano, que adopta la Política Nacional de Cambio Climático (PNCC) en el año 2017, fijándose como objetivo “incorporar la gestión del cambio climático en las decisiones públicas y privadas para avanzar en una senda de desarrollo resiliente al clima y baja en carbono que reduzca los riesgos del cambio climático” (Ministerio de Ambiente, 2017). Esta política busca a su vez responder a los lineamientos del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) con respecto a la adaptación y mitigación del cambio climático, elementos que combina con la sostenibilidad y el

desarrollo económico y social.

Para ello, la PNCC establece como objetivos específicos: primero, la gestión basada en decisiones en los niveles nacional, regional y local, valorando las necesidades de lo rural y lo urbano; segundo, la conservación de los ecosistemas y su relación con la disminución de las vulnerabilidades sociales y económicas de los colombianos; tercero, la inversión en ciencia, tecnología e innovación en busca de respuestas a las nuevas condiciones climáticas con criterios resilientes; y cuarto, cambios institucionales que conduzcan a la implementación de planes y políticas con un enfoque costo-efectividad. (Ministerio de Ambiente, 2017, p. 74). La PNCC refleja aspectos propios de la gobernanza, en especial, su búsqueda por la articulación de actores públicos y privados bajo la premisa de la participación, con proyectos a largo plazo basados en el esquema planificación-implementación-evaluación con enfoque sectorial. El cumplimiento de la política está dado en función del mejoramiento de la calidad de vida de los ciudadanos —por ejemplo, acceso a servicios públicos básicos como acueducto y alcantarillado—, quienes, ante situaciones complejas de tipo económico y social, se resisten a la participación activa y al desarrollo de políticas de otra índole, a pesar de las posibles implicaciones nefastas para nuestra casa común.

El sistema hidrológico frente al cambio climático global

El sistema hidrológico es el elemento conceptual que emplean hidrólogos, climatólogos, meteorólogos, entre otros, para describir el movimiento del agua (en sus tres fases) dentro del planeta. En la fase de vapor de agua, el agua es transportada a la atmósfera mediante diversos mecanismos físicos que guardan una estrecha relación con el fenómeno de la precipitación (p. ej., la convección atmosférica). El vapor de agua es el gas de invernadero más abundante en la atmósfera terrestre y, debido a su proporción sobre ella, tiene un valor considerable en el desarrollo del clima terrestre. Un ejemplo de ello se da durante el viaje del vapor de agua en la atmósfera, condición que permite el transporte y la distribución de la energía asociada a los fenómenos físicos de evaporación y condensación (Dolman, 2008). El modo en que se distribuye esta energía sobre

el planeta es tema de investigación actual y su comprensión es de suma importancia para los seres humanos, puesto que expone algunos pormenores de los efectos climáticos que hoy por hoy han ocurrido por la acción antropogénica.

A partir del uso, la interpretación y el análisis de resultados de escenarios climáticos futuros derivados desde modelos climáticos, O’Gorman y Schneider (2009) determinan que el cambio climático dará lugar a un incremento del vapor de agua atmosférico y a diversos cambios en el sistema hidrológico global, los cuales estarán representados por una fuerte intensificación de los extremos de precipitación. El vapor de agua hace parte de un mecanismo físico de retroalimentación positiva en el que el aumento de la temperatura en la atmósfera y la superficie terrestre, permiten que aumente la capacidad para almacenar vapor de agua. Este mecanismo de retroalimentación no es fácil de representar y muchos modelos climáticos presentan inconsistencias, especialmente, en la descripción de la climatología tropical. Aún se desconoce si existe una equivalencia entre la tasa a la cual crece el vapor de agua y la tasa a la que crecen los extremos de precipitación. Para O’Gorman y Schneider (2009), los extremos de precipitación obtenidos en simulaciones incrementan en un escenario de cambio climático, pero la tasa de incremento varía con la latitud y no siempre coincide con la tasa de incremento del vapor de agua.

Pese a la gran incertidumbre en el entendimiento de los efectos del incremento del vapor de agua en el planeta y el desarrollo de extremos de precipitación, la evidencia empírica u observacional ofrece algunos indicios sobre un potencial crecimiento de estos eventos meteorológicos. Dolce (2018) en su reporte intitulado *Los 10 huracanes más extremos del Atlántico dentro de la era satelital*, señala que los huracanes del año 2003 presentaron un aumento energético¹ importante con respecto al valor promedio histórico registrado desde los años 1960. Por otra parte, Nuccitelli (2017) reporta, para el mes de julio de 2017, que la temperatura promedio de la superficie terrestre aumentó en 0,94 °C con respecto al valor medio histórico obtenido entre los años 1950 y 1980, lo cual

1 “En meteorología se suele emplear el índice de energía ciclónica acumulada (del inglés accumulated cyclone energy, ACE) para cuantificar la potencia de los huracanes. A manera de ejemplo, los huracanes del año 2005, los cuales obtuvieron la categoría 5, tienen un índice ACE promedio de 245, valor que está muy por encima de la media anual estimada en 87, de acuerdo con el reporte estadístico de la Universidad Estatal de Colorado (2017).”

deja al año 2017 como el segundo año más cálido². Los anteriores reportes climáticos indican una relación entreclara y biunívoca entre los eventos extremos de precipitación y la temperatura superficial de la atmósfera. Para dilucidar la coherencia de esta relación, en la Figura 1 se presenta una construcción gráfica de los valores de las anomalías mensuales de temperatura que la NASA estimó entre los años de 1880 y 2017. Se puede constatar, en la forma general de la gráfica, que las anomalías de temperatura denotan un auténtico crecimiento en los últimos cincuenta años y los récords históricos de estas anomalías se observaron en los años 2015, 2016 y 2017; años en los cuales también se registraron récords en la energía de los huracanes y muchos otros eventos extremos de precipitación registrados en el mundo. Al asumir la coherencia de esta relación, es preciso indicar que, ante un sostenido crecimiento en las anomalías de temperatura superficial atmosférica como el que se ha evidenciado en los últimos años, es de esperar que la respuesta del sistema climático global sea un aumento en la energía de los eventos meteorológicos, tal y como se ha constatado en las temporadas de huracanes de la última década.

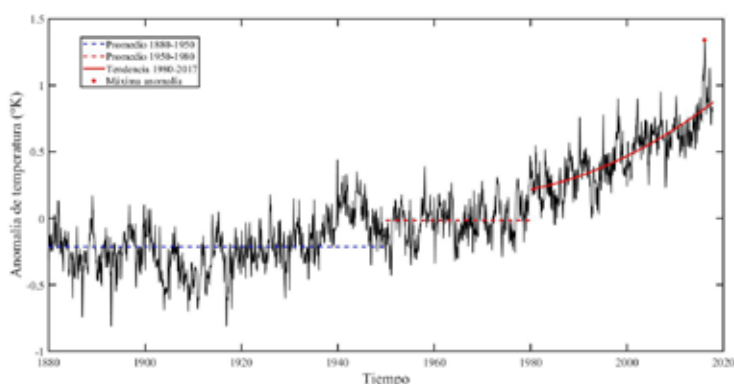


Figura 1. Temperatura superficial promedio global estimada desde enero de 1880 hasta septiembre de 2017. El valor promedio de la anomalía de temperatura para el periodo de observación es indicado en color azul y el valor promedio estimado para los años 1950 al 1980 es indicado en color rojo. El máximo histórico de la anomalía de temperatura se registró en el mes de enero del año 2016, tal como se indica en la gráfica con un punto de color rojo.

Fuente: Los datos de esta gráfica fueron descargados del Instituto de Estudios del Espacio NASA Goddard (GISTEMP Team, 2017).

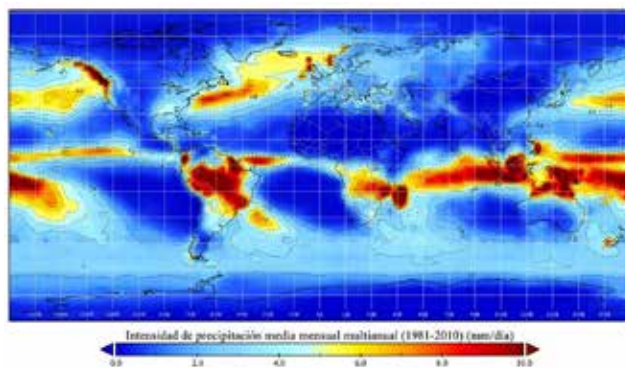
² "En el mes de febrero del año 2016 se registró una anomalía de temperatura de 1.34°C, la cual es considerada como la máxima desviación registrada entre enero de 1880 y Julio de 2017."

La manera en que se desarrollan los extremos de precipitación en el espacio-tiempo y cómo se conectan con los cambios de temperatura superficial son temas que aún hoy se hallan bajo estudio. Sin embargo, las observaciones disponibles de datos de precipitación han dado a conocer que existen ciertas condiciones temporales y latitudinales preferenciales para los eventos extremos de precipitación. Para ilustrar esta idea, la Figura 2 incluye un mapa que muestra la distribución espacial de la precipitación sobre el planeta en la que se puede apreciar, a lo largo del año, una franja preferencial de agregación de la lluvia sobre la región tropical, conocida como la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). En esta zona se transporta gran parte de la humedad atmosférica que resulta de la evaporación de los mares tropicales (Mesa, 2007). En algunas regiones del planeta, así como en Colombia, la variabilidad de la precipitación se debe a la dinámica de la ZCIT, en conjunto con otros fenómenos locales que también modulan la climatología regional. La ZCIT juega un papel importante en la explicación de cómo algunos eventos extremos de precipitación se desarrollan sobre el planeta, por cuanto en ella se dan procesos constantes de ascenso de aire cálido, condensación de humedad, alta nubosidad y múltiples eventos de lluvia tanto en el océano como en la superficie terrestre.

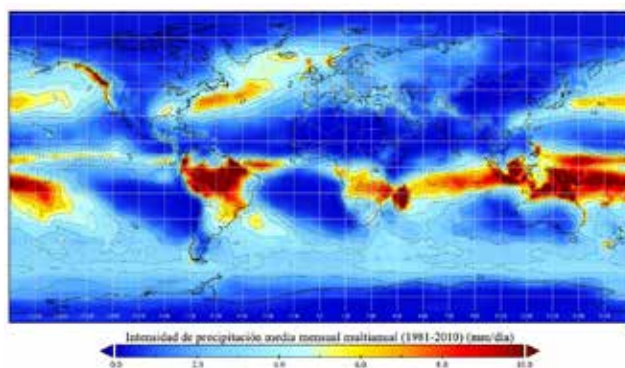
Es importante destacar que dentro de la ZCIT existen regiones donde se concentra la mayor cantidad de lluvia. Por ejemplo, durante el verano boreal del año 2016, la precipitación se intensificó en varias locaciones de esta zona, fundamentalmente al oeste y centro del océano Pacífico, en la costa oeste de Colombia, en la costa oeste de África y en la región que comprende al océano Índico, el golfo de Bengala, Indonesia y Filipinas. Todas estas regiones, localizadas en el corredor de la ZCIT, presentaron anomalías positivas de temperatura superficial, tal y como se puede apreciar en la Figura 3, la cual muestra la distribución espacial de las anomalías de temperatura en el planeta Tierra para el verano boreal del año 2016, en conjunto con los patrones espaciales de precipitación. Sin embargo, la distribución espacial de las anomalías de temperatura superficial no mantiene una correspondencia directa con el patrón espacial de eventos extremos de precipitación, ya que existen regiones donde son mayores las anomalías de temperatura, pero no la intensificación de la precipitación. En ese sentido, se puede observar un caso de no-linealidad en

la respuesta dinámica del clima del planeta, a la cual debemos prestarle nuestra total atención, si no se crean medidas para regular los procesos que alteran el clima del planeta.

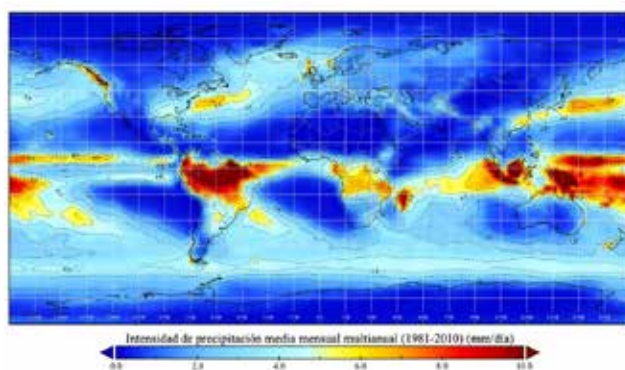
Enero



Febrero



Marzo



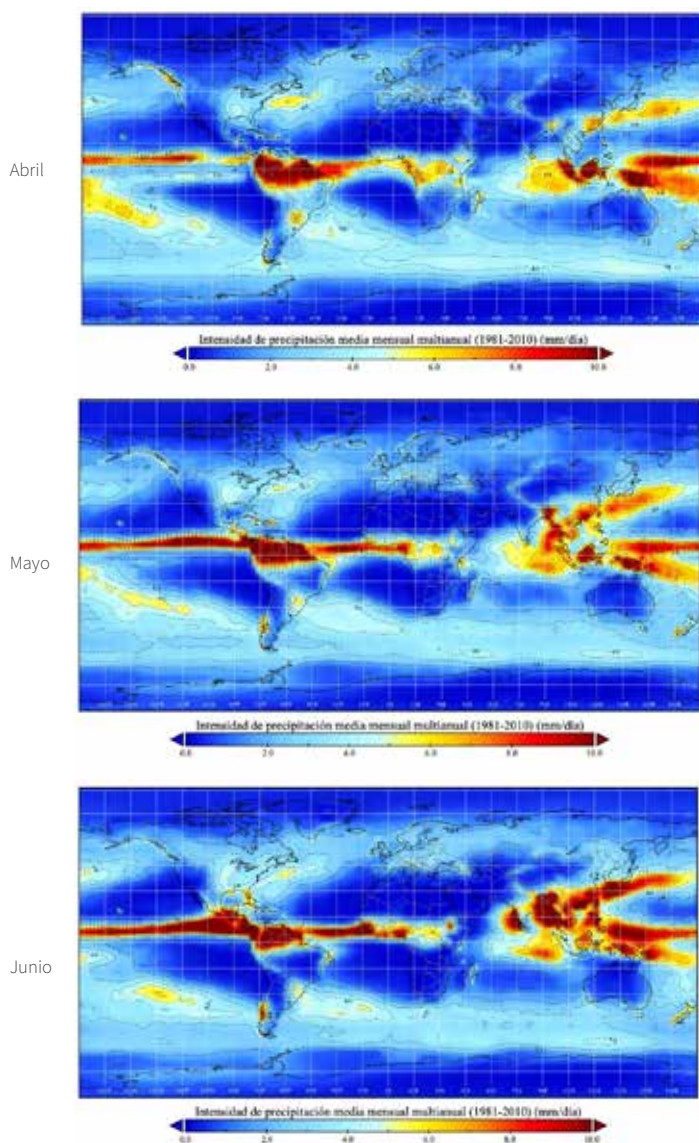
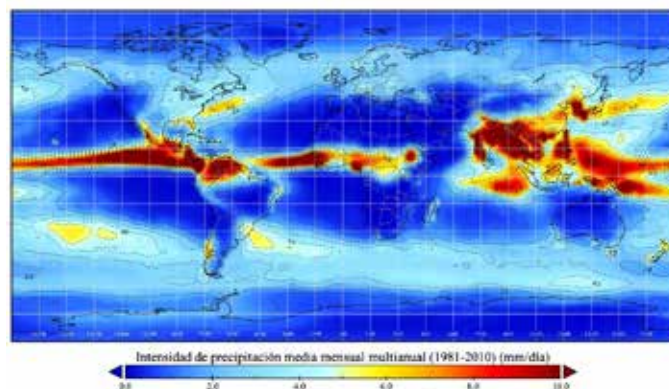


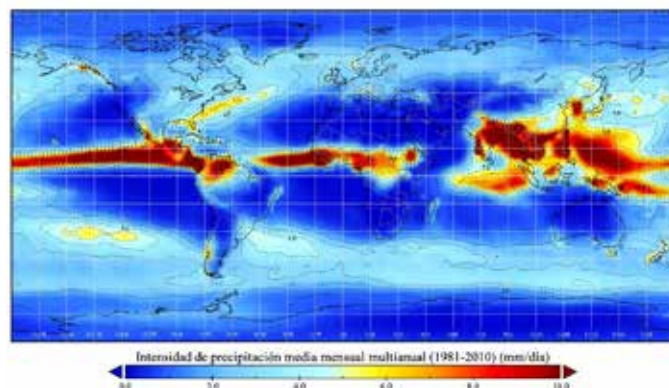
Figura 2A. Mapa de intensidad de precipitación media mensual multianual para el periodo definido por los meses de enero a junio. Nota: la resolución de los datos espaciales es de $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$ y la resolución temporal es mensual. Las zonas de color rojo intenso representan regiones con altas cantidades de precipitación y las zonas de color azul intenso representan regiones secas o de bajas precipitaciones.

Fuente: Los datos de esta gráfica se obtuvieron del Global Precipitation Climatology Project (Adler *et al.*, 2003).

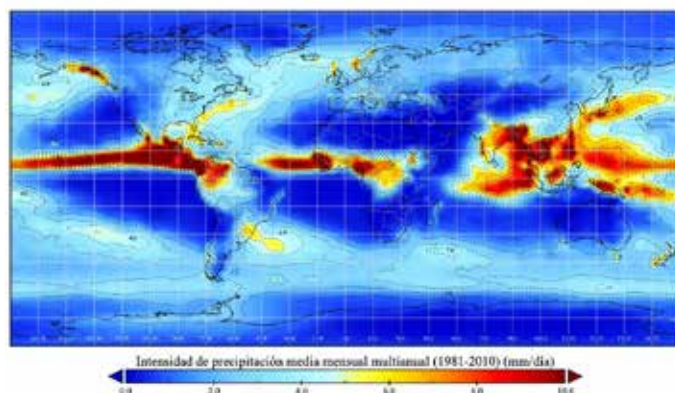
JULIO



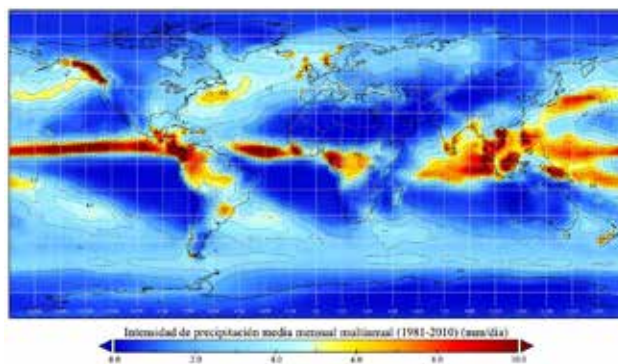
AGOSTO



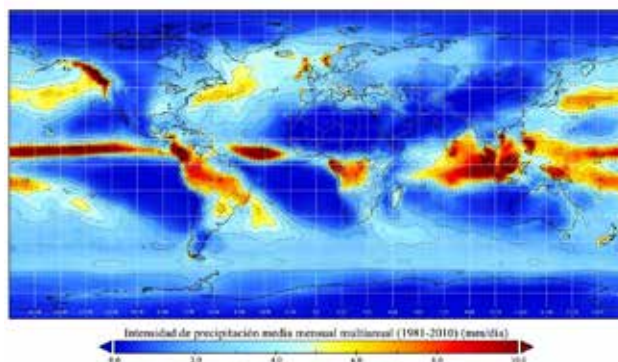
SEPTIEMBRE



Octubre



Noviembre



Diciembre

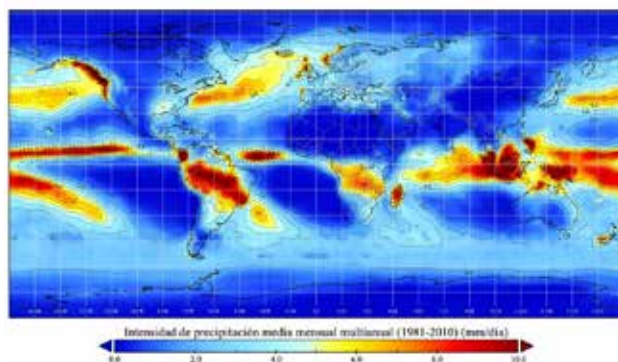
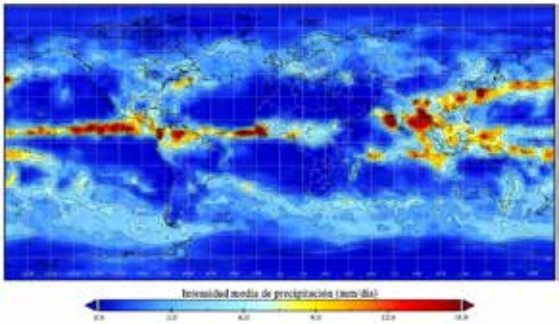


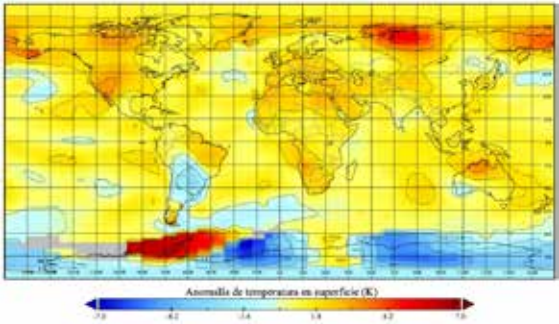
Figura 2B. Mapa de intensidad de precipitación media mensual multianual para el periodo definido por los meses de enero a junio. Nota: La resolución de los datos espaciales es de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ y la resolución temporal es mensual. Las zonas de color rojo intenso representan regiones con altas cantidades de precipitación y las zonas de color azul intenso representan regiones secas o de bajas precipitaciones.

Fuente: Los datos de esta gráfica se obtuvieron del Global Precipitation Climatology Project (Adler *et al.*, 2003).

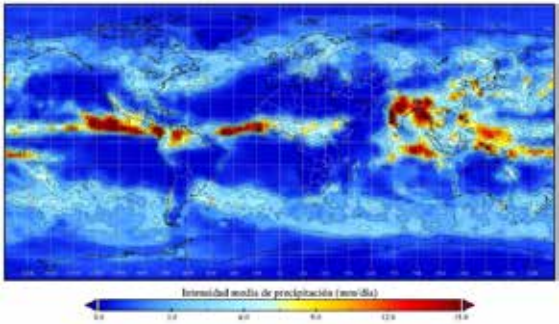
Junio 2016



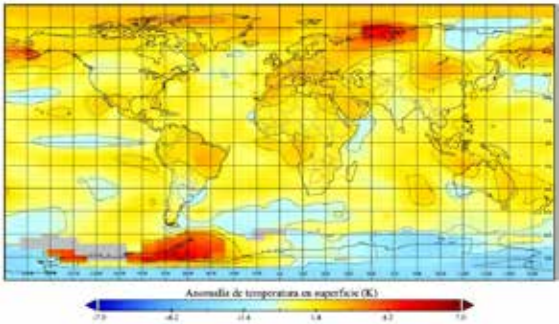
Junio 2016



Julio 2016



Julio 2016



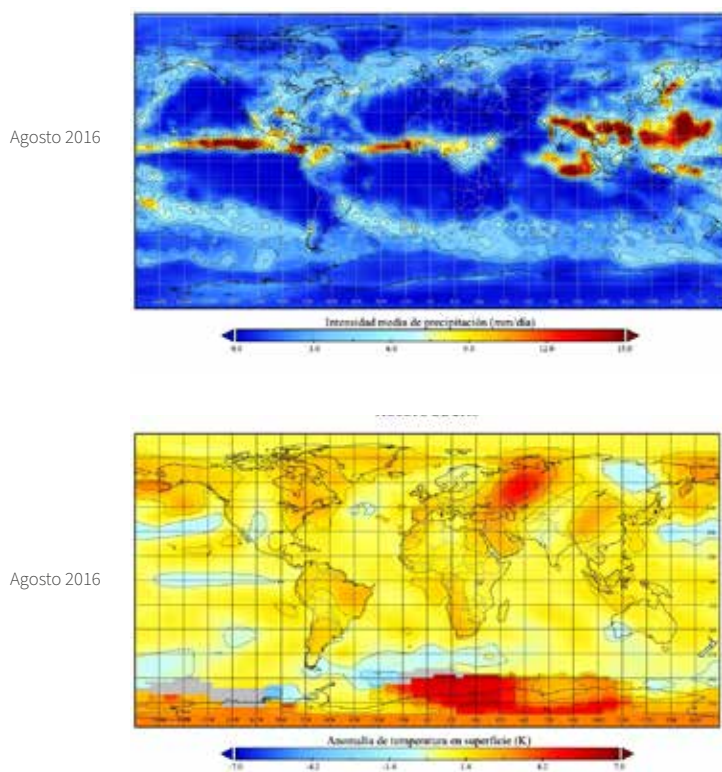


Figura 3. Comparación entre los mapas de anomalías de temperatura superficial (recuadros a la izquierda) y de intensidad media diaria de precipitación (recuadros a la derecha) para los meses de junio, julio y agosto del año 2016. Nota: La resolución espacial de los datos de anomalías de temperatura es de $2,0^{\circ} \times 2,0^{\circ}$ y para la intensidad de precipitación media diaria de $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$. Las zonas de color azul intenso representan anomalías negativas de temperatura (i. e., disminución de la temperatura) y las zonas de color rojo intenso representan anomalías positivas de temperatura (i. e., incrementos en la temperatura).

Fuente: Los datos de anomalías de temperatura fueron descargados del Instituto de Estudios del Espacio NASA Goddard (GISTEMP Team, 2017) y los datos de intensidad media de precipitación se obtuvieron del Global Precipitation Climatology Project (Adler et al., 2003).

Tanto las observaciones como las simulaciones de modelos climáticos globales indican que los extremos de precipitación se intensifican sobre el planeta. Sin embargo, persisten grandes inquietudes sobre por qué y cómo se desarrollan los extremos de precipitación y, aún más, sobre aquellas regiones ubicadas en el trópico. Hasta ahora se reconoce que los eventos extremos de precipitación

están relacionados con cambios dinámicos de gran escala que involucran no sólo el desarrollo de estos eventos, sino también la intensificación de regiones secas (Donat *et al.*, 2016; Fischer y Knutti, 2016). Para la preparación de escenarios climáticos futuros es necesario estudiar la variabilidad espaciotemporal de la precipitación en diferentes regiones del planeta, en busca de una explicación al mecanismo de agregación espacial de la precipitación bajo consideraciones de variabilidad termodinámica regional y planetaria.

Por otro lado, pese a las dificultades que forman parte del entender científico de la dinámica climática global, los seres humanos debemos adoptar medidas de control frente a las amenazas de potenciales eventos extremos de precipitación en nuestras regiones. Así, la promoción y el desarrollo de programas de investigación orientados al entendimiento de las dinámicas de la precipitación deben ser parte esencial de las actividades de gestores y dirigentes de los sistemas de monitoreo ambiental. Donat *et al.* (2016) exponen indirectamente la necesidad de implementar estos programas, dado que sus resultados establecen que gran parte de los eventos extremos de precipitación se desarrollarán en regiones secas del planeta y que el aumento del riesgo por inundaciones es claramente eminente. Así mismo, la disponibilidad de agua se verá reducida por el cambio en los patrones de precipitación, ya que los mecanismos de compensación climática harán que existan regiones con mayor tasa de evaporación para equilibrar el incremento de las lluvias.

Imposibilidad de la predicción de eventos climáticos extremos

En la literatura científica se ha acuñado el término de “Reyes dragones” [*Dragon-kings*] para aquellos eventos físicos, naturales, económicos y sociales que son extremos y no hacen parte de la población de eventos observados; no obstante, ellos aparecen en respuesta a un mecanismo amplificador que no se muestra activo para el resto de la población y pueden, por tanto, considerarse impredecibles (Sornette y Ouillon, 2012; Sornette, 2009). Estos Reyes dragones pueden estar relacionados con el desarrollo y paso de transiciones críticas de un sistema dinámico fundamental, lo cual no es fácil de dilucidar, pero que permiten la predicción de este tipo de eventos extremos después de lograr una adecuada comprensión sobre la dinámica espaciotemporal de eventos menores.

En el estudio de la precipitación se ha considerado que los eventos extremos de precipitación pueden ser categorizados como Reyes dragones (Sornette y Ouillon, 2012) y algunas evidencias estadísticas han permitido corroborar tal hipótesis (p. ej., Süveges y Davison, 2011; Peters *et al.*, 2011). Los sistemas que generan eventos de tipo Reyes Dragones, se caracterizan por tener propiedades estadísticas representadas por leyes de potencias y contar con un mecanismo de criticalidad auto-organizada que lleva a los sistemas a alcanzar dinámicamente una fase que hace crecer los acoplamientos (o la correlación) entre los elementos constitutivos del sistema.

En la precipitación se observan leyes de potencias en la estructura de los momentos estadísticos, de tal manera que los momentos de orden k de observaciones de precipitación P a la escala temporal T , denotados por $M_k(T) = E[P^k(T)]$, muestran una relación potencial con la escala de la forma $M_k(T) = T^{\beta(k)}$, donde $\beta(k)$ representa un exponente de escalamiento. La forma no-lineal de esta ley de potencia, caracteriza a las observaciones de precipitación como un conjunto multifractal³ (Mesa y Peñaranda, 2015). Si en la estructura estadística de la precipitación existen Reyes dragones, los efectos del cambio climático global en el régimen de lluvias sobre el planeta pueden ser inciertos y, aún más, nuestro poco entendimiento del sistema climático nos conduce al desconocimiento de las amenazas de eventos extremos sobre el sistema hidrológico global. Si el incremento en la temperatura superficial del planeta hace parte de un mecanismo de retroalimentación positiva en el incremento de los eventos extremos de precipitación, no existe un sistema dinámico que sea sostenible, pues la capacidad de soporte del sistema debe tener un límite. Sólo la emergencia de Reyes dragones podría constituir un estado de relajación para el sistema climático global, pero esto vendría acompañado de catástrofes para cuyo manejo el ser humano no estaría preparado.

3 "La multifractalidad de la precipitación se ha considerado como una propiedad estadística que describe el grado de irregularidad de las fluctuaciones en las observaciones, y tal propiedad representa geométricamente la existencia de objetos fractales relacionados entre sí, a través de un conjunto de exponentes de escalamiento".

¿Cómo enfrentar las amenazas del cambio climático?

El cambio climático resulta ser una de las amenazas más grandes para el planeta, por cuanto es necesaria la adopción de medidas por parte de los Estados y la sociedad para mitigar sus efectos e intentar la búsqueda de un desarrollo sostenible (García Vargas, 2007). Para ello, el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) ha propuesto llevar a cabo procesos de adaptación y mitigación, los cuales sólo tendrán éxito con el compromiso de los Estados de implementar políticas que contemplen un fortalecimiento institucional enfocado hacia una gobernanza climática; con la intervención de la sociedad civil, mediante la participación y concientización de los ciudadanos en cada una de las acciones enfocadas a la reducción de los impactos del cambio climático en el mundo; y la empresa privada, con la reformulación y adecuación de sus políticas, que incluyan acciones para la reducción de gases de efecto invernadero y el uso restringido y adecuado de materias primas.

La adaptación, como medida de control, busca crear capacidades para enfrentar el cambio climático mediante el fortalecimiento de defensas contra sus impactos en la tierra, así:

La adaptación no es algo que debe ser aplicado en el futuro, las acciones deben ser necesarias ahora para anticiparse a las condiciones futuras pues algo está claro, si el clima cambia más rápidamente de lo proyectado, las posibilidades de adaptación para disminuir la vulnerabilidad de los sistemas humanos y naturales serán menores. (Ajete Hernández, 2015, p.23)

Por su parte, la mitigación contempla aquellas medidas encaminadas a aménorar las acciones generadoras del cambio climático. Para ello, según el IPCC, es fundamental la intervención de los ciudadanos, quienes al actuar como eje transformador del sistema climático pueden promover la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero a partir de acciones sociales, económicas o ambientales. Tanto la adaptación como la mitigación son esenciales para el sistema climático mundial. La primera, con medidas de aplicación inmediata y la segunda, la mitigación, con efectos a corto y mediano plazo, pues ambas

se complementan en búsqueda del mismo fin: la reducción de los impactos del cambio climático (IPCC, 2014). Sin embargo, resulta necesario combinar la implementación de políticas estatales en todos los niveles con el compromiso y la cooperación entre los Estados, la empresa privada y la sociedad civil. El primer paso en la adopción de medidas públicas es la inclusión en la planificación, para así dar lugar a la toma de decisiones sobre políticas de protección climática que promuevan la reducción de riesgos y la prevención de desastres. Así es que, según plantea Costa Posada (2007):

Los tomadores de decisión pública y la empresa privada deben incluir las tendencias de cambio del clima en sus procesos de planeación a mediano y largo plazo para minimizar decisiones riesgosas y para financiar investigación, desarrollo de tecnología y acciones directas de adaptación ante aquellos impactos que son imposibles de evitar. (p. 80)

De esta manera, las instituciones políticas juegan un papel trascendental en la mitigación y adaptación al cambio climático, y su fortalecimiento constituye un reto que va de la mano de la gobernanza ambiental o gobernanza climática en pos de la sostenibilidad ambiental, con el fin de reducir los riesgos de desastres y las consecuencias físicas, sociales y económicas asociadas al fenómeno (IPCC, 2014). Los Estados, desde su poder político y normativo, pueden contribuir a la mitigación. Ya en la COP 21, llevada a cabo en el 2015 en la ciudad de París, se dio a conocer el documento que trazaba los posibles compromisos de los Gobiernos frente a las medidas de mitigación del cambio climático —incluso algunas de adaptación— que se desarrollarían en el mediano plazo. El Acuerdo finalmente no obtuvo aprobación, situación que dejó bajo la autonomía de los Estados la implementación de éstas y otras medidas, entre ellas, las de la reducción de concentración de gases de efecto invernadero, la creación del Fondo Verde para el Clima y el control del aumento de la temperatura media global por debajo de los 2 °C (Sosa-Rodríguez, 2016).

Enfrentar el cambio climático debe ser un compromiso de los Estados en conjunto con cada uno de los ciudadanos del mundo. Cualquier acción de gobernanza climática favorece nuestro subsistir y el de nuestro planeta. Sin embargo, como hemos visto, la realización de las acciones de mitigación y adaptación es

voluntaria para los Gobiernos y depende, entre otros aspectos, de su nivel de desarrollo, capacidad financiera y voluntad política, y de su capacidad de negociación en materia legislativa, en especial, en lo concerniente al establecimiento de sanciones a empresas generadoras de gases de efecto invernadero. En esos términos, hoy se espera la implementación de algunas de las medidas propuestas en la COP 21, como la utilización de energías renovables (p. ej., la energía eólica o solar), con inversión y desarrollo en investigación sobre ellas; la protección de servicios ecosistémicos a partir de la conservación de bosques y selvas; y la inclusión del cambio climático en la planeación nacional y local. Finalmente, como estrategias para la adaptación se incluyeron la construcción de infraestructura para la resiliencia, la prevención de desastres y la preservación de la biodiversidad (Sosa-Rodríguez, 2016, p.101).

Referencias

- Adler, R. F., Huffman, G. J., Chang, A., Ferraro, R., Xie, P., Janowiak, J., Rudolf, B., Schneider, U., Curtis, S., Bolvin, D., Gruber, A., Susskind, J., Arkin, P. y Nelkin, E. (2003). The Version 2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Monthly Precipitation Analysis (1979-Present). *Journal of Hydrometeorology*, 4(6), 1147-1167. [https://doi.org/10.1175/1525-7541\(2003\)004<1147:TVGPCP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1525-7541(2003)004<1147:TVGPCP>2.0.CO;2)
- Aguilar, L. F. (2007). El aporte de la Política Pública y de la Nueva Gestión Pública a la gobernanza. *Revista del CLAD Reforma y Democracia*, (39), 5-32. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=357533693001>
- Ajete Hernández, A. (2015). *Medidas para la adaptación y mitigación del cambio climático en el patrimonio forestal de la Empresa Forestal Integral Baracoa* [tesis doctoral] Editorial Universitaria, Universidad de Pinar del Río.
- Andrade, P. (2015) El gobierno de la naturaleza. La gobernanza ambiental posneoliberal en Bolivia y Ecuador. En: F. Castro, B. Hogenboom y M. Baud (Coords.), *Gobernanza ambiental en América Latina* (pp. 135-170). CLASCO.
- Castro, F. Hogenboom, B. y Baud. M. (2015) *Gobernanza ambiental en América Latina*. CLASCO.
- Colorado State University (2017, 19 de septiembre). North Atlantic Ocean Historical Tropical Cyclone Statistics. <http://tropical.atmos.colostate.edu/Realtime/index.php?arch&loc=northatlantic>

- Córdova Bojórquez, G. y Romo Aguilar, M. (2015). Gobernanza climática: actores sociales en la mitigación y adaptación en el estado de Coahuila, México. *Nóesis: Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 24(47-2), 129-146. <https://doi.org/10.20983/noesis.2015.13.10>
- Costa Posada, C. (2007). La adaptación al cambio climático en Colombia. *Revista de Ingeniería*, (26), 74-80. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=121015050010>
- Dolce, C. (2018, 12 de junio). Top 10 most extreme Atlantic hurricane seasons in the satellite era. *The Weather Channel*. <https://weather.com/storms/hurricane/news/top-10-most-extreme-hurricane-seasons>
- Dolman, A. (2008). The role of the hydrological cycle in the climate system. En M. Bierkens, A. Dolman, y P. Troch (Eds.), *Climate and the hydrological cycle* (pp. 1-21). International Association of Hydrological Sciences.
- Donat, M., Lowry, A., Alexander, L., O’Gorman, P. y N. Maher. (2016). More extreme precipitation in the world’s dry and wet regions. *Nature Climate Change*, 6(5), 508-513, <https://doi.org/10.1038/nclimate2941>
- García Vargas, J. (2007). La necesidad de incorporar el cambio climático en las políticas de desarrollo. *Cuadernos de Difusión*, 12(23), 97-114. <https://hdl.handle.net/20.500.12640/1905>
- GISTEMP Team. (2017). GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP). NASA Goddard Institute for Space Studies. <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>
- Fischer, E. M. y Knutti, R. (2016). Observed heavy precipitation increase confirms theory and early models. *Nature Climate Change*, 6(11), 986-991, <https://doi.org/10.1038/nclimate3110>
- Kooiman, J. (2003) *Governing as Governance*. Sage Publications.
- Mesa, Ó. (2007). *¿Adónde va caer este globo? Acerca del futuro de la Tierra*. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de Minas.
- Mesa, Ó. y V. Peñaranda. (2015). Complejidad de la estructura espacio-temporal de la precipitación. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 39(152), 304-320. <http://dx.doi.org/10.18257/raccefyn.196>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2017). *Política Nacional de Cambio Climático*. <https://redjusticiaambientalcolombia.files.wordpress.com/2018/01/politica-crisis-climatica-colombia-2017.pdf>
- Molina, D. (2014). Gobernanza ambiental en Colombia: la acción estatal y de los movimien-

- tos sociales. *Ambiente y Desarrollo*, 18(34), 27-42. <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/ambienteydesarrollo/article/view/9738>
- Montoya-Domínguez, E. y Rojas-Robles, R. (2016). Elementos sobre la Gobernanza y la Gobernanza Ambiental. *Revista Gestión y Ambiente*. 19(2), 302-317. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/58768>
- Moraga, P. y Araya, G. (2016). *La gobernanza del cambio climático en Chile*. Centro del Ciencia del Clima y la Resiliencia y Ministerio de Ambiente. https://www.cr2.cl/wp-content/uploads/2018/03/Gobernanza_CambioClimatico.pdf
- Nuccitelli, D. (2017, 31 de julio). 2017 is so far the second-hottest year on record thanks to global warming. *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/environment/climate-consensus-97-per-cent/2017/jul/31/2017-is-so-far-the-second-hottest-year-on-record-thanks-to-global-warming#img-3>
- O’Gorman, P. y Schneider, T. (2009). The physical basis for increases in precipitation extremes in simulations of 21st-century climate change. *PNAS*, 106(35), 14773-14777. <https://doi.org/10.1073/pnas.0907610106>
- Panel Intergubernamental de Cambio Climático, IPCC. (2014). *Cambio Climático 2014. Informe de Síntesis. Resumen para responsables de políticas*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf
- Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). (2014). *Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5_wgll_spm_es-1.pdf
- Peters, O., Christensen, K., y Neelin, J. D. (2012). Rainfall and Dragon-Kings. *European Physical Journal. Special Topics*, 205(1), 147-158. <https://link.springer.com/article/10.1140%2Fepjst%2Fe2012-01567-5>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (1997). *Reconceptualising Governance. Discussion paper 2*. United Nations Digital Library. <https://digitallibrary.un.org/record/268781?ln=es>
- Sornette, D. (2009). Dragon-Kings, Black Swans and the Prediction of Crises. *International Journal of Terraspace Science and Engineering*, 2(1), 1-18, <http://arXiv.org/abs/0907.4290>.
- Sornette, D. y Ouillon, G. (2012). Dragon-kings: Mechanisms, statistical methods and empirical evidence. *European Physical Journal. Special Topics*, 205(1), 1-26. <https://doi.org/10.1140/epjst/e2012-01559-5>

- Sosa-Rodríguez, F. S. (2016). Los costos económicos de la mitigación y adaptación de las contribuciones nacionalmente determinadas. En J. C. Rueda Abad, C. Gay García y F. Quintana Solórzano (Coords.), *21 Visiones de la COP21. El acuerdo de París: retos y áreas de oportunidad para su implementación en México* (pp. 95-118). Universidad Nacional Autónoma de México y Programa de Investigación en Cambio Climático
- Süveges, M. y Davison, A. (2011). A case study of a “Dragon-King”: The 1999 Venezuelan catastrophe. *European Physical Journal. Special Topics*, 205(1), 131-146. <https://doi.org/10.1140/epjst/e2012-01566-6>

Capítulo 4. Desarrollo urbano sostenible. Enfoques y resultados en la ciudad de Rosario

Oscar Bragos

Emiliano Güizzo

Centro Universitario Rosario de Investigaciones Urbanas y Regionales

Facultad de Arquitectura, Planeamiento y Diseño

Universidad Nacional de Rosario

La ciudad contemporánea enfrenta varios retos con respecto a su futuro, retos planteados por las demandas de los distintos grupos sociales que habitan en la ciudad; demandas sobre las actividades económico-productivas que en ella y en su entorno se desarrollan; demandas sobre el propio funcionamiento de la ciudad. Las autoridades locales deben responder a ellas y ofrecer respuestas que permitan avanzar en su solución.

En el mundo académico existe cierto consenso sobre cuáles son esos retos que la gestión de la ciudad debe enfrentar a diario. Dos de ellos son unánimemente reconocidos: la fragmentación social del espacio urbano, por un lado, y el desarrollo urbano sostenible, por el otro. Secchi (2012) plantea que los temas de la ciudad contemporánea son la sostenibilidad del desarrollo urbano, la inclusión social y la movilidad. Por su lado, Nel.lo (2013) se refiere a la dispersión creciente de la urbanización, a la especialización funcional de los lugares y a la segregación social como las tendencias dominantes en los procesos de transformación que viene atravesando la ciudad contemporánea. En relación con estas interpretaciones del devenir de la ciudad actual, y en respuesta a ellas, también existe bastante consenso en torno a la idea de orientar

el crecimiento de la ciudad hacia formas más compactas, por sobre los procesos expansivos que han distinguido a dicho crecimiento de la ciudad en estas últimas décadas.

En Borja (2015) encontramos una simple y clara descripción de estas dos situaciones, que deberían estar claramente imbricadas tanto en la lectura de las particularidades que caracterizan a la ciudad como en la formulación de políticas de desarrollo urbano apropiadas y efectivas:

- La fragmentación social del espacio urbano, ubicada dentro de un concepto más amplio, el de la desigualdad y la justicia espacial, por cuanto es una de las cuestiones básicas del desarrollo urbano por resolver.
- La sostenibilidad, que implica terminar con la especulación del suelo, la urbanización difusa, los excesivos costos en el tendido y mantenimiento de las infraestructuras. También sostiene que es necesario terminar con las arquitecturas superfluas, ostentosas: el “calatravismo”.

Dos retos, dos desafíos, dos problemas, dos temas, dos tendencias que deben ser abordadas en forma conjunta: inclusión social y desarrollo urbano sostenible.

Abordar estas cuestiones, entendidas como claves en el desarrollo de la ciudad contemporánea, en particular desde el urbanismo y desde la gestión de las ciudades, reclama ante todo un abordaje integral e interdisciplinario del tema; tema complejo de llevar a cabo en la administración local. Este artículo describe la experiencia municipal en Rosario con respecto al tratamiento de estas cuestiones que hoy se encuadran dentro de los retos que se exponen en los ods de las Naciones Unidas. Las políticas, las estrategias y los proyectos dan cuenta de los avances que se pudieron registrar durante los últimos años.

Desarrollo

Acerca de Rosario

Rosario es una ciudad que oscila entre el segundo y el tercer lugar en el ranking de ciudades argentinas, de acuerdo con su dimensión demográfica. La población estimada para el 2018 era de 995.497 habitantes, distribuidos en

una superficie de 178,7 km², que comprende áreas urbanizadas y áreas no urbanizadas. Este dato confirma que, en los últimos treinta años, la ciudad se encuentra prácticamente en una meseta de su crecimiento (en 1991 tenía 908.875 habitantes; el porcentaje de crecimiento demográfico desde entonces ha sido del 9,5%). Un 12% de la población de la ciudad se ubica en su área central, donde se registran los valores más elevados de densidad poblacional (194 habs./ha., cuando la media de la ciudad es de 56 habs./ha.). No obstante, es el sector de la ciudad que presenta los valores más bajos de crecimiento vegetativo (en el 2018, el crecimiento vegetativo de la ciudad fue de el 2%) (Municipalidad de Rosario, 2018).

Rosario es el epicentro de un sistema portuario de más de 70 km de extensión a lo largo de la margen derecha del río Paraná. Un sistema que concentra 29 puertos, muchos de ellos asociados con industrias oleaginosas. De ellos, 19 puertos concentran el 80% de las exportaciones del país. Por otro lado, el 30% del movimiento de cargas del país tiene lugar en el denominado Gran Rosario (Bolsa de Comercio de Rosario, 2019). A pesar de que la ciudad se encuentra en una región de alto dinamismo productivo y económico, en particular en su zona portuaria, Rosario presenta niveles de pobreza que crecen progresivamente desde la década de los años ochenta: 8,4% de población pobre en 1980, valor que se incrementa hasta alcanzar una cuarta parte de la población total en el 2016.

La administración municipal y el desarrollo urbano sostenible

Ubicar a Rosario en un contexto de mayor visibilidad y de reconocimiento internacional fue uno de los objetivos de la administración socialista durante las más de dos décadas en las que estuvo a cargo de la ciudad. Con tal propósito, el socialismo (y las distintas expresiones políticas por medio de las cuales gobernó la ciudad) siempre fue afecto a participar en redes internacionales de ciudades que proponían cambios en la gestión urbana, de acuerdo con temas de agenda que se iban imponiendo desde dichas redes. También se propuso ejecutar proyectos novedosos y emblemáticos. En el primer caso, uno de los primeros ejemplos es la participación en el Centro Iberoamericano de Desarrollo Estratégico Urbano (CIDEU) que resultó luego en la presentación del primer plan estratégico de la ciudad en 1998. En el segundo, se pueden mencionar los proyectos

de los centros municipales de distrito, a cargo de arquitectos de amplio reconocimiento internacional y latinoamericano, como Álvaro Siza, César Pelli, Mario Corea, Laureano Forero, entre otros convocados que no participaron (Christian de Potzamparc, Santiago Calatrava). Los premios obtenidos en el marco de la participación en esas redes dan cuenta del interés por incorporarse y pertenecer a los circuitos internacionales.

Con respecto a la sostenibilidad del desarrollo urbano, la actitud de la Municipalidad de Rosario fue la de adherirse a ese objetivo: está abordando los temas de esta política de un modo que se podría definir como “internacionalización + visibilidad”. De esta manera, se incorpora a las actividades promovidas por el Programa 21 (más conocido como Agenda 21), plan de acción propuesto por la ONU para lograr un desarrollo más sostenible en el siglo XXI. El documento, aprobado y firmado por 173 gobiernos en la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, celebrada en Río de Janeiro en 1992, tenía la pretensión de ser adoptado a nivel internacional, nacional y local por las organizaciones de las Naciones Unidas, los gobiernos y los llamados “grupos principales” de cada región con protagonismo sobre el medio ambiente. Su interés se centraba en las dimensiones sociales y económicas del desarrollo humano, en la conservación y gestión de los recursos para el desarrollo, en el fortalecimiento del rol de los grupos principales y en los medios disponibles para la ejecución de proyectos. En Rosario, mediante la sanción del Decreto 0928 del 2007, se decide la creación del “Programa Agenda 21”, por el cual se propone la planificación e implementación de la Agenda 21 en la jurisdicción de la ciudad de Rosario. En convenio con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Rosario lleva adelante su Agenda 21 y, mediante una serie de talleres con vecinos y representantes de la sociedad civil, pone en discusión las principales propuestas de la Agenda en lo que respecta a las cuestiones pertinentes a una ciudad como Rosario y la región donde se encuentra.

En el año 2006 se da inicio a GEO (Global Environment Outlook) Área Metropolitana Rosario, iniciativa que se desarrolla desde el espacio de la Vicegobernación de la Provincia de Santa Fe, en conjunto con el PNUMA y el Instituto de Gestión de Ciudades (IGC). Si bien el trabajo hace referencia al Área Metropolitana de Rosario, el territorio en cuestión, para el estudio, es el denominado “cordón norte

del AMR”. De esta manera, Rosario se incorpora al programa GEO Ciudades, que propuso la ONU en 1995 con el propósito de ayudar a mejorar la gestión ambiental mediante el envío de información confiable y actualizada a los gobiernos municipales, a científicos, a formuladores de políticas y al público en general. Con esta iniciativa se lograron conocer las particularidades de los aspectos del desarrollo que influían de manera determinante sobre la situación ambiental, particularmente de aquellos que afectan la salud, la productividad y la calidad de vida de la población. Se identificaron las respuestas a los problemas ambientales a partir de las políticas formuladas en la región, con especial foco en las iniciativas y políticas en marcha, para identificar las debilidades y barreras que impiden su implementación exitosa.

Con el inicio de la administración de la intendente Mónica Fein (2012), el tema del desarrollo urbano sostenible fue abordado de otra manera, con el propósito de convertirlo en una política con continuidad en el tiempo y no en un simple elenco de acciones aisladas y espasmódicas, como se venía trabajando hasta ese momento, a partir de iniciativas que se proponían e imponían desde distintas organizaciones y organismos internacionales. En el relato oficial, tres situaciones confluyeron para dar lugar a la emergencia de esta nueva orientación en la gestión del gobierno municipal:

- El fin del Consenso de Washington
- La celebración del Simposio sobre “Esclavitud moderna y cambio climático: el compromiso de las ciudades”, organizada por el Vaticano en julio de 2015.
- El cambio, en las Naciones Unidas, de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) a los ODS de la Agenda 2030.

La primera década de este siglo se identifica como el fin de las políticas surgidas del Consenso de Washington; una serie de iniciativas de corte neoliberal con efectos devastadores en el país, que provocó una profunda fractura en su tejido social: pobreza, desempleo, desindustrialización, endeudamiento. Las políticas que el gobierno nacional puso en marcha en esa década permitieron visualizar escenarios más optimistas para el desarrollo del país.

El coloquio organizado por el Vaticano pretendía lograr el compromiso de las autoridades locales frente a dos situaciones que, desde las Pontificias Academias de Ciencia y de Ciencias Sociales, se entendían estrechamente relacionadas: la crisis ambiental provocada por el cambio climático y las nuevas modalidades de esclavitud ejercidas sobre los sectores más desprotegidos y vulnerables de la población. En ese sentido, se asume que, por un lado, el calentamiento global es una de las causas de la pobreza y provoca la migración forzada de grandes contingentes de población de las regiones más vulnerables. Mientras que, por el otro, esta situación creada se convierte en caldo de cultivo para la explotación de estos sectores afectados por medio de la trata de personas, el trabajo forzado, la prostitución y el tráfico de órganos; en otras palabras, la esclavitud moderna. La participación de la intendente Fein en el coloquio fue una muestra del compromiso que el gobierno municipal asumía frente a este nuevo desafío.

Ese mismo año, Rosario, junto con otras ciudades de diversos países, se suscribió a la “Declaración del Compromiso de las Ciudades”, en la ciudad de Nueva York, Estados Unidos. Este es el punto de partida desde el cual Rosario comenzó a delinear su estrategia para la implementación de los ODS en su territorio. Si bien estos objetivos son globales, el resultado a escala local es crucial, ya que todos los ODS poseen cuestiones directamente relacionadas con las responsabilidades de las ciudades, en particular con respecto a la prestación de servicios básicos, la cercanía con la comunidad y su participación más directa, y la rendición de los resultados de la aplicación de las políticas públicas.

Es entonces que las Naciones Unidas dan por concluido el período de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) mientras preparan la escena para la presentación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). En el año 2000, 189 países firmaron la “Declaración del Milenio de las Naciones Unidas”, con el fin de erradicar, para el año 2015, la pobreza extrema en todas sus formas. Quince años más tarde, luego de evaluar los logros alcanzados con respecto a los ocho Objetivos del Milenio (erradicar la pobreza extrema y el hambre; lograr la enseñanza primaria universal; promover la igualdad de género y el empoderamiento de la mujer; reducir la mortalidad de los niños menores de cinco años; mejorar la salud materna; combatir el VIH/SIDA, el paludismo y otras enfermedades; garantizar la sostenibilidad del ambiente; y, por último,

fomentar un alianza mundial para el desarrollo), se da por concluida esa etapa para dar paso a una nueva. Una nueva etapa, la de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que va a marcar de ahí en adelante la agenda de los gobiernos nacionales y locales, desde el 2015 hasta el 2030.

En relación con los ODS, se ve que, al menos formalmente en ese momento, el gobierno municipal asume el tema de otra manera, con el propósito de no realizar acciones aisladas sino de convertirlo en una política integral que oriente su gestión. La creación del Gabinete para la Sustentabilidad puede ser reconocida como un indicio de ello.

El Gabinete para la Sustentabilidad

El gobierno municipal viene trabajando desde principios de siglo con “gabinetes sectoriales”, agrupamientos transversales de distintas secretarías que abordan, desde sus propias competencias y especificidades, temas que les son comunes. Así se venía trabajando con el gabinete urbano, el gabinete social y el gabinete productivo. A partir del 2016, y en consonancia con los cambios en el enfoque que se le daría a la cuestión del desarrollo urbano sostenible, se inicia al funcionamiento de nuevos gabinetes: mediante el Decreto 1001/2016 se oficializan los gabinetes sectoriales ya en funcionamiento (Económico-productivo, Social y Urbano) a los cuales se agregan los nuevos (Innovación, Sustentabilidad y Convivencia y Seguridad). Los gabinetes sectoriales son entendidos. En el mismo Decreto, se establecen el objetivo, los integrantes y la coordinación de cada gabinete sectorial. La función del Gabinete para la Sustentabilidad se definió a partir de una finalidad muy vaga, que remite a la conocida definición de sostenibilidad que se difundió masivamente por medio del informe Brutland de 1987: “formular criterios y pautas de acción a fin de contribuir al desarrollo de la ciudad de manera de resolver las necesidades del presente sin comprometer las capacidades de las generaciones futuras para resolver sus necesidades” (CMMAD, p. 7) . El gabinete estaría integrado por las Secretarías de Gobierno, Planeamiento, Ambiente y Espacio Público, Economía Social, Transporte y Movilidad y General, con la coordinación en manos del Secretario de Gobierno.

Dado que la sostenibilidad amerita un abordaje más amplio e integral y que no se trata solamente de un tema ambiental o de una preocupación específica por el cambio climático, el principal objetivo de este nuevo gabinete sectorial sería, dentro del funcionariado municipal, crear una masa crítica al respecto. La discusión interna se centró sobre todo en encontrar una modalidad de trabajo para encarar la cuestión de la sostenibilidad de un modo más integral, como política municipal, y no tanto para formular acciones concretas. Al avanzar por esa línea de trabajo, el propio gabinete fue formulando proyectos prioritarios. De acuerdo con la opinión de los funcionarios del gabinete, se trabajó con el método de ensayo-error, en la medida en que se dificultó —dificulta—, por un lado, romper con la inercia propia del trabajo de la administración pública en compartimentos estancos (secretarías, departamentos, direcciones) y, por el otro, lograr opiniones comunes (establecer un “idioma” común) con respecto al tema de la sostenibilidad del desarrollo urbano.

En concreto, a partir del 2016, se comienza un intercambio de ideas sobre cuatro líneas de trabajo que se consideran estratégicas para el desarrollo de la ciudad en su conjunto: biodiversidad, energía, producción y consumo sostenibles, y adaptación al cambio climático. A partir de ellas, se formula una serie de proyectos estratégicos. Estas líneas de actuación, y sus correspondientes proyectos estratégicos, procuran definir la orientación de la acción municipal para los años siguientes; una suerte de norte que indicaría el camino de la gestión cotidiana de la ciudad. Los proyectos no son definiciones de cómo encarar el trabajo, son sólo ideas acerca de los temas sobre los cuales es necesario seguir indagando, para así contar con un diagnóstico más preciso del estado de situación.

Posteriormente, se avanza en la formulación de un esquema de ejes de trabajo, subejos y proyectos (que ya adquieren el carácter de proyecto concreto y no de enunciado de idea). Desde el gabinete sectorial se pretendía contar con una planilla de registro donde se reunieran, de manera más ordenada y sistemática, todos los proyectos de las distintas áreas que integran el Gabinete para la Sustentabilidad, para así estar en mejores condiciones de gestionar su ejecución y programar un seguimiento de la marcha de los proyectos. La idea de este esquema era establecer una priorización de los proyectos; un elenco

muy amplio de proyectos (51) con alcances muy diversos para tratar la cuestión de la sostenibilidad del desarrollo urbano, que van desde el relevamiento de superficie de suelo absorbente hasta el plan de desagües cloacales, pasando por un vivero de plantas autóctonas. Se proponía identificar responsables y metas por alcanzar (también en el 2016). No se logró una definición con respecto a responsables y metas, así como tampoco se llegó a definir una priorización ni a proponer modalidades de gestión. Cada secretaría aportó sus proyectos, pero luego no hubo ninguna instancia de coordinación superior. Los ejes que entonces se plantearon son: hábitat urbano más resiliente ante el cambio climático (construido y natural), desarrollo económico sustentable, consumo sustentable, movilidad sustentable, gestión integral de residuos, gestión de riesgo, desarrollo del plan de acción frente al cambio climático y reducción de gases de efecto invernadero. Al 2019, y por los motivos expuestos, los logros fueron muy dispares y escasos.

De todas maneras, pueden destacarse dos proyectos sobre los cuales se ha avanzado con resultados positivos y que tienen que ver con dos aspectos íntimamente relacionados entre sí: el consumo de energía y la emisión de gases de efecto invernadero (GEI).

El inventario de emisión de GEI, un punto de partida

Una de las propuestas que surge de esa planilla de ejes, subejos y proyectos es el Desarrollo del Plan Local de Acción frente al Cambio, del cual se desprenden tres proyectos: Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, adhesión a los Gobiernos Locales por la Sostenibilidad - Consejo Internacional para Iniciativas Medioambientales (ICLEI, por sus siglas en inglés) y desarrollo del plan climático. De este eje de trabajo ya se ha avanzado en los tres proyectos que lo conforman. El más sencillo de estos, la incorporación al ICLEI se resolvió en el 2016.

La elaboración del Plan Local de Acción frente al Cambio Climático se comienza a gestar con la sanción de la Ordenanza 9424 de 2015. El plan es entendido, de acuerdo con lo expresado en su artículo 12.º, como “el instrumento guía de toda política pública local frente a la problemática del calentamiento global. El mismo tendrá por finalidad la reducción de las emisiones de gases de

efecto invernadero y la implementación de acciones de adaptación frente al Cambio Climático para la ciudad de Rosario”. (p. 3) Como punto de partida de la elaboración de este plan, ya se cuenta con un “Inventario de gases de efecto invernadero (GEI)”, el tercer proyecto del eje.

El inventario se realizó con base en la metodología propuesta por el “Protocolo Mundial para los Inventarios Comunitarios de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero”. Es el punto de partida para abordar seriamente acciones específicas para la reducción de las emisiones de CO₂.

Al respecto, dos registros dan cuenta del estado de situación en estos últimos años: uno que corresponde al 2016 (con datos del año 2014) y otro al 2018 (con datos del año 2016). De acuerdo con estos estudios se tiene que, para el año 2018, del total de las emisiones de CO₂, el 59 % corresponde a energía estacionaria (viviendas, comercios, industrias, entre otros.). Esto significa una reducción significativa respecto del año 2016, con un registro del 62 %. Esta reducción se debe fundamentalmente a que dejó de operar una antigua usina ubicada dentro de la ciudad (la Usina Sorrento) y a la disminución de la actividad en la construcción y en la industria como consecuencia de la política económica que llevaba adelante el gobierno nacional.

Tabla 1. Emisión de gei en la ciudad de rosario. Período 2016-2018

Fuentes de emisión	2016	2018
Energía estacionaria	62 %	59 %
Transporte	24 %	24 %
Residuos	14 %	17 %

Fuente: Elaboración propia con datos de GEI Inventario Gases de Efecto Invernadero - Municipalidad de Rosario (2019).

El estudio realizado permite tener un cuadro del estado de situación con respecto a esta cuestión clave en el desarrollo de las ciudades:

- Energía estacionaria: más del 50 % de la emisión de GEI se produce desde las construcciones (vivienda, comercio, instituciones).
- Transporte: el 90% de la emisión corresponde a la circulación de automóviles particulares.

- Residuos: el 90% de la emisión corresponde al tratamiento y disposición final de los residuos sólidos urbanos.



Fotografía 1. Área central de Rosario, alta densidad y emisión de GEU.

Fuente. Elaboración autores

Disponer de este informe sobre el estado de situación permite definir y evaluar las políticas adoptadas para enfrentar los problemas que se han registrado:

- Energía estacionaria: gran parte de la preocupación debe orientarse a redefinir las condiciones técnicas que se deben observar en la edificación, situación sobre la cual ya se han puesto en marcha medidas para el acondicionamiento térmico de las nuevas construcciones.
- Transporte: las iniciativas formuladas para una movilidad sostenible, tales como la red de ciclovías y el sistema de bicicletas públicas en el área central, y la definición de carriles exclusivos para el transporte público, también en el área central, no se han traducido aún en una reducción del uso del automóvil como medio de movilidad en la ciudad.
- Residuos: la reciente construcción de una planta de tratamiento de residuos sólidos urbanos (RSU) en Villa Gobernador Gálvez, localidad vecina a Rosario, no ha producido aún modificaciones en la emisión de GEI.

El control térmico en la construcción

El control térmico de las construcciones en la ciudad de Rosario tiene su origen en el ámbito académico y no en el municipal. En efecto, desde la Universidad Nacional de Rosario, un equipo de trabajo integrado por investigadores del Centro de Estudios del Ambiente Humano de la Facultad de Arquitectura, Planeamiento y Diseño (FAPyD) y del Grupo de Energía Solar de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (FCEIA), elaboró un proyecto de normativa para la regulación de los aspectos higrotérmicos en los edificios. Dentro del equipo de trabajo se encontraba el Dr. Alberto Cortés, por entonces concejal, quien presentó en el año 2011 al Concejo Municipal la propuesta recién terminada; propuesta que obtuvo la aprobación de ese organismo colectivo del gobierno de la ciudad. Así, en ese año se sanciona la Ordenanza 8757 de “Aspectos higrotérmicos y demanda energética de las construcciones”.

Para su reglamentación, y de acuerdo con lo establecido en su artículo 5.º, se crea una Comisión Especial constituida por representantes de la FAPyD y la FCEIA de la Universidad Nacional de Rosario (UNR), la Facultad Regional Rosario de la Universidad Tecnológica Nacional, el Colegio de Arquitectos, el Colegio de Ingenieros Civiles, el Colegio de Ingenieros Especialistas y técnicos de distintas áreas municipales. Una vez aprobado el decreto reglamentario, en julio del 2013, entró en vigencia la aplicación de la Ordenanza 8757 y se incorporó a la sección 7 del Reglamento de Edificación de la Ciudad de Rosario.

El Decreto Reglamentario establece también la aplicación gradual de las disposiciones de la Ordenanza, estableciendo las particularidades de su aplicación para los dos primeros años a partir de la sanción del decreto. La gradualidad tiene que ver con la superficie de los proyectos por incorporar, partiendo de proyectos de mayores dimensiones hasta el presente, en el cual ya todos los nuevos proyectos deben contemplar las disposiciones de la Ordenanza.

Tabla 2. Municipalidad de Rosario. Aplicación gradual de la Ordenanza 8757

Gradualidad de la aplicación	Cantidad de casos	Sup. certificada (m ²)
1.er año: 07.2013-07.2014	5	33.363
2.º año: 07.2014-07.2015	11	55.293
3.er año: 07.2015-07.2016	31	190.408
4.º año: 07.2016-07.2017	95	223.319
5.º año: 07.2017-a la fecha	139	227.230
Total	281	749.534

Fuente Eficiencia Energética en las construcciones. Implementación Ordenanza N° 8757. *A&P Periódico*, 7 (2018).

Los resultados de la aplicación de esta regulación sobre el control térmico de la edificación dan cuenta de una disminución significativa de la emisión de GEI. Un primer estudio indica que dicha disminución es del orden del 33%, valor que resulta importante, ya que, la emisión de gases en fuentes de energía estacionaria, entre las cuales se encuentran las viviendas, representa un valor muy elevado en la emisión de GEI en la ciudad, como se vio en el punto anterior. Esto concuerda con el valor dado en las disposiciones de la Ordenanza para la construcción de nuevos edificios en la ciudad. En dicho estudio, se calcula el ahorro de co₂ por la reducción en el consumo de energía en las viviendas que se acondicionaron de acuerdo con lo establecido por la Ordenanza 8757; en particular, con respecto al consumo de gas natural para calefacción durante los meses de invierno y de energía eléctrica para refrigeración durante los meses de verano. Esto se hizo mediante el análisis de la disminución de la transferencia de calor de una envolvente convencional a una envolvente que aplica los criterios de la Ordenanza 8757 (consumo de energía en calefacción y refrigeración).

Conclusiones

En este proceso de ir definiendo una política común y acciones específicas para el desarrollo urbano sostenible, la Municipalidad ya definió sus Indicadores de Sostenibilidad (IS) con el propósito de posicionar mejor al gobierno municipal frente a los organismos internacionales, en particular aquellos que otorgan créditos y evalúan los resultados de la puesta en marcha de las políticas municipales, y de medir periódicamente el estado de situación de la ciudad, de su funcionamiento y de su proceso de transformación.

El relato acerca de los distintos modos de abordar la cuestión del desarrollo urbano sostenible y, dentro de él, los objetivos de desarrollo sostenible para el 2030, pone de relieve, una vez más, que el eje de la cuestión se encuentra en la modalidad de gestión, en la necesidad de producir cambios significativos en la organización municipal, de tal modo que se puedan enfrentar los problemas cotidianos de acuerdo con una visión estratégica del desarrollo urbano y con políticas integrales y concurrentes.

Los resultados obtenidos hasta ahora desde la esfera municipal muestran avances, algunos significativos, otros no tanto; algunos, relevantes para la producción de conocimiento sobre el estado de situación de la ciudad y a las maneras más apropiadas de trabajar en la solución de los problemas detectados, y otros, más vinculados con una cuestión de marketing y posicionamiento de la ciudad.

Por último, el tratamiento de los objetivos de desarrollo sostenible, en particular el Objetivo 11 Ciudades y Asentamientos Sostenibles, que se propone “lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles” mediante metas para el 2030 —la mayoría de *ellas* inalcanzables—, debe encontrar un punto en común, y este punto en común, o espacio de confluencia, es el plan urbano o plan de ordenamiento urbano. Los ODS indican la orientación del plan urbano y este, a su vez, expone el modo en que las distintas metas y proyectos se articulan por medio de propuestas específicas que se traduzcan en cambios sustanciales en la construcción y funcionamiento de las ciudades.

Referencias

- Facultad de Arquitectura, Planeamiento y Diseño (AAVV) (2018). Eficiencia Energética en las construcciones. Implementación Ordenanza N° 8757. *A&P Periódico*, 7. Universidad del Rosario
- Bolsa de Comercio de Rosario (2019). El nodo portuario de Rosario, con 70 km de costa, es el más importante del mundo. *Agritotal*. <https://www.agritotal.com/nota/43923>
- Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, CMMAD (1987). *Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo “Nuestro futuro común”*. http://www.ecominga.uqam.ca/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE_LECTURE_1/CMMAD-Informe-Comision-Brundtland-sobre-Medio-Ambiente-Desarrollo.pdf

Concejo Municipal de Rosario (2011): Ordenanza 8757

Concejo Municipal de Rosario (2015): Ordenanza 9424

Municipalidad de Rosario (2018). *Anuario de población y estadísticas vitales*. Dirección General de Estadística, Secretaría General y Municipalidad de Rosario. https://www.rosario.gob.ar/ArchivosWeb/anuario_2018.pdf

Municipalidad de Rosario (2019). GEI. *Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero*. Rosario

Municipalidad de Rosario – Departamento Ejecutivo (2007): Decreto 0928

Municipalidad de Rosario – Departamento Ejecutivo (2016): Decreto 1001

Nel.Lo, O. (2013): Ordenar el territorio. La experiencia de Barcelona y Cataluña. *Biblio 3W Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, 18(1010). <http://www.ub.edu/geocrit/b3w-1010.htm>

Organización de las Naciones Unidas, ONU (2000). *Declaración del Milenio*. <https://www.un.org/spanish/milenio/ares552.pdf>

Organización de las Naciones Unidas, ONU (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo del Milenio*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA (2006). *Perspectivas del Medio Ambiente Urbano*. GEO Área Metropolitana de Rosario. PNUMA PNUMA e Instituto de Gestión de Ciudades, IGC.

Secchi, B. (2012): Los retos de la ciudad contemporánea. Conferencia. Buenos Aires

Capítulo 5. El papel de las certificaciones como estrategia de impulso de la construcción sostenible en Colombia

Isabel Cristina Cerón Vinasco. Universidad Católica de Colombia

Zully Alexandra Palomeque. Universidad Católica de Colombia

Biagio Arévalo. Green Building & LEED

Algunos planteamientos sobre las *necesidades humanas* (Llobet, Mateu y Ávila, 2012), contrario a lo que se piensa, proponen que éstas pueden ser finitas y por tanto clasificadas, lo cual demuestra que pueden ser constantes a lo largo de la historia. Asimismo, se propone agruparlas de acuerdo a los aspectos más básicos, como son los de carácter fisiológico, de seguridad, de carácter social, los aspectos que tienen atributos de aprecio (o sentido de pertenencia), así como, en necesidades orientadas a la autorrealización personal. De esta manera, las necesidades del ser humano, a excepción de las fisiológicas, se desarrollan en contextos de comunidad, hecho reconocido desde los primeros siglos A. C. (Bertrand, 2018). Uno de los elementos para tener en cuenta en el establecimiento en comunidad de los diferentes asentamientos humanos es el desarrollo de edificaciones que le permitan a la gente vivir, convivir, trabajar, divertirse, entre otras actividades, prácticas desarrolladas a lo largo de la historia de las diferentes civilizaciones hasta lo que conocemos hoy: construcciones que, desde su concepción más elemental hasta la más compleja, tienen

por objeto cubrir las necesidades de las personas de acuerdo a su momento histórico.

No es algo nuevo que, en vista de los requerimientos ambientales y sociales a los que nos enfrentamos actualmente, sea necesario replantear la manera en que se desarrollan las viviendas, comunidades y ciudades en el planeta. Así pues, se requiere dar paso a entornos que garanticen la existencia de la especie humana (con todos sus condicionantes), no sólo hoy, sino en el futuro. Este planteamiento es la base fundamental de la construcción sostenible, ampliamente estudiada y recogida por las Naciones Unidas en los Objetivos de Desarrollo Sostenible - ODS, que hoy se transmiten a manera de políticas nacionales, regulaciones locales, lineamientos sectoriales y demás directrices (Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible, 2012).

Es así como, en el marco del desarrollo y de la implementación de los ODS y, en particular, del cumplimiento del objetivo 11, “Ciudades y Comunidades Sostenibles”, se plantea la necesidad de potenciar e impulsar la dinámica de lo que se conoce como “construcción sostenible” o “construcción verde”. Este objetivo, en sí mismo, invita a la reflexión sobre la manera en que se están planeando las ciudades en la actualidad o sobre lo que se ha visto hacer hasta nuestros tiempos, teniendo en cuenta el crecimiento poblacional y lo que se espera en el futuro. Dentro de las principales metas planteadas, se propone: minimizar el impacto ambiental en las ciudades; desarrollar sistemas de transporte asequibles y sostenibles; fortalecer la planeación del desarrollo nacional y regional; implementar políticas para la inclusión, la eficiencia de los recursos y la reducción del riesgo de desastres, entre otras (Departamento Nacional de Planeación, 2019).

Por otro lado, el marco normativo hasta ahora desarrollado en Colombia, en términos de sostenibilidad para la construcción, se ha abordado desde diferentes ámbitos e instituciones. No se reconoce una única ley que recoja todos los parámetros necesarios para hacer frente a los retos que implica el cambio del paradigma de construcción y, por ende, para dar cumplimiento a las metas establecidas en los ODS; esto hace que la comprensión de la sostenibilidad sea compleja para todos los implicados.

A partir de esto, se realizó una revisión del estado del arte de la construcción sostenible en Colombia, para abordar los desafíos, los compromisos, las iniciativas y, en particular, las normativas asociadas. Paralelo a esto, se hace un recorrido por los programas de certificación que permite identificar indicadores y métricas que pueden contribuir al entendimiento de los componentes de la sostenibilidad. Al cruzar dicha información a modo de análisis comparativo, se puede identificar un camino probable. Si la construcción sostenible pretende conceptualmente racionalizar, ahorrar, conservar y mejorar (Ramírez, 2002), las certificaciones de construcción sostenible podrían ser una valiosa guía para conseguir los métodos, prácticas y pasos que hay que seguir en el buen hacer de la actividad.

Revisión de los retos a los que se enfrenta Colombia

El Plan Nacional de Desarrollo (PND), que en palabras de su directora Gloria Amparo Alonso Másmela: “constituye la hoja de ruta de las políticas e inversión pública del país para los programas de gobernación”, se articula integrando los ODS de manera transversal. Así, el 98,2% de los indicadores de seguimiento que se desarrollaron tienen una relación directa con dichos objetivos (Departamento Nacional de Planeación, 2019). Estos indicadores se relacionan, por ejemplo, con: el control de la calidad del aire y el manejo de los residuos sólidos dispuestos en las ciudades; la cuantificación de los Planes de Ordenamiento Territorial (POT), que incluyen el componente de cambio climático; la protección del patrimonio cultural y natural del mundo; el acceso de todas las personas a viviendas y servicios básicos adecuados; seguros accesibles en precio; y la mejora de los barrios marginales, entre otros (Departamento Nacional de Planeación, 2019).

En materia internacional, sin embargo, y a pesar de los esfuerzos adelantados por muchos países, en el informe realizado por la Agencia Internacional de Energía en el marco de la 24.^a Conferencia de las Partes de la Convención sobre el Cambio Climático, el PNUMA alerta sobre la necesidad de tomar “medidas drásticas” para reducir las emisiones de CO₂ causadas por el sector de la construcción. Allí, se destacó la importancia de lograr “un gran cambio” en la

manera en que se construyen los edificios y se señaló que no son suficientes las regulaciones actuales, ya que es evidente que aún se puede mejorar mucho más. En consecuencia, el informe invita a elevar el listón de la eficiencia energética, los edificios ecológicos y las mejores prácticas en la construcción. Además, se anota la necesidad de tomar medidas drásticas, dado que las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (GEI), debidas a los edificios, aún corresponden al 40% del total global y el consumo mundial de energía, al 36% (United Nations Environment Programme, 2018).

Localmente, en el inventario de calidad de aire que presentó el IDEAM en el año 2014, se reportaron emisiones de 237 millones de toneladas de Co₂, de las cuales el sector de manufactura y de construcción generan el 12% (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2017). Se estima que la contaminación va en aumento y se hace evidente en las alertas generadas recientemente en ciudades como Bogotá (Secretaría Distrital de Ambiente, 2018; 2019)¹ y Medellín.

Iniciativas y alianzas orientadas a la construcción sostenible en Colombia

Algunas iniciativas se llevaron a cabo en el marco de programas estratégicos en los últimos años. Entre ellas, el programa Acelerador de Eficiencia Energética de Edificaciones (Building Efficiency Accelerator, BEA), en Bogotá y Medellín (Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, 2019), cuyo objeto particular en Bogotá es que, por medio de la alianza entre el World Resource Institute (WRI) y la Secretaría Distrital de Planeación, en colaboración con el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, se puedan implementar todas las metodologías correspondientes en los protocolos de construcción, durante el ciclo de vida de las edificaciones, para aumentar la eficiencia en dos de los recursos primarios: la energía y el agua. Esto, por medio de la regulación del

¹ Las alertas amarillas frente a la calidad del aire, registradas por el distrito el 7 de marzo de 2019, el 14 de febrero de 2019 y el 23 de marzo de 2018, generaron un llamado al sector a fin de alertar sobre la seriedad de la problemática.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio para la ciudad, específicamente en la implementación de la Resolución 546 de 2015², cuyos resultados se están socializando actualmente.

La participación colaborativa en dichos programas no sólo permite que se acceda a recursos internacionales, sino que, además, abre la puerta a nuevos modelos de desarrollo de ciudad, apoyados en la experiencia vivida por países que ya han repensado y superado el mismo proceso. Esto, también permite elaborar unos códigos reguladores que tienen un alcance colectivo de gran impacto, mediante los cuales se busca garantizar ahorros masivos en el consumo de los recursos. No obstante, más allá del agua y la energía, la experiencia desde otros sectores e iniciativas de la edificación en el ámbito particular, bien sea de la academia o del mercado propiamente inmobiliario, han demostrado muchas otras estrategias que se pueden ajustar a los códigos, a las reglamentaciones, a las políticas empresariales, a los códigos de residencia, a la formación universitaria, a los grupos dedicados a la investigación y el desarrollo o a los códigos de convivencia ciudadana, entre otros, que favorecen la reducción de los indicadores asociados a la sostenibilidad.

2 El BEA es uno de los seis programas que buscan acelerar el cambio de los modelos de ciudad, cuyo propósito es la búsqueda de la eficiencia energética en edificaciones con el fin de reducir la huella urbana de la construcción al 2030, tema de mayor importancia en consideración de los compromisos suscritos en el Acuerdo de París y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. El BEA se origina de una iniciativa denominada Sustainable Energy for All (SE4ALL) de la Organización de las Naciones Unidas, la cual es financiada con recursos del Global Environment Facility (GEF).

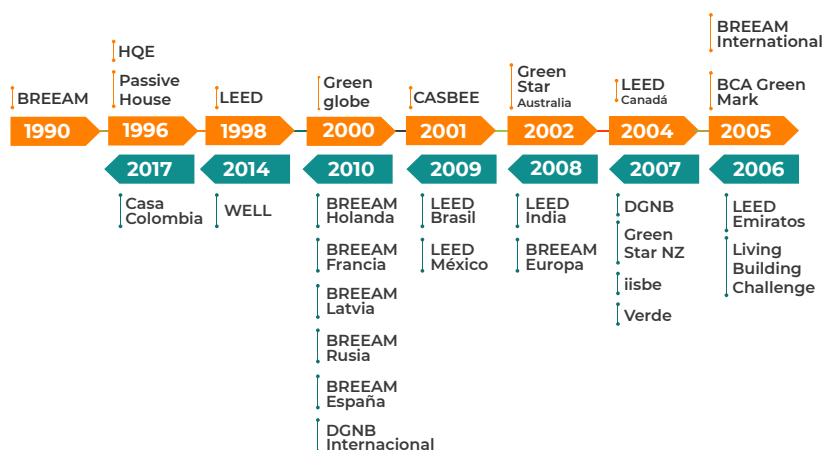


Figura 1. Línea de tiempo de la creación de algunos de los Sistemas de Certificación en Construcción Sostenible

Fuente: Elaboración de los autores, basada en la revisión en línea y en Ebert, Essig y Hauser, 2011.

En 1990, tras diferentes iniciativas de algunos códigos de construcción europeos y en respuesta a las alertas de la grave “crisis ecológica”³ —consecuencia del desarrollo económico y la globalización—, aparece el primer Sistema de Certificación Sostenible británico, BREEAM, originado en el Building Research Establishment (BRE) con el fin de ofrecer soluciones a los problemas ambientales derivados de la industrialización de la construcción y el incremento de las emisiones debidas al crecimiento poblacional y su necesidad habitacional. La iniciativa tuvo bastante acogida y en 1996, en Francia, nació HQE (Haute Qualité Environnemental). También en ese año se crea el Passive House Institute en Alemania, iniciativa cuyo principio se basa en reconocer, en primera instancia, las estrategias de aprovechamiento térmico pasivo tradicionales, origen de las actuales certificaciones de cero consumos de energía⁴.

3 Así denominada por muchos autores en los primeros reportes realizados en los años setenta. Para mayor información al respecto, se sugiere revisar “Economía y sostenibilidad: la economía ecológica en perspectiva”, de José Manuel Naredo, ver en <http://journals.openedition.org/polis/791>.

4 Certificación únicamente orientada hacia la eficiencia energética. Para mayor información, ver en https://passive-dia.org/basics/the_passive_house_-_historical_review.

En 1998 se creó en Estados Unidos la etiqueta LEED (Leadership in Energy Environmental Design), creada por el United States Green Building Council (USGBC). Con base en la experiencia de estos sistemas de certificación, los japoneses crearon su propio sello denominado CASBEE (Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency), en el 2001, y muy poco después, en el 2002, se creó Green Star en Australia. Así pues, surgió la primera generación de programas de certificación, que en un principio se concentraban en evaluar el carácter ecológico de la energía relacionada con la construcción de edificios. A partir de estos, y a medida que maduraban las metodologías, salen a la luz otras propuestas conocidas como las certificaciones de segunda generación, cuyo objeto es la reducción de los indicadores negativos que, ya no sólo en materia de ecología, se estaban definiendo. Actualmente han surgido las certificaciones de tercera generación, cuyo propósito es conseguir que los impactos ocasionados por el edificio generen unos indicadores positivos (The Lancet, 2019). Todo esto, mediante estrategias que combinan la generación de energías bajo tecnologías limpias y la reducción de consumos en soporte al diseño en arquitectura bioclimática y al uso eficiente de los materiales.

Modelos de evaluación de los Sistemas de Certificación

La base de los sistemas de certificación es la selección de indicadores de sostenibilidad para el diseño, la construcción y la operación, cada uno de los cuales asocia una valoración a un aspecto enmarcado en el componente ambiental, social o económico relacionado con el edificio. Estos aspectos, a su vez, son características medidas u observadas que sin un debido manejo podrían caer en el mundo de las interpretaciones banales. Los modelos de evaluación no garantizan los resultados, pero los resultados son imposibles sin indicadores adecuados. Con respecto a los indicadores, Meadows (1998) señala que, a pesar de que en ocasiones estos puedan ser mal escogidos, es imposible proceder sin ellos porque los sistemas son demasiado complejos como para gestionar toda la información como tal (Meadows 1998). La denominación que se les adjudique puede, en algunos casos, sensibilizar al usuario, ya que la interpretación que se haga del indicador debido a su nombre, despierta

interés. Es el caso de indicadores definidos como “belleza”, “salud”, “cambio climático” o “ejercicio”.

Los indicadores se determinan, en primera instancia, en función del objetivo que se busca, según la filosofía en la que se origina el sistema de certificación; es decir, existen planteamientos de la sostenibilidad que se abordan a partir de consideraciones como la salud y el bienestar humano, en otros, prima el uso adecuado de los recursos naturales o el beneficio económico⁵. El sistema de certificación se somete a un proceso de análisis de cada uno de sus indicadores, normalmente soportado en la investigación académica, en los estándares técnicos, las regulaciones y las mediciones de laboratorio⁶, que en su conjunto generan unos lineamientos que son verificados por expertos y retroalimentados (a prueba y error) hasta alcanzar cierto grado de madurez que le permite salir al mercado, en lo que se conoce inicialmente como la Versión núm. 1 del sistema de certificación. De la revisión realizada a los sistemas de certificación, en la Figura 2 agrupan los indicadores observados.

Los indicadores comunes a todos los sistemas de certificación son aquellos de origen ambiental y se destacan entre estos los relacionados con la gestión de energía, agua, materiales y residuos. El indicador *responsabilidad social* sólo es definido explícitamente en el programa Casa Colombia. *Educación, inspiración y belleza* son indicadores definidos en el sistema de certificación Living Building Challenge, originado en el International Living Future Institute (ILFI). Indicadores sobre el impacto en la salud están implícitos en otros indicadores como los de *calidad del aire* interior, *confort* o bienestar, abordados así en la certificación LEED y Casa Colombia, y de manera explícita, en las certificaciones BREEAM, DGNB y HQE. Los análisis de *vida de los costos* conforman un indicador de BREEAM y *calidad económica* es un indicador de la certificación DGNB, ambos implícitos en los criterios de gerencia y riesgo financiero.

5 Como en el caso de la Certificación HQE, que soporta los indicadores de evaluación en la ecología, el confort y la salud, a diferencia de la certificación CASBEE, cuyos indicadores están claramente orientados hacia el medio ambiente.

6 El Código Internacional ASHRAE 90.1 2010 se utiliza frecuentemente como línea base de consumo en LEED, BREEAM y HQE



Figura 2. Principales indicadores identificados en los Sistemas de Certificación Sostenible
Fuente: Elaboración de los autores.

El método de evaluación de los indicadores normalmente responde a la estrategia de negocio con la que esté asociado el sistema de certificación. Según se pretenda, si la certificación tiene un carácter local, la evaluación se puede hacer mediante un consultor externo local que tenga conocimiento de la normativa de construcción local y que, además, haya adquirido el entrenamiento adecuado sobre el estándar, en su papel de evaluador; es el caso de la certificación francesa HQE.

Otras veces, la evaluación de los proyectos se realiza directamente en uno de los departamentos del ente certificador, sin embargo, como este método en ocasiones no es lo suficientemente transparente, lo que suele suceder es que el ente certificador acompaña todas las fases del desarrollo del proyecto hasta que éste cumpla con los requisitos acordados en su inicio; así, a lo largo del desarrollo del proyecto se cuenta con la presencia de un auditor que garantiza el cumplimiento de las estrategias. Cuando la certificación tiene un carácter más internacional, el sistema de evaluación se debe concebir de manera flexible, con criterios que se puedan adaptar según el lugar del proyecto. Las evaluaciones tienden a realizarse con herramientas informáticas hechas para tal

fin, como es el caso de las herramientas de código abierto, Ecómetro y Open-house, desarrolladas bajo un criterio de trabajo abierto y colaborativo. La evaluación en este sentido está definida en el código del software, lo cual facilita la obtención del resultado. Estas son herramientas que, en muchos casos, se utilizan hasta en la fase de diseño de proyectos que aún no han aplicado a una certificación.

En general, los diferentes métodos de evaluación se pueden clasificar como se describe a continuación, con la salvedad de que algunos de ellos no son necesariamente excluyentes de los otros:

1. *Métodos multinivel.* Basados en el cumplimiento de requisitos, a cambio de una valoración mediante un sistema de puntos, lo cual permite al concursante ascender a medida que va adquiriendo el puntaje requerido. La verificación del cumplimiento se hace mediante un proceso conocido como *commissioning*. Método de evaluación utilizado en LEED y Casa Colombia.
2. *Basados en el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y sus metodologías de cálculo.* Consiste en realizar un tipo de contabilidad ambiental que resulta de todos los impactos que se generan en cada una de las etapas del ciclo de vida del edificio. La complejidad del ACV requiere un protocolo que se ha estudiado ampliamente en los últimos veinte años, recogido, entre otros, por la International Organization for Standardization (ISO) en sus títulos ISO 14040 e ISO 14044 (International Organization for Standardization, 2006). Es una de las metodologías que, si se realiza de manera rigurosa, permite obtener un resultado cuantificado y detallado de los impactos, pero que además requiere de cierto nivel de conocimiento que permita su adecuada interpretación. La Certificación Verde creada por el GBC España soporta su evaluación en este método, con un protocolo de evaluación que permite al proyectista sistematizar su trabajo y conocer los campos en que debe actuar y su importancia durante el ciclo de vida; al promotor, prever el comportamiento y los costes asociados, y a los usuarios, sus

prestaciones⁷. Por otra parte, actualmente se vienen desarrollando nuevas herramientas independientes de los sistemas de certificación que, basadas en el ACV, permiten analizar el impacto, ya no sólo de los productos, sino de los edificios⁸.

3. *Comparación frente a una línea base inmodificable.* Modelos de evaluación basados en un estándar que define todos los parámetros de diseño al establecer los límites de los indicadores. Uno de los sistemas de certificación más conocidos, que tienen un modelo de evaluación como éste, es el EDGE⁹, en el cual se definen todos los parámetros en una herramienta informática.
4. *Cumplimiento de indicadores evaluados por un tercero.* La evaluación la hace un evaluador externo o auditor, que conoce con precisión el protocolo de la certificación. En muchos casos, puede estar certificado por la misma institución que otorga la certificación. El proceso puede requerir un acompañamiento continuo durante la elaboración del proyecto o, en otros casos, sólo se realiza de manera puntual. Las certificaciones que se apoyan en este tipo de evaluación son HQE, IISBE, GREEN Globes, BREEAM y Green Star, entre otras.
5. *Auditorías particularizadas de la entidad donde se establecen lineamientos de acuerdo a cada proyecto.* En este caso es la entidad certificadora la que evalúa el proyecto postulado de acuerdo con sus lineamientos. Este tipo de evaluación está pensado para que exista un acompañamiento al proyecto, que suele ser de nueva construcción. El acompañamiento se realiza a lo largo de todo el desarrollo del diseño y la construcción del proyecto. La certificación originada en Singapur BCA Green Mark¹⁰ se estructura en este tipo de evaluación.

7 Para más información, ver en <https://gbce.es/certificacion-verde/>. En general se basa en un método prestacional, de acuerdo con la filosofía del Código Técnico de la Edificación y las directivas europeas. En la base están los principios de la bioarquitectura y los criterios de que el edificio debe construirse respetando el medio ambiente, ser compatible con el entorno y ofrecer altos niveles de confort y de calidad de vida a los usuarios.

8 Un ejemplo de esto es Open LCA Green Delta.

9 Programa de certificación que hace parte del International Finance Corporation, auspiciado por el Global Bank Group, <https://www.edgebuildings.com>.

10 Ver en https://www.bca.gov.sg/greenmark/green_mark_buildings.html.

6. *Consumos totales de algunos indicadores:* Modelo de evaluación que sólo considera los resultados de los indicadores en fase de funcionamiento del edificio. Esta valoración suele utilizarse en las certificaciones de tercera generación, como en los casos de Passive House y las originadas en el Living Building Challenge. La última fase de las certificaciones LEED y Casa Colombia es verificada mediante este proceso.

Certificaciones de construcción sostenible en Colombia

La primera certificación de un edificio en construcción sostenible en Colombia fue otorgada el 8 de diciembre del año 2010 por el USGBC al edificio Novartis (Bogotá); se postuló en la categoría LEED BD+C, New Construction v2 - LEED 2.2 y obtuvo un certificado LEED Silver (U.S. Green Building Council Actualizada, 2019). Desde entonces, la entidad ha certificado 150 edificios más y tiene 223 en proceso, para un total de 3,9 millones de m² (Consejo Colombiano de Construcción Sostenible 2019). Liderada por el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (cccs)¹¹, la certificación es pionera en lo que respecta a la construcción sostenible en el país. En el año 2016, tras siete años de trabajo colaborativo con el USGBC, el Consejo lanza la propuesta de la certificación Casa Colombia¹², con el objeto de cubrir un mercado local dirigido a la construcción de viviendas de clase media o de interés social (VIS). En el año 2018 se otorgó la primera certificación Casa Colombia y hoy hay en curso tres proyectos por certificar, dos de ellos en VIS, para un total de 700 unidades de vivienda.

Por otro lado, en el año 2017, Camacol (Cámara Colombiana de la Construcción) emprendió una estrategia para masificar la construcción sostenible en el país por medio del programa de certificación EDGE. Para cumplir este objetivo, en el año 2016 Camacol fue seleccionada por la Corporación Financiera Internacional (IFC) del Grupo Banco Mundial para ser el socio en el país (Cámara Colombiana

¹¹ Entidad que ha promovido desde sus inicios este modelo de certificación en particular en el país.

¹² La versión Beta puede consultarse en <https://www.cccs.org.co/wp/download/referencial-casa-colombia/?wpdmd-l=4766&refresh=5de28f387bf7b1575128888>.

de Construcción, 2019). Al día de hoy, Camacol reporta, en su página web, cuatro proyectos certificados, 33 proyectos con certificación preliminar y 85 proyectos en proceso de certificación¹³.

Revisión de la literatura académica

Llegados a este punto, se hizo necesario revisar el estado actual de la literatura académica internacional en términos de certificaciones y sus indicadores asociados, y a partir de la información, identificar los programas que despertan mayor interés académico (junto con sus indicadores), en los que actualmente se concentran los esfuerzos para su desarrollo. Así, la tabla 1, recoge la información principal al respecto, revisada en SCOPUS, que puede ser de gran interés para el lector. En el ejercicio de búsqueda se contemplaron las publicaciones de carácter investigativo, a nivel general, y también se hizo la revisión específica de los siguientes sistemas de certificación: LEED, BREEAM, Green Globes Certification, CASBEE, HQE, IISBE, Net Zero Energy Building Certification (certificación que otorga el Living Building Challenge Institute).

Tabla 1. Revisión en base de datos científica SCOPUS 2019

Sistema de Certificación	Documentos	Autores relevantes	País de origen	Años de mayor publicación	Áreas de aplicación
NET ZERO ENERGY	3893	Andreas Athienitis Shady Attia	Estados Unidos Canadá	2016-2019	Ingeniería Energía
GREEN STAR	2244	Scott M Ransom Fernando Camilo	Estados Unidos Alemania	2016-2020	Astronomía y Física Tierra y Ciencias Planetarias
LEED	1050	Svetlana Pushkar Mounir El Amar	Estados Unidos Canadá	2016-2019	Ingeniería Ciencias Ambientales

13 Para mayor información, ver en <https://camacol.co/edge>.

BREEAM	410	Yacine Rezgui Tala Kasim	Reino Unido Estados Unidos	2016-2019	Ingeniería Ciencias Ambientales
WELL	347	Walaa S. E Ismaeel Farzad Jalaei	Estados Unidos China	2016-2020	Ingeniería Ciencias Ambientales
EDGE	176	Wolfgang Gerstaecker Robert Schober	Alemania Estados Unidos	2015-2019	Ingeniería Ciencia de la Computación
CASBEE	139	Toshihaura Ikaga Shuzo Murakami	Japón China	2016 - 2019	Ingeniería Ciencias Ambientales
HQE	116	Seiichi Yamamoto Alexander Lenz	Estados Unidos Francia	2015 - 2019	Astronomía y Física Ingeniería
DGNB	78	Anna Braune Natalie C. Ebig	Alemania Dinamarca	2015 - 2019	Ingeniería Ciencias Ambientales
PASSIVE HOUSE	47	Erwin Mlecnik Niels Haldor Bertelsen	Estados Unidos Bélgica	2015 - 2019	Energía Ingeniería
GREEN GLOBES CERTIFICATION	29	Wayne Trusty Robert Aalberts	Estados Unidos India	2014 - 2019	Ingeniería Ciencias Ambientales
BCA GREEN MARK	18	Pao Hsiung Chiu Ruixin Li	Singapur Estados Unidos	2014 - 2019	Ingeniería Ciencias Ambientales
IISBE	17	Martin Vonka Silva Gior-dano	Italia República Checa	2012 - 2018	Ingeniería Ciencias Ambientales

Fuente: Elaboración de los autores, 2019.

La certificación Net Zero Energy es la que más se menciona en las publicaciones científicas de los últimos años, en su mayoría originadas en países como Estados Unidos, Canadá, China, Reino Unido y Alemania. Es uno de los llamados sistemas de certificación de 3ra generación. El sistema de certificación Green Star, de origen australiano, es el segundo en orden de publicación. Éste se fundamentó en un inicio como sello certificador de marcas para el diseño y, posteriormente, como certificador de la construcción y las operaciones de edificios, instalaciones y comunidades sostenibles (Doan, *et al.*, 2019).

La tercera es del sistema de certificación LEED y es mencionada en países como Estados Unidos, Canadá, China, Reino Unido y Australia. El estándar LEED, uno de los más reconocidos en todo el mundo, exige que los proyectos de construcción (que tienen aplicación en una amplia gama de tipologías de proyectos) sean diseñados, construidos y operados de acuerdo a sus lineamientos.

Las estrategias que se plantean allí proponen un uso eficiente de recursos como la energía, el agua y el suelo, así como de los materiales de construcción en general, que, mediante una gestión adecuada a lo largo del ciclo de vida del edificio, procure una reducción de las emisiones de carbono y de dinero. Algunos autores afirman que esta certificación contribuye con ambientes saludables para el uso de los residentes, trabajadores y toda la comunidad en general (Fontana, 2019). En general, todas las publicaciones son recogidas en revistas orientadas a la ingeniería, las ciencias ambientales y las ciencias sociales y Estados Unidos es el país donde se origina la mayor parte de las publicaciones de programas de certificación, salvo los de DGNB e IISBE.

En términos de indicadores, se llevó a cabo la revisión de palabras claves tales como: *transporte, responsabilidad social, economía, salud, eficiencia energética, eficiencia de agua, calidad del aire, materiales, trabajo colaborativo, residuos y confort*, a lo largo de todos los documentos, mediante un software de minería de datos. De los artículos clasificados en las cuatro primeras certificaciones identificadas en la tabla 1, se obtuvieron los siguientes resultados (Figura 3):

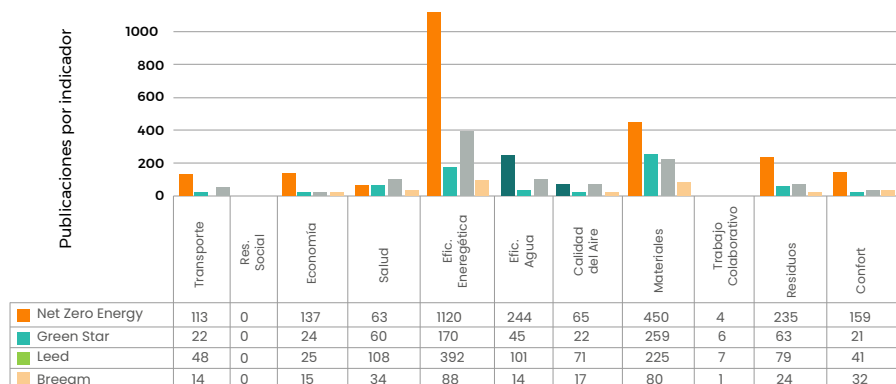


Figura 3. Indicadores de sostenibilidad más representativos con relación a las publicaciones de los Sistemas de Certificación de Construcción Sostenible

Fuente: Elaboración de los autores, 2019.

Los resultados mostraron que los indicadores más mencionados en todos los programas de certificación son los que hacen referencia a eficiencia energética —revisiones académicas a este respecto pueden ser consultadas (Conferences, 2019)—, así como los que se refieren a materiales y eficiencia en el agua. Además, existe una estrecha relación entre el programa Net Zero Energy y las temáticas relacionadas con energía, seguidas de las de los materiales, el agua, los residuos (Filho, et al., 2016) y, ya en menor escala, el confort, la economía y el transporte.

Autores como Piasecki (2019) analizan la relación de estos indicadores con la metodología en cuestión. A pesar de que la certificación LEED no define un indicador denominado “salud”, es justo el programa que más relaciona este término en las publicaciones encontradas, lo cual puede ser consecuencia de su filosofía de respeto por la calidad de la salud de los seres humanos (Houghton y Castillo-Salgado, 2019), incluso más que la proporción del término citado en las publicaciones relacionadas con el programa de certificación WELL, cuyo origen se fundamenta en la salud de los ocupantes¹⁴. Finalmente, la responsabilidad social, el trabajo colaborativo y la calidad de aire, son los indicadores menos mencionados en todas las publicaciones.

14 Para más información, ver en <https://standard.wellcertified.com/well>.

Revisión de los indicadores de sostenibilidad en las certificaciones en Colombia

Ahora bien, para identificar los vacíos, en términos de indicadores de sostenibilidad en Colombia, se hizo una revisión de los resultados de las certificaciones LEED obtenidas a lo largo de la historia en la ciudad de Bogotá (y sus alrededores), ciudad que ostenta el 67 % de las certificaciones LEED del país¹⁵. Para hacer esta revisión, se utilizó la base de datos del USGBC¹⁶, en la que se pueden consultar en línea los resultados de cada una de las certificaciones obtenidas, de acuerdo con cada capítulo o indicador asociado. A partir de esto, se hizo una tabulación según las tipologías de certificación otorgadas, ya que el estándar modifica la métrica de valoración de cada capítulo, según la versión y según la tipología de la certificación¹⁷.

La tabla 2 recoge la nomenclatura de proyectos LEED de los edificios que se certificaron en Colombia.

TIPOLOGÍAS DE EDIFICIOS LEED CERTIFICADOS EN COLOMBIA	
NC:	New Construction
	Retail v3
CS:	Core and Shell v2 - LEED 2.0
CI:	Commercial Interiors v2 - LEED 2.0
	Commercial Interiors v2 - LEED 2009
	Retail v3
HC:	Healthcare v3
OM:	Operationd and Maintainance v3 EB-Existing Buildings
	Operationd and Maintainance v4 EB-Existing Buildings

Fuente: Elaboración de los autores, 2019.

15 Considerando que esta es la certificación que lidera el mercado en Colombia, también se estimó conveniente revisar sólo la ciudad de Bogotá y sus alrededores, pues representa una muestra significativa en la cual los parámetros de comparación de clima y logística son en general similares.

16 Para mayor información, ver en <https://www.usgbc.org/projects>.

17 Es el caso de la categoría "Interiores comerciales" (*Commercial Interiors*), en la que el capítulo de Sitio Sostenible no se consideró dentro del estándar.

La tabla 3 enseña los resultados que, por capítulos, se obtuvieron de acuerdo a las tipologías de los proyectos. El 49% de los edificios certificados consultados se clasifican bajo la categoría de “núcleo y envolvente” (*Core and Shell*)¹⁸, certificación que está orientada a los edificios en los cuales se controla el diseño y construcción de todo el edificio en lo que respecta a la envolvente y al núcleo (p. ej., sistemas mecánicos, eléctricos, de plomería y de protección contra incendios), pero no tiene control sobre el diseño y la construcción del equipamiento del inquilino. Ejemplos de estos edificios: centros comerciales, oficinas y consultorios médicos. En esta revisión no se consideró el capítulo de prioridad regional y de transporte¹⁹.

Tabla 3. Descripción de los resultados de los capítulos LEED según la tipología de proyecto, en 101 edificios certificados en Colombia

Tipología de proyecto	núm. Proyectos	Energía y atmósfera	Materiales y Recursos	Calidad del aire interior	Sitios sostenibles	Eficiencia en agua	Innovación en Diseño
LEED CS 2.0	1	43%	27%	25%	60%	100%	80%
LEED NC 2.2	4	57%	43%	48%	72%	90%	95%
LEED CI 2.0	2	29%	36%	67%	33%	40%	70%
LEED CS 3.0	49	49%	42%	33%	81%	88%	76%
LEED NC 3.0	15	41%	32%	35%	70%	91%	71%
LEED CI 3.0	12	66%	30%	34%	90%	83%	71%

18 LEED para *Core & Shell* se desarrolló para servir al mercado de desarrollo especulativo, en el cual los equipos de construcción no controlan todos los ámbitos del diseño y construcción de todo un edificio. Para mayor información, ver en https://www.usgbc.org/sites/default/files/LEED%202009%20RS_CS_07.01.16_clean.pdf.

19 El capítulo de prioridad regional es un capítulo que acoge algunas características de orden regional que, según el proyecto y la manera en que se justifique, puede optar por algunos créditos adicionales. El capítulo de transporte se anexó al estándar a partir de la versión 4.0, con lo cual no aporta información de análisis y comparación suficiente, ya que a la fecha sólo existen seis (6) proyectos certificados bajo esta versión.

LEED O+M 3.0 EB	1	43%	27%	25%	60%	100%	80%
LEED HC 3.0	2	26%	31%	39%	75%	72%	83%
LEED CI 3.0 Retail	7	44%	17%	36%	71%	68%	38%
LEED NC 3.0 Retail	1	31%	43%	33%	77%	100%	100%
LEED NC 4.0	1	48%	15%	19%	50%	82%	67%
LEED CI 4.0	4	76%	21%	16%	0%	33%	75%
LEED O+M 4.0 EB	2	70%	56%	32%	20%	54%	42%

Fuente: Elaboración de los autores, 2019.

La figura 4 muestra los resultados promedio de los capítulos. En materia de indicadores asociados a la eficiencia del agua, el porcentaje de cumplimiento frente al total es del 84%, mientras que, en materia de indicadores asociados a calidad del aire interior y materiales, es de 33% y 36%, siendo estos últimos los más bajos.

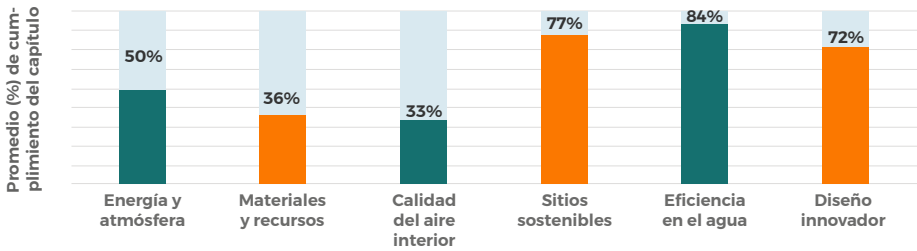


Figura 4. Resultados promedio del cumplimiento de los capítulos LEED en 101 proyectos certificados en Colombia

Fuente: Elaboración de los autores, 2019.

Legislación colombiana asociada a la construcción sostenible

La Figura 5 recoge los decretos y leyes nacionales que tienen una relación directa con la construcción sostenible así como los ejes temáticos asociados.

En el Departamento Nacional de Planeación existen tres documentos del Consejo Nacional de Política Económica y Social (3919, 3874 y 3943), en los cuales se establecen sus objetivos generales.

- CONPES 3919. “Estrategia Institucional para la Articulación de Políticas y Acciones en Materia de Cambio Climático en Colombia”.
- CONPES 3874. Cuyo objetivo general es “implementar la gestión integral de residuos sólidos como política nacional de interés social, económico, ambiental y sanitario, para contribuir al fomento de la economía circular, desarrollo sostenible, adaptación y mitigación al cambio climático”. En este sentido, la Resolución 013 del UARMV, establece la disposición de RCD a partir de asfaltos reciclados, a fin de garantizar el cumplimiento de especificaciones técnicas, para las entidades que así lo requieran.
- CONPES 3943. Cuyo objetivo general es “reducir la concentración de contaminantes en el aire que afectan la salud y el ambiente”. En este sentido, la Ley 1964 de 2019 promueve el uso de los vehículos eléctricos en el país.

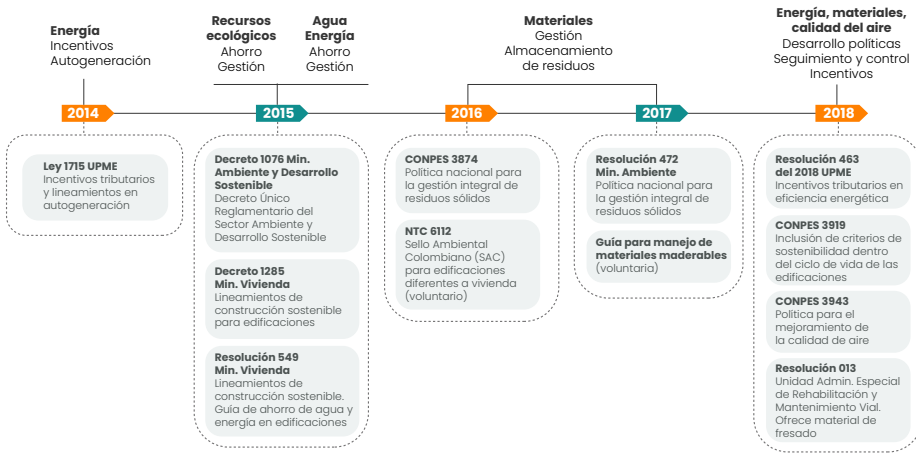


Figura 5. Leyes y normas aplicables a la construcción sostenible.

Fuente: Elaboración de los autores, 2019.

Con relación a la normatividad para la construcción sostenible en Colombia, desarrollada por el Ministerio de Medio Ambiente y de Vivienda, se tienen los siguientes documentos:

Decreto de 1285. “El cual determina algunos lineamientos para que se dicten algunas normas técnicas concernientes a la construcción sostenible, particularmente con las políticas de ahorro de agua y energía en las edificaciones”²⁰, abordadas directamente por la Resolución de 0472 y la Resolución 549.

Resolución 0472. Artículo 1.

Las disposiciones para la gestión integral de Residuos de Construcción y Demolición - RCD y aplica a todas las personas naturales y jurídicas que generen, recolecten, transporten, almacenen, aprovechen y dispongan Residuos de Construcción y Demolición - RCD de las obras civiles o de otras actividades conexas en el territorio nacional²¹.

20 Para consultar este decreto, ver en <http://wp.presidencia.gov.co/sitios/normativa/decretos/2015/Decretos2015/DECRETO%201285%20DEL%2012%20DE%20JUNIO%20DE%202015.pdf>.

21 Ver la Resolución en <http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/3a-RESOLUCION-472-DE-2017.pdf>.

Resolución 549, Artículo 1. “Los porcentajes mínimos y medidas de ahorro de agua y energía a alcanzar en las nuevas edificaciones y adoptar la guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones” ²².

La Ley 1076 de 2015. Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en el que se establece como objetivo

la gestión del ambiente y de los recursos naturales renovables, encargado de orientar y regular el ordenamiento ambiental del territorio y de definir las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables y del ambiente de la Nación, a fin de asegurar el desarrollo sostenible, sin perjuicio de las funciones asignadas a otros sectores.

La Ley recoge, entre otras cosas, los procesos que deben seguirse para solicitar la licencia ambiental y todos los permisos asociados, debidos a la intervención del medio ambiente por parte de proyectos de infraestructura, así como el aprovechamiento de cualquiera de los recursos ecológicos debidos al proyecto. La Ley determina algunas estrategias de prevención, mitigación, compensación, o corrección de los impactos y efectos ambientales debidamente identificados, que se causen por el desarrollo de un proyecto, obra o actividad. Incluye los planes de seguimiento, monitoreo, contingencia y abandono, según sea la naturaleza del proyecto. No estipula el procedimiento que debe seguirse ni las estrategias que hay que utilizar, pero responsabiliza al solicitante frente al cumplimiento de sus propias estrategias (Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

Por intermedio de la Unidad de Planeación Minero Energética se cuenta con la Ley 1715 y la Resolución 463 de 2018, descritas a continuación:

Ley 1715 de 2014. Artículo 2.

La finalidad de la ley es establecer el marco legal y los instrumentos para la promoción del aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, lo mismo que para el fomento de la inversión, investigación y desarrollo de tecnologías limpias para producción de energía, la eficiencia energética y la respuesta de la demanda, en el marco de la política energética nacional. Igualmente, tiene por objeto establecer líneas de acción para el cumplimiento de compromisos asumidos por Colombia en materia de energías renovables, gestión eficiente de la energía y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, tales como aquellos adquiridos a través de la aprobación del estatuto de la Agencia Internacional de Energías Renovables (Irena) mediante la Ley 1665 de 2013.

Recoge, entre otras cosas, los incentivos y beneficios tributarios para los proyectos que se desarrollan bajo indicadores sostenibles²³.

Resolución 463 de 2018. Artículo 1.

El procedimiento a través del cual la UPME evaluará y emitirá concepto técnico sobre las solicitudes que sean presentadas por los interesados en ejecutar proyectos de eficiencia energética, o gestión eficiente de la energía, con el objeto de: i) determinar si los proyectos evaluados se enmarcan dentro de las acciones y medidas sectoriales contenidas en las Resoluciones MME-MADS-MHCP 1988 de 2017 y MME-MADS-MHCP 0367 de 2018; y ii) cuantificar su contribución a las metas de eficiencia energética del Plan de Acción Indicativo (PAI), 2017-2022.

Finalmente se tiene la Norma Técnica Colombiana, NTC 6112, que no es de carácter obligatorio y “se enmarca en la implementación del esquema del Sello Ambiental Colombiano, cuya reglamentación de uso se estableció mediante la Resolución 1555 de octubre de 2005 de los Ministerios de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y de Comercio, Industria y Turismo”. Lo que pretende

23 Ver en http://www1.upme.gov.co/Documents/Cartilla_IGE_Incentivos_Tributarios_Ley1715.pdf.

la norma es que, con base en los principios fundamentales de la NTC-ISO de Etiquetas y declaraciones ambientales, se puedan establecer los principios y procedimientos que tiene un enfoque integral de producto.

Cabe resaltar que la norma está adaptada a los condicionamientos locales y lo describe así:

Dada la complejidad y las limitaciones que se presentan a escala nacional para la formulación de un análisis completo del ciclo de vida del producto se ha empleado un enfoque a criterios ambientales múltiples, obtenidos a partir del análisis y la evaluación de los impactos que genera el producto y su relación con los principios generales de sostenibilidad²⁴.

La norma tiene como objeto permitir que el sector de la construcción responda a requisitos ambientales y demuestre que sus productos cumplen integralmente las exigencias de los mercados verdes.

Identificación de vacíos

En materia de indicadores en Colombia, algunos son más desarrollados en función de la normativa y puesta en marcha de proyectos de edificación, como lo son: eficiencia en agua y eficiencia en energía. En materia de calidad de aire, no se encuentran lineamientos reglamentados que garanticen este aspecto en entornos cerrados, ni en lo que concierne al confort térmico, acústico, visual y, por ende, a la salud. Incluso, en las certificaciones que se han otorgado, es el indicador por el cual, al día de hoy, se apuesta menos.

La inclusión de éstos en la normativa podría ser un factor importante de bienestar. En cuanto a los materiales, se evidencian iniciativas orientadas a generar herramientas que permitan abordar los parámetros de sostenibilidad exigibles en las certificaciones, sin embargo, existe un alto desconocimiento de

ellas por parte de la industria de los materiales; esto se debe en cierto modo a que son estrategias de carácter voluntario. Se hace evidente la necesidad de crear normas e incentivos financieros para la industria de los materiales de construcción, mediante los cuales se fortalezcan las prácticas de reducción, reutilización y reciclaje, así como el desarrollo de Declaraciones Ambientales de Productos, que están orientadas al conocimiento y la cuantificación de todos los impactos asociados al producto a lo largo de su ciclo de vida. Además, es necesaria una penalización al empleo de algunos contaminantes altamente peligrosos (arsénico, plomo, cromo, entre otros), ya que es bien sabido que, aun cuando se reglamenten los parámetros de sostenibilidad, si no existe un componente económico (incentivo, penalidad), éstos no se cumplen rigurosamente en la práctica. En términos de infraestructura, el sector vial ha liderado el proceso de reciclaje y reutilización de material (RCD), una práctica bastante aplicada en el mundo.

Los indicadores de carácter ambiental o que hacen referencia al cambio climático son ampliamente planteados en las Certificaciones. Sin embargo, las normativas colombianas de construcción de edificaciones no recogen estos parámetros de manera explícita en lo que respecta a la práctica (mitigación de impactos, compensación y reducción). En el área de infraestructura, estos parámetros ambientales se estipulan de manera clara y estructurada en el Decreto 1076 y las estrategias referentes a las prácticas sostenibles durante el proceso de construcción se dejan a libertad del candidato a la licencia, en un apartado titulado “Plan de Manejo Ambiental”.

Además, se identifica la necesidad de implementar parámetros de obligado cumplimiento, asociados al indicador de sitios sostenibles, que podrían plantearse dentro de la regulación de Ordenamiento Territorial, Ley 388 de 1997, y orientarse a la reducción de islas de calor, la cobertura vegetal mínima requerida y el manejo de aguas superficiales mediante el uso de materiales permeables, entre otros, en el desarrollo de entornos urbanos. Un indicador que parece necesario en los códigos locales es el de transporte eficiente, parámetro ampliamente abordado en muchos de los sistemas de certificación. En términos de incentivos, se detecta la necesidad de incrementar el establecido por esta ley, ya que el costo de la tecnología sigue siendo muy alto y no siempre se compensa la

inversión (Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, 2019).

En materia de normatividad, sería interesante contar con un código único que centralice la información necesaria para el diseño, la construcción y la operación de las edificaciones, así como, de las herramientas de medición y control; todo ello, de obligado cumplimiento y para todos los contextos sociales (participativo e inclusivo). Así mismo, convendría desarrollar normativas propias para el uso de metodologías como BIM, ACV y bases de datos locales, necesarias en las bibliotecas de las herramientas de medición y simulación; todo en articulación con las normativas de construcción regionales y su Plan de Ordenamiento Territorial respectivo.

En cuanto a los sistemas de certificación, se reconoce el programa LEED como el más implementado en Colombia. Sin embargo, en palabras de Jerry Yudelson, en su libro *Reinventing Green Building* (2016), “la certificación de edificios ecológicos debe costar mucho menos de lo que cuesta hoy, y la certificación debe realizarse mucho más rápido”. No hay manera de aumentar la aceptación del mercado sin una renovación radical de todo el proceso que comience por el costo y el tiempo de revisión. Un sistema que requiere consultores especializados y servicios profesionales de muy alto nivel para documentar los resultados simplemente no funcionará para el amplio mercado, ya que no les proporciona un valor real a los propietarios de edificios, quienes, después de todo, deben suscribir el proceso.

Un beneficio paralelo podría ser que los edificios certificados como construcción sostenible fuesen una fuente de emisión de bonos de carbono²⁵, siempre y cuando el costo del proceso de emisión de los bonos sea compensado con la cantidad demostrada de toneladas de GEI que se puedan dejar de emitir. Dado que la transacción es bastante costosa en Colombia (y en muchos países en general), para que este mercado sea rentable en la construcción es necesario que la edificación cuente con un “superávit” en el balance energético y en

25 El Mercado de Carbono corresponde al sistema de comercialización de reducciones de emisiones. Este mercado representa el proceso mediante el cual los Gobiernos, empresas o instituciones pueden comprar y vender reducciones de GEI o lo que en la práctica se conoce como bonos de carbono.

la gestión del recurso hídrico, así como en la mitigación de un sinnúmero de impactos ambientales ocasionados por ella (recuperación de suelos degradados, descontaminación del aire, reutilización de residuos, entre otros). En este sentido, si bien las certificaciones pueden garantizar parte de estos ahorros, no es sencillo demostrarlo en términos de “toneladas de GEI”. Se debe recordar que, en la práctica, estos cálculos no son un resultado exigible en los procesos de certificación de construcción sostenible, y esto se debe en parte a que no existe una única metodología que permita medir las emisiones de GEI ahorradas en todas las áreas, o que se pueda establecer una línea base de comparación que sea del todo aceptada por el ente que emite el bono de carbono.

Otras actuaciones

En el campo académico, se requiere un mayor impulso para que haya una formación técnica, orientada a las herramientas que abordan la sostenibilidad en el ciclo de vida de edificios e infraestructuras —tales como BIM, *softwares* de modelación, herramientas de ACV, entre otras—, que involucre un trabajo colaborativo, interdisciplinario y ordenado, que a su vez genere un cambio en el paradigma tradicional de elaboración de los proyectos.

También se identifica que es necesario desarrollar una infraestructura institucional pública más robusta y de fácil acceso, para medir, gestionar y reportar todos los parámetros atmosféricos, de tal manera que se garantice la fiabilidad de la información (inventarios, clasificación de climas y microclimas, registros meteorológicos de variables necesarias en diseño, entre otros).

A nivel de ciudad, se detecta la necesidad de un desarrollo de infraestructura (transporte, manejo de aguas residuales, manejo de residuos y planificación de ciudades en general) que complemente la dinámica sostenible generada en las unidades edificatorias; sin esto es imposible obtener resultados efectivos de las políticas, los sistemas de certificación o las regulaciones de construcción de edificios.

Finalmente, es necesaria la educación ciudadana orientada hacia la gestión eficiente de los recursos y el manejo adecuado de las edificaciones. La información debe ser abierta y clara, de manera que le permita al consumidor

tener un poder de decisión orientado en este sentido (elaboración de sellos ecológicos y otros programas que impulsen la práctica).

Conclusiones

Las Certificaciones de Construcción Sostenible son las herramientas que han mostrado una ruta clara en el marco del desarrollo de ciudades sostenibles. Cada modelo enseña diferentes aspectos que con el tiempo se han estudiado y verificado. Dado su carácter particular y teniendo en cuenta la rentabilidad que cada una de ellas genera, se ha podido avanzar en el estudio científico y el desarrollo metodológico de la parametrización, medición, ponderación y evaluación de cada uno de sus indicadores. Sin embargo, con vista al futuro, no parece muy acertado que se tenga que optar por una de estas certificaciones para garantizar una construcción sostenible.

Una posible ruta para la consecución de las metas establecidas en el marco del desarrollo de ciudades sostenibles en Colombia podría incluir las siguientes iniciativas:

- El desarrollo de un código único que centralice la información necesaria para el diseño, la construcción y la operación de las edificaciones, así como sus herramientas de medición y control.
- La actualización de la Ley 388 de Ordenamiento Territorial, de tal manera que se exijan parámetros relacionados con el desarrollo urbano sostenible.
- La creación de normas e incentivos financieros a la industria de los materiales de construcción (fabricantes en particular), que permitan fortalecer las prácticas de reducción, reutilización y reciclaje.
- El desarrollo de Declaraciones Ambientales de Productos, además de la penalización al uso de materiales altamente contaminantes, dado que en el último año se desarrollaron interesantes herramientas para medir el ciclo de vida, tanto de los productos como de las edificaciones, que hacen un poco más objetivo el cumplimiento de indicadores en la elección de sistemas de construcción y los materiales empleados.

- El control y mantenimiento de la infraestructura institucional existente que se requiere para obtener la información atmosférica necesaria en las prácticas relacionadas con la construcción sostenible.
- La creación de estrategias que garanticen el desarrollo de infraestructura urbana orientada a la sostenibilidad (en términos de redes de acueducto y alcantarillado, gestión de la energía, gestión de los residuos, entre otras).
- La transformación de los programas educativos disciplinares asociados, para que se incluya la formación técnica en cada uno de los componentes planteados para la construcción sostenible, así como de las metodologías de trabajo colaborativo y multidisciplinar.
- La creación de programas sociales pedagógicos para la gestión y operación de las infraestructuras y, en general, para la concienciación del medio ambiente.

En términos de indicadores, se observó que estos incluyen:

- La eficiencia en el uso del recurso de agua y el manejo del suelo, indicadores que han sido ampliamente abordados en las certificaciones de construcción otorgadas hasta hoy. Esto coincide con las normativas asociadas que se encuentran vigentes, lo cual facilita la consecución de los resultados.
- Los indicadores relacionados con la eficiencia energética han tenido en los últimos años un gran impulso en términos de normatividad y comienzan a ser relevantes en los resultados de las certificaciones de construcción sostenible que se están otorgando.
- Indicadores relacionados con el confort, la calidad del aire interior, la salud, y los parámetros ecológicos, que deberían ser abordados explícitamente en los códigos de construcción nacional.
- El uso de indicadores cuyo nombre transmita un significado que no es indiferente, como cambio climático, belleza, bienestar o salud, contribuye a la sensibilización de la población frente a la problemática y la manera de abordarlos. Aún no se han certificado proyectos relacionados con barrios, ciudades o infraestructuras en Colombia.

Por otra parte, la evolución del sector de la construcción se impulsa mediante la implementación de normas obligatorias y estímulos. La mayoría de las iniciativas tenderán a hacer un mínimo esfuerzo en su cumplimiento, pero siempre habrá proyectos que quieren destacarse y buscan ir más allá. En este segundo caso, los incentivos juegan un papel importante, con beneficios como la mejora de la reputación tanto de las empresas involucradas en un proyecto como la del cliente final.

En Colombia la Resolución 549 no tiene una instancia para que los proyectos demuestren su cumplimiento, así, se convierte en un acto de fe y un riesgo a futuro para los mismos desarrolladores de proyectos.

Referencias

Agencia Internacional de Energía en el marco de la 24.^a Conferencia de las Partes de la Convención sobre el Cambio Climático. <https://www.worldgbrc.org/news-media/2018-global-status-report-towards-zero-emission-efficient-and-resilient-buildings-and>

Bertrand, G. (2018). *On world histories of France and Italy and some other editorial initiatives in history – Sulle storie “mondiali” della Francia e dell’Italia e qualche altra iniziativa storica*. Revisión, Memoria e Ricerca, Italia: Società Editrice il Mulino, 511-516.

Cámara Colombiana de la Construcción. (2019). *EDGE, la transformación hacia la construcción sostenible en Colombia*. 20 11 2019. <https://camacol.co/comunicados/edge-la-transformación-hacia-la-construcción-sostenible-en-colombia>

Cámara de Construcción de Colombia, CAMACOL. (2017) *EDGE, la transformación hacia la construcción sostenible en Colombia*. <https://camacol.co/comunicados/edge-la-transformación-hacia-la-construcción-sostenible-en-colombia>

Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible. (2012). Rio+20. *Naciones Unidas*. https://rio20.un.org/sites/rio20.un.org/files/a-conf.216-l-1_spanish.pdf

Consejo Colombiano de Construcción Sostenible. (2019). Alianzas y programas estratégicos. *Integra*, 3, 46.

Consejo Colombiano de Construcción Sostenible. (2019). Por una movilidad sostenible. *Integra*, 4, 24-28.

Consejo Colombiano de Construcción Sostenible. (2019) Sistemas de Certificación. LEED en Colombia. Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (Ed.). *Integra*, 3.

- Departamento Nacional de Planeación, DNP. (2019, 22 de julio) Colombia, ejemplo de apropiación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. *Portal web DNP*. <https://www.dnp.gov.co/Paginas/Colombia-ejemplo-de-apropiacion-de-los-Objetivos-de-Desarrollo-Sostenible.aspx>
- Departamento Nacional de Planeación, DNP. (2019). La agenda 2030 en Colombia. *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://www.ods.gov.co/es/data-explorer?state=%7B%22goal%22%3A%2211%22%2C%22indicator%22%3A%2211.6.3.P%22%2C%22dimension%22%3A%22COUNTRY%22%2C%22view%22%3A%22line%22%7D>
- Departamento Nacional de Planeación. (2019). Objetivo 11: Ciudades y comunidades sostenibles. *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://www.ods.gov.co/es/objetivos/ciudades-y-comunidades-sostenibles>
- Doan, D. T., Ghaffarian Hoseini, A., Naismith, N., Ghaffarian Hoseini, A., Zhang, T. y Tookey, E. (2019, 15 de noviembre). Examining Green Star certification uptake and its relationship with Building Information Modelling (BIM) adoption in New Zealand. *Journal of Environmental Management*, 250, 109508.
- E3S Web of Conferences. (2019). *Innovation and certification as the basis for the development of energy-efficient construction. International Science Conference on Business Technologies for Sustainable Urban Development*, SPbWOSCE. EDP Sciences.
- Ebert, T., Essig, N. y Hauser, G. (2011). *Green building certification systems*. Institut für internationale Architektur-Dokumentation.
- Fontana, E. (2019). Pioneering environmental innovation in developing countries: The case of executives' adoption of Leadership in Energy and Environmental Design. *Journal of Cleaner Production* (Elsevier Ltd.), 236, 117675.
- Houghton, A. y Castillo-Salgado, C. (2019). Associations between green building design strategies and community health resilience to extreme heat events: A systematic review of the evidence. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(4), 633.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2017). IDEAM: Cambio Climático. http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023731/TCNCC_COLOMBIA_CMNUCC_2017_2.pdf
- International Organization for Standardization. (2006). ISO 14040:2006(es) *Gestión ambiental – Análisis del ciclo de vida*.
- Llobet, P., Sabater, P. y Rodríguez, N. (2012). Necesidades humanas: evolución del concepto según la perspectiva social. *Revista de Ciencias Sociales*, 54, 1-12.

- Ma, Z., Ren, H. y Lin, W. (2019). A review of heating, ventilation and air conditioning technologies and innovations used in solar-powered net zero energy Solar Decathlon houses. *Journal of Cleaner Production*, 240, 118158.
- Meadows, D. (1998). *Indicators and Information Systems for Sustainable Development*. The Sustainability Institute.
- Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015, 26 de mayo). Decreto Único Reglamentario 1076 de 2015. *Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible*.
- Morillón, D. y Ceballos Ochoa, F. J. (2015). *Metodología para la sustentabilidad energética de los edificios, Vivienda net zero energy*. Serie Investigación y Desarrollo. Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM.
- Paschoalin Filho, J. A., Lima Bezerra, P. R., Gonçalves J. de Oliveira, L. R. y de Faria, A. C. (2016). Management of civil construction waste in residential buildings in the municipality of São Paulo. *Revista de Gestão Social e Ambiental* (ANPAD - Associação Nacional de Pos-Graduação e Pesquisa em Administração), 11, 73-89.
- Piasecki, M. (2019). Practical implementation of the indoor environmental quality model for the assessment of nearly zero energy single-family building. *Buildings* (MDPI AG) 9(10), 214.
- Ramírez, A. (2002). La construcción sostenible. *Física y sociedad*, 13, 30-33.
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2018, 24 de marzo). IBOCA. <http://190.27.245.106/BLA/resoluciones/RESOLUCIONES%202018/0831.pdf> (accessed 10 27, 2019).
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2019, 14 de febrero) IBOCA". http://201.245.192.252:81/App_Files/Resolucion%20de%20declaratoria%20N%C2%B0%200298.pdf
- The Lancet. (2019). *Net zero by 2050 in the UK*. (vol. 393). Lancet Publishing Group.
- United Nations Environment Programme. (2018). 2018 *Global Status: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector*. International Energy Agency and the United Nations Environment Programme.
- U.S. Green Building Council. (2019). *USGBC-LEED Projects*. U.S. Green Building Council, Inc. <https://www.usgbc.org/projects/novartis-new-building-bogota>
- Yudelson, J. (2016). *Reinventing Green Building*. New Society Publishers.

Capítulo 6. Construcciones sostenibles en guadua para viviendas de un piso en zonas rurales

Juan Pablo Villate Díaz

Nelson Joman Vargas Ortiz

Fundación Universitaria Agraria de Colombia

La importancia de la guadua, como materia prima o producto de la construcción, se revela en sus propiedades físico-mecánicas, de sismorresistencia y durabilidad. Además de ser un material renovable, es un material de gran relevancia en la construcción de vivienda, puentes, canaletas, acueductos y en la elaboración de artesanías, utensilios de cocina e instrumentos musicales. No obstante, por ser un recurso renovable, posee características especiales; esta especie de plantas es un regulador de suma importancia de caudales, como también de la captura CO_2 , la conservación de suelos, la fauna y la flora asociada. En Colombia la guadua predomina en la zona cafetera y la Región Andina. Es relacionada con el campesino, quien lleva consigo una cultura de guadero desde su niñez y la ha transmitido a generaciones nuevas de empresarios, investigadores, constructores, ingenieros y artesanos, contando con el apoyo de las corporaciones autónomas regionales del país.

La política de desarrollo sostenible y el Consejo de Construcción de Colombia han creado técnicas de construcción que afectan lo menos posible al medio ambiente y que, a la vez, representan una alternativa frente a las técnicas de construcción anteriores, en lo que respecta a resistencia y costos (Martínez, 2007).

En concordancia con las temáticas sobre materiales no convencionales abordadas por la investigación, se identifica la articulación de la guadua con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), por su impacto positivo ante la degradación de los ecosistemas, la afectación de los suelos y, sobre todo, la construcción de viviendas sostenibles para comunidades vulnerables.

La guadua, como material no convencional constructivo, ofrece muchas ventajas tanto mecánicas como económicas y el método constructivo es muy sencillo. Por ello es fácil implementarla en zonas rurales donde el acceso y la geografía complican las construcciones de viviendas en materiales convencionales. También influye en el tema de los costos que conlleva construir una vivienda para el campesino; en consecuencia, las viviendas del sector rural se construyen sin técnica alguna o especificaciones de seguridad.

En el presente capítulo se describe el procedimiento de construcción en guadua de viviendas unifamiliares, para lo cual se detalla el proceso constructivo y se explican la importancia y las propiedades del material utilizado.

Marco teórico

Según el informe de Bermejo Gómez de Segura, se trata de satisfacer las necesidades de la actual generación sin sacrificar la capacidad de futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades. La sostenibilidad estudia y maneja varios niveles de tiempo y espacio en muchos contextos de organización: económico, cultural, social y ambiental. El informe abarca desde la sostenibilidad del planeta hasta la sostenibilidad de sectores económicos, países, municipios, barrios, casas individuales, entre otros (Bermejo Gómez de Segura, 1987).

Según Aurelio Ramírez, presidente del Consejo de la Construcción Verde España:

La Construcción Sostenible se puede definir como aquella que, teniendo especial respeto y compromiso con el medio ambiente, implica el uso eficiente de la energía y del agua, los recursos y materiales no perjudiciales para el medioambiente, resulta más saludable y se dirige hacia una reducción de los impactos ambientales. (Ramírez, 2002, p. 30)

El desarrollo urbano sostenible tiene el objetivo de crear un entorno urbano que no atente contra el medio ambiente y proporcione recursos urbanísticos suficientes. Resulta evidente que, con el actual ritmo de crecimiento demográfico y pese a la disminución de la tasa de crecimiento en los últimos años, continuamos creciendo, año tras año, a una velocidad que podría llegar a duplicar la población humana mundial antes de mediados del presente siglo; una situación en la que la actual utilización de los recursos naturales y del medio ambiente supone una disminución del potencial de dichos recursos para las generaciones futuras. Tan es así, que realmente lo que en estos momentos marca la diferencia es la calidad en la edificación, lo cual es clave para relanzar el mercado, mejorar las condiciones medioambientales y ahorrar recursos (Ramírez, 2013).

Según (Periago y Periago Carretero, 2009), los materiales que se consideran sostenibles serán “aquellos que en su elaboración y utilización se ahorre energía, eviten al máximo la contaminación, respeten la salud de los moradores en las viviendas que se empleen y deberán ser reciclables”. Se dará prioridad a la utilización de materiales de procedencia local y de bajo costo energético.

1. Naturales (poco elaborados).
2. Saludables (libres de toxicidad o radioactividad). Perdurables.
3. Reciclables, reutilizables o biodegradables.
4. Transpirables (permeables al vapor de agua y al aire).
5. Higroscópicos (capaces de absorber, retener y volver a evaporar la humedad ambiental).

Los materiales de construcción que se pueden emplear para la construcción de una casa sostenible o ecológica son los siguientes:

1. La madera, siempre que esté libre de tratamientos tóxicos y proceda de una gestión forestal sostenible.
2. El yeso natural y la cal, que son materiales con muchas aplicaciones y con excepcionales propiedades bióticas.

3. El barro cocido para ladrillos, tejas, bloques, losas, revestimientos, entre otros.
4. El bio-hormigón elaborado con cementos de categoría A1, por su bajo contenido en escorias, preferentemente blanco y arenas y gravas calcáreas.
5. La lana de roca para aislamiento.
6. El corcho aglomerado es un producto natural que tiene excelentes prestaciones como aislante térmico y acústico.
7. El cristal con múltiples propiedades y aplicaciones, la piedra, preferentemente la calcárea.
8. Las pinturas al silicato son pinturas minerales que se integran con el soporte y permiten la respiración de la vivienda.

La Guadua Angustifolia kunth es considerada una de las veinte mejores especies de bambú en el mundo. El botánico alemán Carl Sigismund Kunth describe la guadua, como un género segregado de la asiática, *Bambusa*. Kunth usó la palabra indígena “guadua”, que significa hoja estrecha, y fue el nombre dado a este bambú entre las comunidades indígenas de Colombia y Ecuador. La guadua es el bambú más importante de América y a menudo se compara con su contraparte asiática: el bambú *Moso* (*Phyllostachys edulis*).

Debido a que este material posee versatilidad, ligereza, flexibilidad, resistencia, dureza adaptabilidad climática y sismorresistencia, es de crecimiento rápido, fácil manejo y buena calidez visual, si se trata de manera correcta. El bambú guadua, en particular, tiene un rápido crecimiento y una productividad más alta, en comparación con la madera. Por lo general, el ciclo de crecimiento del bambú es un tercio de la de un “árbol de rápido crecimiento” y tiene el doble de la productividad por hectárea. Comparado con el roble, la guadua incluso produce hasta cuatro veces más madera. (Villada y Schröder, 2015).

La Guadua Angustifolia kunth, emerge de la tierra con un diámetro fijo, sin mostrar aumentos de diámetro con el tiempo, como sucede con los árboles. El diámetro máximo reportado para la *Guadua Angustifolia* es de 25 cm y el pro-

medio es de entre 9 y 13 centímetros. En el caso de la guadua, se ha observado que alcanza 21 cm de crecimiento diario en altura, de manera que alcanza su altura máxima (15-30 metros) en los primeros seis meses de crecimiento y se puede cosechar después de cuatro a cinco años, si se utiliza correctamente.

La guadua puede tener una producción ilimitada, una vez que se ha establecido, sin necesidad de prestarle demasiada atención. La composición ideal de cañas en un bosque de guadua se estima en 10% de brotes, 30% jóvenes y el 60% los maduros, con una densidad de 3.000 a 8.000 tallos por hectárea. Esto significa una productividad de 1.200-1.350 tallos por hectárea al año y una alternativa eficaz a la madera, para la producción de madera laminada y aglomerado (columnas, vigas, vigas, planchas, paneles) (Villada y Schröder, 2015).

En las investigaciones del documento de Fracica Naranjo (2011) se encontraron adelantos sobre las propiedades y las microestructuras de la guadua, en los que se puede resaltar que es un de obra varían según su sentido o plano considerado, presenta cambios en sus dimensiones debido a la expansión térmica y cambio de volumen a causa de la humedad.

Como se menciona en el documento de Villegas González (2005) sobre el aprovechamiento de la guadua, se pueden identificar los diferentes pasos de manipulación, como lo son el corte, los métodos de curado y de secado, los cuales se presentan a continuación. Alcanzada la edad óptima, que generalmente es entre los tres y cinco años, las guaduas están listas para su uso en la construcción. Una vez determinados los tallos maduros, se procede a cortar los entresacados, a una altura aproximada de 15 a 30 cm del suelo, por la parte inmediatamente superior al nudo, de manera que el agua no forme depósito y se pueda evitar que el rizoma se pudra.

El corte debe ser lo más limpio posible, para lo cual deben utilizarse machetes. El aprovechamiento de la guadua puede llegar al 100 %, ya que cada una de sus partes tiene un uso específico: en el caso del rizoma, es muy común encontrarlo en el sector de artesanías; la cepa y la base son las más utilizadas en la realización de estructuras; en el caso de la sobrecapa, ésta es más utilizada para estructuras cubiertas, muebles y artesanías; después tenemos el varillón, utilizado en artesanías, al igual que la copa; y su follaje también puede utilizar-

se en la manufactura artesanal.

- Curado en la mata

Una vez obtenidos los tallos cortados, se recuestan de manera vertical sobre los tallos no cortados, sin quitar las ramas ni las hojas; en esta posición deben permanecer de uno a dos meses, dependiendo de las condiciones del clima. Este sistema es el más recomendado porque así los tallos conservan su color natural, no se rajan y, además, no son atacados por los hongos.

- Curado por inmersión

Se dice que este sistema fue el más utilizado por los orientales durante muchos años a lo largo de su historia. Este método consiste en sumergir los tallos en agua por un tiempo mínimo de un mes.

- Curado por calentamiento

Este sistema consiste en colocar el tallo, después de cortado, sobre fuego abierto, rotándolo sin quemarlo. Con esto se logra eliminar cualquier insecto que tenga en su interior; por otra parte, endurece la pared exterior, lo cual hace que sea menos propicia al ataque de insectos. Este sistema también se emplea tanto para secar como para enderezar los tallos torcidos.

- Métodos de secado

Una vez cortadas las guaduas en la sepa, se recogen manualmente y se organizan en un lugar seco, en lo posible aislado de la humedad, bien sea del suelo o del agua de lluvia. También en este lugar se protegerán de los rayos del sol, para evitar el contacto con estos agentes atmosféricos y la pudrición.

Ante la necesidad de una reglamentación clara para los diferentes tipos de edificaciones en Colombia, durante las últimas décadas se viene desarrollando una regulación que conforma un compendio en el que se establecen los valores mínimos que debe cumplir una estructura habitable. Así mismo, se tienen normas y leyes complementarias como, por ejemplo, las normas para el aprovechamiento de la guadua; también existen normas para el ensayo y la caracterización de los materiales.

Actualmente en Colombia, la norma vigente NRS-10, creada por la Ley 400 de 1997, ha tenido una serie de modificaciones, como son las del Decreto 2525 del 13 de junio del 2010, el Decreto 092 del 17 de enero del 2011, el Decreto 340 del 13 de febrero del 2012, y el Decreto 945 del 5 de junio del 2017. Hoy día, la norma NRS-10 que está vigente es la edición naranja; en ella se pueden encontrar, en sus diferentes apartados, las indicaciones necesarias para las edificaciones en guadua, descritas a continuación.

El título G del capítulo 12 (tomo 4) contiene la información necesaria y los parámetros que se deben revisar para las edificaciones construidas en guadua, tales como deformaciones por flexión, efectos por fuerzas axiales, efectos por cortante. También se pueden encontrar los valores establecidos para los monos de elasticidad, los esfuerzos admisibles de flexión, tracción, compresión paralela, compresión perpendicular y esfuerzos de corte, los cuales se encuentran en la tabla G.12.7-1.

Como se mencionó para el uso del agua lluvia, en Colombia no sólo rige la norma NRS-10, sino que también se encuentra una serie de normas, leyes y resoluciones que complementan y regulan el uso de la guadua en el territorio nacional, las principales de éstas son:

Ley General forestal 1021 de 2006. En ella se establecen unas prácticas sanas para el aprovechamiento forestal en la nación. Esta ley busca el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales de la nación, en especial en lo que respecta a la parte forestal.

1. Norma ICONTEC NTC 5300. Dirigida principalmente a la regulación del manejo de bosques con presencia de guadua, caña brava y bambú, esta norma establece los niveles de aprovechamiento de estos bosques y cultivos.
2. Resolución 666 de 2008. Esta resolución tiene por objeto la regulación y unificación de los procedimientos para el aprovechamiento de la guadua en los departamentos de Caldas, Quindío, Risaralda, Tolima y Valle del Cauca.

3. Resolución 1150 de 2008. Esta resolución, expedida por CORTOLIMA, reglamenta el aprovechamiento sostenible de los cultivos de guadua, caña brava y bambú en las diferentes zonas productoras. En ella también se declara la guadua como especie forestal, lo cual le da mayores herramientas legales para la regulación de este tipo de cultivos.
4. Resolución 0439 de 2008. Expedida por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, es un compendio de documentos técnicos y material gráfico y didáctico, cuya finalidad es la protección y adecuado aprovechamiento de los cultivos de guadua, bambú y caña brava, así como también la protección de los recursos hídricos en la zona, dado que este tipo de cultivos es muy importante para las fuentes hídricas.

Diseños de vivienda en guadua

La vivienda en guadua propuesta da respuesta a las necesidades básicas de una familia de tres o cuatro integrantes. Para ello, la vivienda cuenta con una alcoba principal, una alcoba adicional, baño, cocina y la zona de sala y comedor. Para los servicios de ropas dentro de la vivienda se plantea una zona de lavandería que se encuentra fuera de la casa y que permite a los ocupantes extender la ropa en el exterior, facilitando así su secado.

Para la cimentación es recomendable realizar un estudio de suelos, de conformidad con los requisitos mínimos del título F de la NSR-10, para posteriormente realizar su diseño. El terreno tendrá una separación a 60 cm y será un entramado de esterilla sobre vigas de guadua; las guaduas se conectarán con varilla roscada de 3/8 de pulgada. Para la cubierta, se aconseja el uso de unas correas en guadua sobre las cuales se apoyará un cielo raso de esterilla y, sobre éste, una teja de lámina de zinc galvanizada. Para los muros, se plantea el uso de los muros tendinosos con malla electrosoldada, sacos de café y un mortero 1:3. Para la ventanería y las puertas se plantea también el uso de la guadua, con los recortes que se generaron al construir la estructura; de esta manera se reducen costos y se disminuye el desperdicio de material en la obra.

Diseño arquitectónico

Para el diseño de este prototipo de vivienda se deben estudiar las necesidades básicas de una familia pequeña y la manera de darles solución a todas ellas por medio de una edificación en guadua que sea sencilla de construir, en la que el transporte de material sea el mínimo posible y la vivienda cuente con un buen desarrollo arquitectónico y con una estructura que cumpla con los requerimientos establecidos en la NRS para Colombia.

En el diseño arquitectónico se adapta una vivienda rural unifamiliar, la cual contará con una habitación principal, una habitación secundaria, un baño, una zona de lavado, cocina y sala comedor. Para este diseño se consultó, como referencia para la distribución de espacios, el libro *Arte de proyectar en arquitectura*, del arquitecto Ernst Neufert (2013), como se muestra en la figura 1. De éste se tomó principalmente la distribución de unidades de baño y de distribución de cocina. Para el resto del diseño se usó como base la destrucción estructural, de tal manera que la construcción de la vivienda fuera lo más práctica, rápida y eficiente posible, dadas las condiciones en las cuales se proyecta su construcción. Esto se sometió a varias modificaciones a lo largo del diseño de la vivienda.

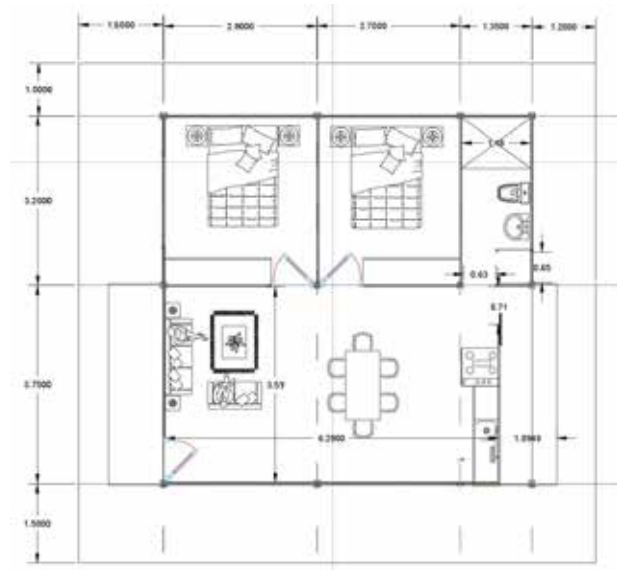


Figura 1. Planta arquitectónica

Fuente: Elaboración propia.

diseñar elementos en guadua, algunas recomendaciones para el desarrollo de conexiones y la manera en que se deben diseñar estos elementos, ya que éstos se diseñan por esfuerzos admisibles, como lo establece la norma.

El análisis tridimensional de la edificación se puede modelar en diferentes *softwares*, los cuales deben mostrar, en el modelo, sólo la estructura y no los elementos no estructurales, como muros divisorios y ventanas. Para este trabajo, el análisis se realizó en el programa RAM Elements, como se muestra en la figura 3. Se hace el modelado de la estructura y se especifican los materiales de acuerdo con la norma NRS-10, en el capítulo en que encontramos las tablas G.12.7-1 y G.12.7-2, y los valores permitidos por la norma. Para los valores de flexión y de cortante también se establecen los diámetros mínimos con los cuales se debe trabajar la guadua en la ejecución de estructuras.

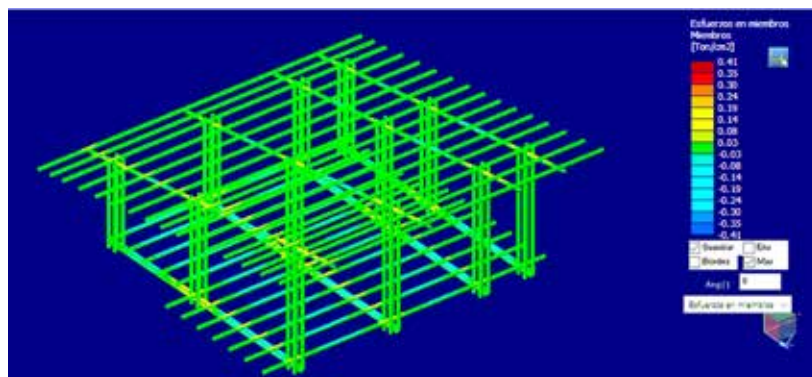


Figura 3. Esfuerzos permisibles de elementos

Fuente: Elaboración propia.

Construcciones de viviendas en guadua sostenibles

Con el respaldo de la Universidad Agraria de Colombia y el apoyo de la Vicerrectoría de investigación, se realizó la construcción de viviendas para poblaciones vulnerables en regiones rurales, como se muestra en la figura 4. El planteamiento y la construcción de este prototipo de vivienda rural en guadua busca dar una alternativa real y viable para la construcción de viviendas en las zonas alejadas de las cabeceras de los municipios y responder a la necesidad de una vivienda

digna que garantice, sobre todo, la seguridad de sus habitantes. Por medio de este tipo de proyectos se reducen costos y en especial los problemas logísticos a los cuales se enfrenta la población rural en el momento de construir una vivienda rural. Además, la guadua es un material renovable que tiene un rápido crecimiento y puede generar un valor social y un impacto ambiental positivo.



Figura 4. Fotografías de vivienda construida en Zetaquirá- Boyacá

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

La guadua como material de construcción, si se tienen las herramientas y equipos necesarios que faciliten su manejo, posee características especiales como la resistencia a la compresión y la flexión. Sus ventajas con respecto a la mano de obra, la accesibilidad y el tiempo de duración de una edificación hacen de ella un material más económico y factible de implementar en zonas rurales.

Las zonas rurales en Colombia se ven afectadas por las limitaciones relacionadas con la construcción de viviendas, ya que los terrenos y las zonas sísmicas que deben tenerse en cuenta no se estudian como tales, para lograr la adecuada implementación de una edificación económica y segura que cumpla con los parámetros mínimos de sismoresistencia. La guadua, al ser un material de fuente renovable, apunta a ejercer un impacto positivo sobre el medio ambiente, el cual, articulado con su adecuado acceso económico, hace que sea sostenible y sustentable.

Referencias

- Bermejo Gómez de Segura, R. (1987). *Del desarrollo sostenible según Brundtland a la sostenibilidad como biomimesis*. HEGOA.
- Fracica Naranjo, G., Matíz B., F. J., Hernández, G. y Mogollón, Y. (2011). Capital semilla para financiación de start ups con alto potencial de crecimiento en Colombia. *Revista Escuela de Administración de Negocios* (Artículos científicos), (71), 126-147.
- Martínez Q., R. (2007). *Indicadores ambientales y de desarrollo sostenible: avances y perspectivas para América Latina y el Caribe*. Naciones Unidas y CEPAL.
- Neufert, E. (2013). *Arte de proyectar en arquitectura* (16.ª ed., vol. 8). Editorial GG.
- Periago, C. y Periago Carretero, F. (2009). *Guía de materiales para una construcción sostenible*. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos de Murcia.
- Ramírez, A. (2002). La construcción sostenible. *Física y Sociedad*, (13), 30-33.
- Villada Castañeda, L. A. y Schröder, S. (2015). La Guadua. Una alternativa para la construcción de viviendas. Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD.
- Villegas González, F. (2005). *Comparación consumos de recursos energéticos en la construcción de vivienda social: guadua vs. concreto* [tesis de maestría inédita]. Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales.

Capítulo 7. Evaluación de una alternativa sostenible a los ladrillos convencionales mediante la medición de propiedades físico-mecánicas en ladrillos de arcilla fabricados con adición de residuos de eucalipto

Jhonatan Alexander Becerra Duitama

Diana Alejandra Rojas Avellaneda

María Paula González Rodríguez

El ladrillo han sido uno de los materiales más utilizados en la construcción de edificaciones. Los ladrillos de arcilla seca, o adobes, se usaron por primera vez alrededor del año 8000 a. C., mientras que los ladrillos de arcilla cocida se implementaron por primera vez alrededor del año 4500 a. C (L. Zhang, 2013). A pesar de su antigüedad, estos materiales han desempeñado un papel significativo en la industria de la construcción debido a su bajo costo de producción y a sus propiedades. Algunas características representativas son su resistencia a la compresión, a la corrosión, al congelamiento y al fuego, y su durabilidad (Campbell y Pryce, 2003; Sutcu, Ozturk, Yalamac y Gencel, 2016).

La aplicación principal de cualquier tipo de unidad de mampostería determina el diseño y el proceso de fabricación del mismo. Los ladrillos, desde el punto de vista de la ingeniería, se pueden dividir en unidades estructurales, no estructu-

rales, de uso exterior y de uso interior. Las unidades estructurales son las que se fabrican para soportar su propio peso y otras cargas horizontales y verticales. Por su parte, los ladrillos para mampostería no estructural se utilizan para muros divisorios y solo soportan su propio peso. Las unidades de mampostería de uso interior son implementadas en muros que no están expuestos a la intemperie o que tienen una capa de protección. Mientras que los ladrillos de uso exterior son aquellos que pueden estar expuestos a la intemperie (ICONTEC, 2008).

La materia prima para elaborar cualquier tipo de ladrillo cocido es la arcilla. La arcilla se clasifica como una roca sedimentaria clástica, originada por la acumulación mecánica de fragmentos de rocas y constituida, mayormente, por minerales de arcilla y cuarzo. Los minerales arcillosos son elementos cristalinos y se incluyen en el grupo de los filosilicatos debido a su forma foliada. Los cristales de estos minerales arcillosos tienen una estructura en capas, la cual les permite absorber agua y expandirse al hidratarse. Los minerales arcillosos más comunes son la caolinita, la montmorillonita, la illita, el talco y la pirofilita. Su composición química tiene como componentes principales el dióxido de silicio o sílice (SiO_2) y el dióxido de aluminio o alúmina (Al_2O_3). El mineral principal de la arcilla es la caolinita, sin embargo, se pueden encontrar otros compuestos tales como agua, arena, lutitas, margas, óxidos de hierro, silicatos complejos y tiza (Dondi, Raimondo y Zanelli, 2014; Fernández, 2019).

Los compuestos de la arcilla determinan su uso. El cuarzo reduce la retracción y la plasticidad, pero aumenta su refractariedad. La sílice, en forma coloidal, aumenta la plasticidad. La alúmina mejora las propiedades refractarias. El óxido de hierro (Fe_3O_4) reduce el punto de fusión y da el color rojo a los ladrillos cocidos; cuanto mayor sea la proporción de este compuesto, más oscuros serán los ladrillos. Los filosilicatos de aluminio, hierro y manganeso dotan a la arcilla de propiedades plásticas.

Las rocas calcáreas tienen el inconveniente de transformarse en óxido de calcio durante la combustión, el cual se expande al entrar en contacto con el agua, causando agrietamiento temprano en el ladrillo. El material arenoso influye en la contracción de los ladrillos. Si es arena fina, reduce la contracción durante las etapas de secado y cocción, mientras que la arena gruesa tiende a agrietar

los ladrillos debido a la contracción durante el proceso del secado (Dondi *et al.*, 2014; Fernández, 2019; Lescano, 2014).

Para producir ladrillos de arcilla cocida, se recomienda seguir los siguientes pasos: 1) seleccionar y preparar la materia prima; 2) mezclar y moldear; 3) secar el material mezclado y 4) cocer los ladrillos (Fernández, 2019). En el primer paso, la materia prima se extrae, se tritura y se deja al aire libre durante varios días. La exposición a la intemperie tiene, como finalidad, la descomposición de la materia orgánica y la purificación química y biológica de la materia prima, obteniendo así un material inerte (Kornmann, 2007). Luego, la materia prima se mezcla con agua y, al entrar en contacto con ella, la arcilla adquiere una propiedad denominada plasticidad. Si es muy grande, puede producir contracción durante el secado, lo cual genera grietas y deformaciones. Para evitar esto, se agrega arena a la mezcla (Fernández, 2019).

El proceso de moldeado se puede realizar de manera artesanal o mediante el uso de maquinaria. Si se lleva a cabo artesanalmente, la mezcla se introduce en moldes o gaveras, se compacta manualmente y se enrasa con una espátula para eliminar la parte sobrante. Mientras que, el moldeado mecánico se realiza con una máquina extrusora. El proceso de extrusión consiste ante todo en forzar el paso de la pasta mediante una presión ejercida por un molde con las dimensiones requeridas. Las ventajas de este tipo de moldeado son la reducción de aire dentro del ladrillo, una mejor homogenización y una mayor compactación del ladrillo (Dalkilic y Nabikoglu, 2017; Lescano, 2014). El tercer paso del proceso de fabricación de ladrillos es el secado. El objetivo de éste es eliminar una cantidad considerable de humedad para garantizar que la cocción del ladrillo se realice adecuadamente.

El secado puede ser natural o artificial. En el secado natural, los ladrillos se dejan en un espacio libre y dependerán de las condiciones climáticas. El proceso de secado puede durar de una a dos semanas. El secado artificial se realiza por flujo de aire. Los ladrillos entran a un túnel con aire caliente y su humedad se elimina en aproximadamente una o dos horas. El proceso de secado es el más delicado en la producción de ladrillos, ya que un secado rápido puede producir agrietamiento, mientras que un secado incompleto puede generar una mala cocción.

Durante este proceso, los ladrillos se contraen debido a la pérdida de agua (Lescano, 2014; Rincón, Gil, Lesmes y Caro C., 2016).

Durante la cocción, los ladrillos son sometidos a altas temperaturas por tiempos prolongados. Las propiedades físicas y mecánicas características de los ladrillos dependerán de las reacciones químicas, las cuales aparecen por el aumento de la temperatura. Las primeras reacciones ocurren a 100 °C, cuando la humedad del aire presente en los ladrillos es eliminada. A 200 °C, la caolinita pierde el agua presente en su superficie y genera contracción. Entre 350 °C y 650 °C, se produce la oxidación de la materia orgánica y se libera el agua propia de la arcilla. Entre los 600 °C y los 700 °C, la caolinita pierde dos moléculas de agua, formando así el metacaolín. A 650 °C, se inicia la separación entre la sílice y la alúmina, lo cual permite la formación de nuevos compuestos. Entre 850 °C y 950 °C, se libera óxido de calcio y se forman calcita y dolomita. Entre 800 °C y 1000 °C, aparecen los primeros signos de sinterización y vitrificación, la gelenita desaparece completamente a los 900 °C. Finalmente, a temperaturas mayores de 1000 °C (1200 °C-1500 °C), debido a la vitrificación, se produce la fusión de la caolinita y los silicoaluminatos —mullita y cristobalita— se fusionan en vidrio (Fernández, 2019; Santos Amado, Malagón Villafrades y Córdoba Tuta, 2011).

Las mencionadas actividades de producción de ladrillos generan impactos negativos en el medio ambiente. Por ejemplo, las emisiones de gases generadas durante el proceso de cocción del ladrillo es un factor que se debe tener en cuenta. Éstas causan un efecto directo sobre la salud humana, la flora, la fauna y los cuerpos de agua. Anualmente, se producen alrededor de 1391 billones de ladrillos de arcilla cocida. China e India son los mayores productores de ladrillos de arcilla, con 700 billones y 144 billones de unidades, respectivamente (Pacheco-Torgal, 2015). Colombia, durante el año 2018, produjo alrededor de 1510 millones de ladrillos (DANE, 2019). Si se tiene en cuenta que producir un ladrillo aporta 0,41 kilogramos de dióxido de carbono al medio ambiente, la producción anual de este gas de efecto invernadero es de aproximadamente 0,5 billones de toneladas (L. Zhang, 2013). En Colombia, las emisiones de gases de efecto invernadero debidas a la industria de la construcción, durante

el 2018, fueron aproximadamente de 0,6 millones de toneladas (DANE, 2019).

Por otro lado, la explotación de las materias primas es otro punto importante que se debe considerar. La implementación de materiales como la arcilla y la arena, en la producción de ladrillos, tiene como consecuencias el agotamiento de los recursos, la degradación ambiental (deforestación, erosión y reducción en la productividad del suelo) y el consumo energético. Se estima que la energía incorporada en la producción de ladrillos es de 2 kWh (Sani y Nzihou, 2017). Para mitigar este impacto ambiental, se han implementado algunos tipos de desechos en la producción de los ladrillos. La biomasa procedente de la industria agrícola se ha utilizado como combustible (Sani y Nzihou, 2017), mientras que, se han implementado algunos residuos industriales y agroindustriales como adición a la materia prima (Z. Zhang, Choy, Arulrajah y Horpibulsuk, 2018).

Residuos industriales y agroindustriales en ladrillos de arcilla

Entre los residuos utilizados en ladrillos de arcilla cocida se encuentran las cenizas volantes, los lodos de depuración, residuos de carbón, colillas de cigarrillos, cascarilla de arroz, bagazo de caña y aserrín de madera. Abbas *et al.* (2017) estudiaron algunas propiedades de ladrillos de arcilla cocida al agregar cenizas volantes en porcentajes entre el 1% y el 25% en peso. La temperatura de cocción fue de 800 °C. Se encontró que la incorporación de este residuo disminuyó tanto la resistencia a la compresión y a la flexión como la densidad de los ladrillos. Sin embargo, la absorción de agua aumentó a medida que se incrementó el porcentaje de ceniza volante (Abbas, Saleem, Syed y Munir, 2017). Yasodha (2018) indicó que el rango de porcentajes más óptimo de ceniza volante se encuentra entre el 20% y el 40% en peso. Asimismo, la temperatura óptima de cocción es de 1000 °C durante 6 horas. Con un 10% de ceniza volante, los ladrillos obtuvieron mejor resistencia a la compresión que los ladrillos normales. La densidad disminuyó en un 10,6% y los ladrillos absorbieron menor cantidad de agua (Yasodha, 2018).

Otro desecho que se ha implementado en ladrillos de arcilla cocida es el de los lodos producidos por el tratamiento de aguas residuales. Kadir *et al.* (2017) agregaron porcentajes de lodos entre el 1% al 20% en peso. La temperatura de coc-

ción fue de 1050 °C. Los resultados indicaron que la absorción de agua incrementó entre el 8,22% y el 19,69%. La densidad disminuyó de 1610 a 1204 kg/m³; de la misma manera, la resistencia a la compresión estuvo entre 27,1 y 2,1 MPa. La adición de lodos al 5% produjo los mejores resultados (Kadir et al., 2017). El residuo del carbón también se ha utilizado para modificar ladrillos. Abdrakhimov y Abdrakhimova (2017) utilizaron desechos de carbón en porcentaje de 30% en peso. La temperatura de calcinación fue de 1000 °C. Los resultados revelaron un incremento en la absorción de agua y una disminución en la densidad y la resistencia a la compresión (Abdrakhimov y Abdrakhimova, 2017).

La contaminación producida por las colillas de cigarrillo es un problema que debe ser tratado. Por tal razón, Mohajerani et. al (2016) utilizaron estos residuos como agregado en ladrillos de arcilla cocida. Se adicionaron en porcentajes de 2,5%, 5%, 7,5% y 10 % en peso. Los ladrillos fueron mezclados y secados durante 24 horas a 105 °C y luego fueron cocidos a 1050 °C. Los resultados mostraron una reducción en la densidad de hasta el 30%. Asimismo, la absorción de agua incrementó hasta un 20% y la resistencia a la compresión disminuyó de 25,65 MPa a 3 MPa, de acuerdo al aumento del porcentaje de cigarrillos (Mohajerani, Abdul y Larobina, 2016). De igual manera, se han utilizado algunos residuos agroindustriales y orgánicos en la producción de ladrillos de arcilla cocida, tales como cascarilla de arroz, bagazo de caña, residuos sólidos, semillas de oliva, paja y cascarilla de trigo y semillas de girasol.

Zhang (2013) produjo ladrillos de arcilla, arena y ceniza de cascarilla de arroz, con diferentes porcentajes de ceniza. La cocción se realizó a 1000 °C con duración de 2, 4 y 6 horas. Se midieron la contracción lineal, la densidad, la resistencia a la compresión y la absorción de agua. Se encontró que las cenizas aumentaron la resistencia a la compresión de los ladrillos y que el método más eficiente fue el de calcinar durante 4 horas a 1000 °C (L. Zhang, 2013). Saleem et. al (2017) implementaron la ceniza de cascarilla de arroz como adición del ladrillo en proporciones del 5%, 10% y 15% en peso. El peso de los ladrillos disminuyó, pero no se notó un cambio significativo en las propiedades mecánicas (Saleem, Minhaj, Kazmi y Abbas, 2017). Subashi De Silva y Perera (2018) utilizaron la ceniza de cascarilla de arroz como sustituto de la arcilla, en

porcentajes del 2 %, 4 %, 6 %, 8 % y 10 % en peso. Los ladrillos modificados al 4 % fueron más ligeros y su resistencia a la compresión fue 32,7 % mayor que la de un ladrillo convencional. La absorción de agua se redujo de un 19 % a un 4 % (Subashi De Silva y Perera, 2018).

Otro tipo de residuo implementado en la producción de ladrillos es el bagazo de caña. Kazmi et. al (2016) fabricaron ladrillos modificando el 5 %, 10 % y 15 % en peso de arcilla por ceniza de bagazo de caña y encontraron que el peso de los ladrillos, la resistencia a la flexión y a la compresión disminuyeron con el aumento de la ceniza, pero, la absorción de agua aumentó (Kazmi, Abbas, Saleem, Munir y Khitab, 2016). Farias et. al (2012) reportaron que la incorporación de cenizas de bagazo de caña reduce la absorción del agua y disminuye la resistencia en los ladrillos de arcilla cocida (Farias, Gurgel y Holanda, 2012). Kadir y Maasom (2013) fabricaron ladrillos adicionando caña de azúcar. Las densidades de los ladrillos modificados al 1 %, al 2 % y al 3 % disminuyeron en 1790, 1640 y 1520 kg/m³ y la resistencia a la compresión disminuyó en 22.8 MPa, 14.2 MPa y 5.8 MPa, respectivamente (Kadir y Maasom, 2013).

Además de lo anterior, varios autores agregaron residuos orgánicos a ladrillos de arcilla cocida. Goel y Kalamdhad (2017) utilizaron residuos sólidos municipales degradados en porcentajes entre el 5 % y el 20 % en peso. Las temperaturas de cocción estuvieron entre 850 y 900 °C. La resistencia a la compresión disminuyó hasta en un 78 %, la absorción de agua aumentó hasta en un 11 % y la densidad de los ladrillos disminuyó entre 1511 y 1211 kg/m³ (Goel y Kalamdhad, 2017). Sutcu et. al (2016) analizaron la influencia de adicionar residuos de la molienda de semillas de oliva, en porcentajes de 1 % a 10 % en peso. La temperatura de cocción tuvo valores de 850 °C, 950 °C y 1050 °C. Los resultados indicaron que la densidad disminuyó hasta 1450 kg/m³, la absorción de agua aumentó hasta el 35,5 % y la resistencia a la compresión disminuyó de 36,9 MPa hasta 10.26 MPa (Sutcu et al., 2016).

Bories et. al (2015) investigaron el impacto de adicionar: paja de trigo, entre el 4 % y el 8 % en peso; semillas de girasol, al 4 % en peso; y residuos de la molienda de la semilla de oliva, entre el 4 % y el 8 % en peso. Los resultados arrojaron un

incremento en la absorción de agua, una reducción en la densidad y en la resistencia a la flexión (Bories, Aouba, Vedrenne y Vilarem, 2015). Ahmad et. al (2017) agregaron a la mezcla, cascarilla de trigo en porcentajes del 5% al 15 % en peso, con una temperatura de cocción de 1000 °C y observaron que la absorción de agua incrementó en un rango del 16% al 37% y que la resistencia a la compresión disminuyó de 14 MPa a 3 MPa, a medida que aumentaban los porcentajes de cascarilla de trigo en la mezcla (Ahmad, Iqbal y Muhammad, 2017). Otros residuos de origen orgánico utilizados en la fabricación de ladrillos modificados de arcilla cocida son los provenientes de la madera.

El aserrín es un residuo de la industria maderera. Se utiliza como fuente de combustible en procesos térmicos, por su capacidad de ignición. Los principales compuestos del aserrín son el carbono (60,8%), el oxígeno (33,8%), el hidrógeno (5,2%) y el nitrógeno (0,9%). La madera seca se compone principalmente de celulosa, lignina, hemicelulosa y pequeñas cantidades de materiales extraños (Phonphuak y Chindapasirt, 2015). Las cortezas de eucalipto son residuos producidos naturalmente, ya que se descaman a medida que el árbol va creciendo. La composición química de la corteza dependerá de varios factores (la edad, la localización, la composición del suelo y la forma de obtener las muestras). Pero, por lo general, se encuentra mayor contenido de celulosa y menor contenido de lignina que en la madera (Mamani Machaca y Candia Puente, 2018).

Beal et. al (2019) incorporaron aserrín de madera a ladrillos de arcilla cocida. Los resultados mostraron que la porosidad y la absorción de agua aumentaron, pero la densidad y la resistencia a la compresión disminuyeron, en comparación con los ladrillos sin modificar (Beal et al., 2019). Geetha y Nandini (2019) encontraron que la absorción de agua aumentó en los ladrillos modificados con aserrín de madera. Asimismo, la resistencia a la compresión y la densidad disminuyeron al aumentar la cantidad de aserrín en la muestra (Geetha y Nandini, 2019). Chemani y Chemani (2012) agregaron aserrín de eucalipto a ladrillos de arcilla cocida. Los resultados indicaron que la densidad y la resistencia a la compresión disminuyeron, mientras que la absorción de agua aumentó, en comparación con los ladrillos sin aserrín (Chemani y Chemani, 2012). En general, los

ladrillos modificados con aserrín se pueden implementar en muros interiores y con bajas condiciones de resistencia mecánica.

La implementación de residuos agroindustriales e industriales, en la producción de ladrillos de arcilla cocida, puede reducir el impacto ambiental, social y económico generado por dicha producción. La disminución en la producción de gases de efecto invernadero, la reducción en la explotación de materias primas que demoran en renovarse, el aprovechamiento de los residuos generados por las diferentes industrias y la posibilidad de generar materiales eficientes a bajos costos son algunos de los retos que espera cumplir la Organización de Naciones Unidas (ONU), mediante su programa de desarrollo. El programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) tiene como propósito dar soluciones íntegras a los problemas que afectan la calidad de vida mundial, mediante el uso de todas las áreas del conocimiento (ONU, 2019).

En el 2015, los Estados miembros de la ONU, adoptaron diecisiete objetivos con el propósito de poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que las personas disfruten de paz y prosperidad para el 2030. Estos objetivos, denominados Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) u objetivos mundiales, se relacionan entre sí, ya que las intervenciones en un área afectarán los resultados en otra; además, el desarrollo debe equilibrar la sostenibilidad medio ambiental, económica y social. La figura 1, muestra los diecisiete objetivos de desarrollo sostenible. Este trabajo se realizó con la intención de cumplir el ods número 11. Este objetivo espera mejorar la seguridad y la sostenibilidad de las ciudades garantizando el acceso a viviendas seguras y asequibles, y reduciendo la cantidad de los asentamientos marginales (ONU, 2019).



Figura 1. Objetivos de Desarrollo Sostenible

Fuente: Elaboración de J. A. Becerra (2020) a partir de ONU (2019), <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>

En esta investigación se fabricaron ladrillos de arcilla cocida, incorporando aserrín y corteza de eucalipto a la mezcla, con el propósito de contribuir a la solución del objetivo de desarrollo sostenible denominado “Ciudades y comunidades sostenibles”. Primero, se caracterizó la arcilla mediante el método de los límites de Atterberg. Luego, se evaluaron algunas propiedades en los ladrillos, tales como la resistencia a la compresión, la densidad y la tasa de absorción. Para medir estas propiedades, se utilizó como guía la norma internacional ASTM C67. Finalmente, el aserrín y la corteza de eucalipto se agregaron, en un 10 % en peso, a la mezcla del ladrillo, debido a que la revisión bibliográfica indicó que los mejores resultados se obtuvieron al adicionar entre el 8 % y el 12 %, de residuos a la mezcla. Se espera que, con la implementación de estos residuos, se pueda contribuir a la reducción del impacto ambiental generado por la producción de ladrillos de arcilla cocida.

Materiales y métodos

El desarrollo de este proyecto se inició con la fabricación de ladrillos de arcilla cocida, modificados con aserrín y corteza de eucalipto. El aserrín se obtuvo del proceso de la tala de árboles de eucalipto en Duitama, Boyacá. Las cortezas de

eucalipto se obtuvieron de árboles ubicados en la misma ciudad. Al aserrín se le aplicó un proceso de secado para eliminar su humedad, con el fin de agregarlo a la mezcla para su posterior cocción. A las cortezas se les redujo el tamaño mediante un molino de granos, para luego añadirlas a la mezcla. El tamaño de las cortezas se redujo hasta alcanzar el tamaño de partícula de la arcilla, establecido por la norma.

La arcilla utilizada se extrajo de la vereda Pírgua, ubicada en Tunja, Boyacá. Se realizó la caracterización física de la arcilla utilizando los límites de Atterberg. Los ladrillos se fabricaron en la ladrillera San José, ubicada en el mismo lugar de extracción. El proceso que se lleva a cabo allí es artesanal; es decir, su duración, desde que se prepara la mezcla hasta el producto final, es de aproximadamente un mes. Para el desarrollo del proyecto, se fabricaron dos tipos de ladrillos agregando eucalipto y los ladrillos “patrón”. La primera muestra se preparó agregando 10 % en peso de corteza de eucalipto molida (M1). A la segunda muestra se le agregó 10 % en peso de aserrín (M2). Los ladrillos “patrón” se fabricaron con una mezcla de arcilla y arena (MP). Se agregó la arena para evitar la aparición de fisuras durante el proceso de secado. Se fabricaron 15 ladrillos por muestra, para un total de 45 ladrillos. La figura 2, muestra la mezcla con cortezas de eucalipto molidas.



Figura 2. Fotografía mezcla de arcilla, arena y corteza de eucalipto
Fuente: J. A. Becerra, 2019.

La arcilla utilizada para la fabricación de ladrillos de arcilla cocida fue caracterizada mediante el uso de los límites de Atterberg. Los límites de Atterberg permiten obtener los límites del rango de humedad en el que el suelo se mantiene en estado plástico, para así poder clasificar la arcilla. Para determinar el límite líquido se utilizó el método de la cazuela de Casagrande. Este consiste en colocar una masa de suelo en una capsula de bronce, donde se separa con un elemento que forma dos pequeños taludes, se deja caer la cápsula a una altura específica, de manera que cada golpe al caer genere un esfuerzo de 0,10 kN/m². El suelo pierde su resistencia cuando los dos taludes se cierran. La ecuación 1 indica el porcentaje de humedad (W%). Mw, es la masa húmeda en gramos y Ms, es la masa seca en gramos. La ecuación 2, se utilizó para calcular el límite líquido. Tanβ = 0,121 y N el número de golpes (ASTM International, 2017).

$$W\% = \frac{Mw}{Ms} * 100\% \quad (1)$$

$$LL = W\% * \left(\frac{N}{25}\right)^{Tan\beta} \quad (2)$$

Para el ensayo del límite plástico, se tomó aproximadamente 1 cm³ del material sobrante del ensayo de límite líquido y se formaron rollos de 3mm de longitud. Cuando se tuvo una cantidad considerable de rollos, se depositaron en recipientes, se midió su masa y se introdujeron en un horno para secarlos. La ecuación 3, muestra cómo calcular el límite plástico. La ecuación 4 define el índice de plasticidad. Este parámetro indica la capacidad de un material de adquirir y retener una nueva forma cuando se moldea.

$$LP = \frac{W\%_1 + W\%_2}{2} \quad (3)$$

$$IP = LL - LP \quad (4)$$

Para la fabricación de los ladrillos, se preparó la mezcla de la materia prima con una máquina extrusora. Dentro de ésta se realizó el proceso de moldeado y compactación de la muestra. La figura 3 muestra los ladrillos después del proceso de extrusión. Luego de este proceso, los ladrillos se dejaron secar a cielo abierto durante aproximadamente 15 días; esto, con el fin de eliminar la mayor cantidad de agua de las muestras. En la figura 4 se pueden observar los ladrillos durante el proceso de secado.

Cuando los ladrillos terminaron su proceso de secado, se introdujeron en un horno para ser cocidos. Se cocieron a una temperatura que osciló entre 800 °C y 1000 °C y en un lapso de tiempo de 15 días. La temperatura y el tiempo de cocción garantizaron que el eucalipto se calcinara completamente, eliminando así la parte orgánica de las muestras.



Figura 3. Fotografía de ladrillos después del proceso de extrusión

Fuente: J. A. Becerra, 2019.



Figura 4. Fotografía de ladrillos en proceso de secado

Fuente: J. A. Becerra, 2019.

Para establecer si los ladrillos modificados cumplen con los parámetros mínimos exigidos por la norma, se midieron las propiedades más representativas. La densidad se obtuvo utilizando la ecuación 5. La masa (m), se determinó usando una balanza digital; mientras que, el volumen (V), se calculó mediante geometría. Las unidades de masa se trabajaron en gramos (g), las de volumen en centímetros cúbicos (cm^3) y las de densidad en (g/cm^3). La resistencia a la compresión y la tasa de absorción, se determinaron mediante el procedimiento descrito en la norma internacional ASTM C67 (ASTM International, 2019). El ensayo de compresión se realizó con una máquina universal Shimadzu UH-1000X.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (5)$$

La resistencia a la compresión se halló mediante la ecuación 6. C es la resistencia de la muestra a la compresión, en Pascal. W es la carga máxima de rotura indicada por la máquina de ensayo, en Newton. A es el promedio de las áreas de las superficies superior e inferior del espécimen, en milímetros cuadrado. La figura 5 muestra el ensayo a compresión de un ladrillo. La ecuación 7 indica cómo calcular la tasa de absorción (succión). Este ensayo se realiza con el objetivo de establecer la cantidad de agua capilar que absorbe una unidad de mampostería en 60 segundos. $T. I. A.$ es la tasa inicial de absorción, en $g/cm^2/min$. G , es la diferencia en gramos entre los pesajes inicial y final por cada minuto, en g/min . A es el área en contacto con el agua, en cm^2 (ASTM International, 2019). En la figura 6, se está midiendo la tasa de absorción de una unidad de mampostería.

$$c = \frac{W}{A} \quad (6)$$

$$T.I.A. = G/A/min \quad (7)$$



Figura 5. Fotografía de ensayo a compresión de ladrillos de mampostería
Fuente: J. A. Becerra, 2019.



Figura 6. Fotografía de ensayo de tasa de absorción
Fuente: J. A. Becerra, 2019.

Resultados y discusión

La tabla 1 muestra los valores obtenidos para el cálculo del límite líquido. Para este ensayo se tuvieron en cuenta los datos obtenidos cuando se alcanzaron los 26 golpes. Se halló un porcentaje de humedad (W%) del 55,5% y un límite líquido (LL) del 55,76%. Estos resultados indican que la arcilla utilizada tiene una apariencia de suspensión o flujo viscoso. En la tabla 2 se observan los resultados obtenidos para la masa seca y húmeda, de las dos muestras, y su

porcentaje de humedad. Se obtuvo un límite plástico (LP) del 27,3 %. Este valor indica que la cantidad de agua necesaria para la arcilla utilizada en la producción de los ladrillos es baja, es decir, la arcilla presenta alta plasticidad.

Tabla 1. Rango de golpes en la cazuela de Casagrande

Golpes	Masa húmeda (g)	Masa seca (g)
18	12,4	17,5
26	12,1	21,8
30	6,3	24,3

Tabla 2. Masa húmeda, seca y porcentaje de humedad para las muestras

	Masa húmeda - Mw (g)	Masa seca - Ms (g)	Porcentaje de humedad - W% (%)
Muestra 1	3,2	11,9	27,9 %
Muestra 2	2,9	11,3	26,7 %

Según la norma, el índice de plasticidad debe encontrarse entre el 16 % y el 34 % (ASTM International, 2017). Para este ensayo se obtuvo un IP del 28,46 %, lo cual indica que la arcilla utilizada en su estado natural presenta una alta capacidad de adquirir y retener una nueva forma cuando se moldea, cualidad imprescindible para la fabricación de ladrillos. De igual manera, de acuerdo a la carta de plasticidad de Casagrande, la arcilla utilizada para hacer los ladrillos se puede clasificar como una arcilla de alta compresibilidad, por ser la materia prima adecuada para fabricar los ladrillos. Una vez hechos, se procedió a medir algunas de sus propiedades físicas.

La primera propiedad medida en los ladrillos de arcilla cocida fue la densidad. La tabla 3 muestra la masa, el volumen, la densidad y la desviación estándar de las muestras utilizadas. Se puede notar que los ladrillos más livianos y con menor densidad son los pertenecientes a M².

Lo anterior es debido a que el aserrín, al tener mayor tamaño que las cortezas de eucalipto, deja más espacios vacíos dentro del ladrillo durante el proceso de cocción. Sin embargo, las diferencias que existen entre las densidades de las muestras

son muy pequeñas. Se puede notar que la diferencia, entre la densidad promedio de MP y de M2, es de aproximadamente $0,17 \text{ g/cm}^3$. También se encontró que, al agregar las cortezas y el aserrín, las masas y las densidades de los ladrillos disminuyeron, ya que, al calcinarse el material, perdió su componente orgánico, redujo así su tamaño y dejó un mayor espacio libre dentro del ladrillo.

Tabla 3. Masa, volumen y densidad para MP, M1 y M2

MUESTRA		Masa (g)	Volumen (cm3)	Densidad (g/cm3)	Densidad promedio (g/cm3)	Desviación estándar (g/cm3)
MP	Ladrillo 1	2590	1300	1,992	2,0198	0,019
	Ladrillo 2	2660	1300	2,046		
	Ladrillo 3	2630	1300	2,023		
	Ladrillo 4	2625	1300	2,019		
	Ladrillo 5	2625	1300	2,019		
M1	Ladrillo 1	2365	1250,86	1,890	1,899	0,016
	Ladrillo 2	2365	1241,1	1,905		
	Ladrillo 3	2365	1254,4	1,885		
	Ladrillo 4	2405	1248,128	1,926		
	Ladrillo 5	2385	1260,56	1,892		
M2	Ladrillo 1	2225	1184,75	1,878	1,849	0,017
	Ladrillo 2	2190	1191,45	1,838		
	Ladrillo 3	2200	1190,89	1,847		
	Ladrillo 4	2195	1197,42	1,833		
	Ladrillo 5	2190	1181,75	1,853		

La segunda propiedad medida fue la resistencia a la compresión. En la tabla 4 se indican los resultados obtenidos para la resistencia a la compresión de los ladrillos ensayados. La norma recomienda que, por cada ensayo efectuado, se deben fallar cinco especímenes y se deben promediar los resultados obtenidos. La desviación estándar de los resultados obtenidos, con respecto al valor promedio, no es muy grande. Esto significa que, para cada grupo de ladrillos, los valores de resistencia a la compresión resultaron cercanos entre sí. Sin embargo, el valor máximo para cada muestra disminuye uno con respecto al otro.

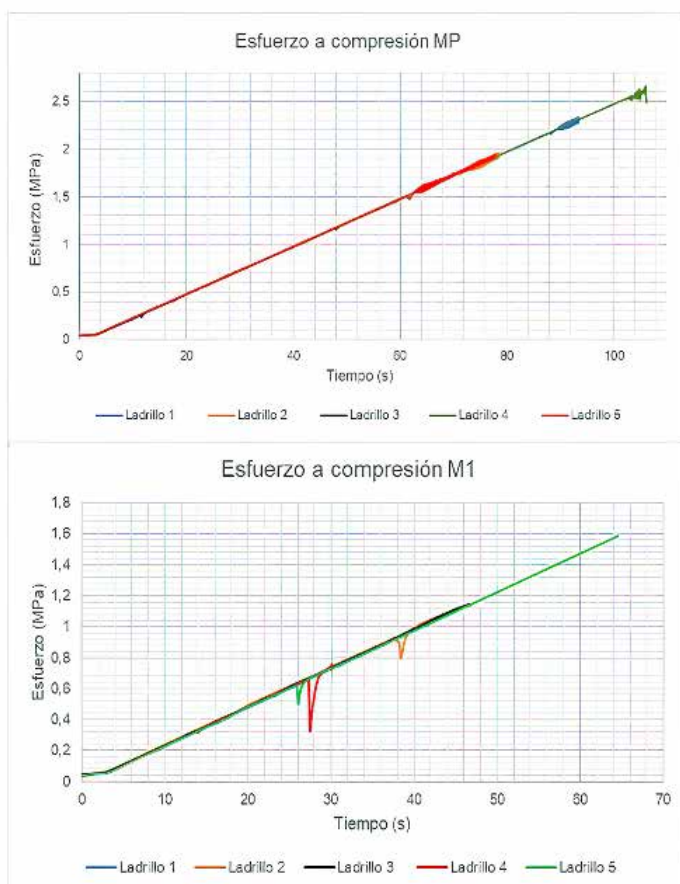
MP es la muestra que tiene mayores valores para la resistencia a la compresión, seguidos por M1 y M2. Lo anterior indica que, la inclusión del aserrín y las cortezas de eucalipto en la mezcla disminuye la resistencia a la compresión.

Tabla 4. Resistencia a la compresión para MP, M1 y M2

MUESTRA		Resistencia máxima a la compresión (MPa)	Resistencia máxima promedio (MPa)	Desviación estándar (MPa)
MP	Ladrillo 1	2,33	2,05	0,43
	Ladrillo 2	1,96		
	Ladrillo 3	1,74		
	Ladrillo 4	2,66		
	Ladrillo 5	1,94		
M1	Ladrillo 1	0,96	1,098	0,306
	Ladrillo 2	1,06		
	Ladrillo 3	1,14		
	Ladrillo 4	0,75		
	Ladrillo 5	1,58		
M2	Ladrillo 1	0,92	0,556	0,321
	Ladrillo 2	0,87		
	Ladrillo 3	0,21		
	Ladrillo 4	0,45		
	Ladrillo 5	0,33		

La figura 7 muestra el comportamiento, en el tiempo, del esfuerzo a compresión de las muestras MP, M1 y M2. El comportamiento de las gráficas es similar entre cada grupo de muestras. A medida que la carga aumenta, el esfuerzo aumenta de manera constante, hasta alcanzar su valor máximo. También, se puede apreciar que la duración de los ensayos dependerá del valor de la resistencia a la compresión máxima. Cuanto mayor sea su resistencia, mayor será la duración del ensayo. Para el caso de M1 y M2, aparecen algunos picos en la gráfica. Estos picos son producidos por cambios de fuerza en algunos ladrillos ensayados. La norma recomienda que, cuando esto suceda, se considere la fuerza que generó el pico como la fuerza máxima.

La norma técnica colombiana, NTC 4205, indica que el valor de la resistencia promedio a la compresión, de cinco unidades de mampostería, debe ser como mínimo de 14 MPa; y, para una unidad de mampostería, de 10 MPa (ICONTEC, 2008). Se puede notar que, ninguna de las muestras cumple el valor establecido por la norma. Lo anterior se debe a la temperatura y al tiempo de cocción, y a la mezcla elaborada. Como la temperatura y el tiempo de cocción no fueron controlados, los ladrillos dentro del horno no tuvieron las mismas condiciones. Según Blanco (2017), la temperatura y el tiempo de cocción inciden en las propiedades finales de los ladrillos, así como la altura de su ubicación en el horno (Blanco, 2017). Si no hay una adecuada temperatura de cocción, las reacciones químicas no se producirán por completo y, por lo tanto, las propiedades no serán las esperadas.



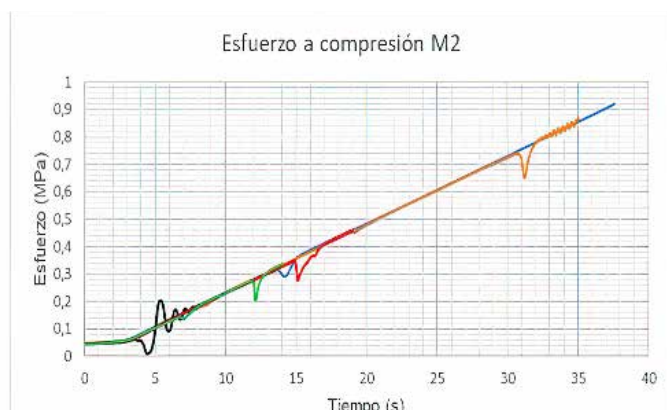


Figura 7. Gráficas de esfuerzo a compresión de MP

Fuente: Elaboración de J. A. Becerra, 2019.

Para el caso de las muestras modificadas con residuos de eucalipto, la mezcla elaborada no fue del todo homogénea, ya que los residuos no son compatibles con la arcilla, impidiendo una compactación adecuada del ladrillo. Asimismo, como ya se indicó, durante el proceso de cocción, los ladrillos quedan con espacios vacíos a causa de la calcinación de los residuos. Estos espacios influyen en la disminución de la resistencia a la compresión, debido a que las áreas pequeñas son concentradores de tensiones y pueden comportarse como propagadores de grietas, lo cual acelera la falla del ladrillo. La figura 8 muestra los poros formados por el aserrín de eucalipto.



Figura 8. Fotografía de poros formados por la calcinación del aserrín

Fuente: J. A. Becerra, 2019.

Por último, se midió la tasa de absorción. La tabla 5 muestra los valores obtenidos al realizar el ensayo de tasa de absorción para MP, M1 y M2. Según la norma NTC 4205, los valores para la tasa de absorción deben ser menores de 0,1 g/cm²/min (ICONTEC, 2008). Se puede ver que los valores obtenidos para cada muestra cumplen con lo establecido por la norma, siendo el valor más alto 0,0425 g/cm²/min. Asimismo, se puede apreciar que la desviación estándar es pequeña en cada muestra, indicando que los resultados son cercanos entre sí. Este ensayo ayuda a establecer la cantidad de agua que puede absorber el mortero, cuando el ladrillo es implementado en obra. Es importante conocer esta información, puesto que dicho parámetro influye directamente en el diseño de la mezcla del mortero de pega.

Tabla 5. Tasa de absorción MP, M1 y M2

MUESTRA		Masa inicial (g)	Masa final (g)	T.I.A. (g/cm ² /min)	T.I.A. promedio (g/cm ² /min)	Desviación estándar (g/cm ² /min)
MP	Ladrillo 1	2590	2625	0,0175	0,029	0,0087
	Ladrillo 2	2660	2740	0,04		
	Ladrillo 3	2630	2700	0,035		
	Ladrillo 4	2625	2675	0,025		
	Ladrillo 5	2625	2680	0,0275		
M1	Ladrillo 1	2365	2435	0,035	0,0425	0,0111
	Ladrillo 2	2365	2480	0,0575		
	Ladrillo 3	2365	2465	0,05		
	Ladrillo 4	2405	2485	0,04		
	Ladrillo 5	2385	2445	0,03		
M2	Ladrillo 1	2225	2280	0,0275	0,029	0,028
	Ladrillo 2	2190	2255	0,0325		
	Ladrillo 3	2200	2250	0,025		
	Ladrillo 4	2195	2255	0,03		
	Ladrillo 5	2190	2250	0,03		

Conclusión

Se midieron algunas propiedades físicas de ladrillos de arcilla cocida con adición de residuos de eucalipto. En general, la densidad y la resistencia a la compresión disminuyeron cuando se agregó el 10% de cada uno de dichos residuos a la mezcla. Por una parte, la densidad tuvo una reducción de aproximadamente un 8,5%, en contraste con el ladrillo patrón. Por otra parte, la resistencia a la compresión más baja se obtuvo cuando se agregó aserrín. En comparación con el ladrillo de referencia, el valor obtenido fue cuatro veces menor (75% menor). A su vez, la tasa de absorción aumentó en un 46% con respecto a la muestra patrón. Este aumento ocurrió en los ladrillos con adición de cortezas de eucalipto. No hubo una variación considerable entre datos de muestras, lo cual indica que los resultados son estadísticamente aceptables. Sin embargo, los resultados de compresión no cumplen con la normatividad correspondiente. Por otra parte, el costo de producción es menor, si se compara con los ladrillos convencionales, ya que se reduce la materia prima utilizada y se aprovecha un residuo sin valor económico.

Aunque las propiedades obtenidas en los ladrillos de arcilla con residuos de eucalipto no fueron los mejores, no se descarta la posibilidad de sean utilizados en aplicaciones de ingeniería civil. Además, se espera que esta investigación sirva como base para continuar con la implementación de otros residuos agroindustriales e industriales en la producción de ladrillos de arcilla cocida, sobre todo en la fabricación de ladrillos estructurales. Lo anterior con el fin de obtener materiales que aporten a la reducción de los impactos al medio ambiente, que cumplan con la normatividad estructural vigente y que tengan menor costo de producción.

Referencias

- Abbas, S., Saleem, M. A., Syed, M. S. y Munir, M. J. (2017). Production of Sustainable Clay Bricks using Waste Fly Ash: Mechanical and Durability Properties. *Journal of Building Engineering*, 14, 7-14. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2017.09.008>
- Abdrakhimov, V. Z. y Abdrakhimova, E. S. (2017). Promising Use of Waste Coal in the Production of Insulating Material without the Use of Traditional Natural Materials. *Inorganic Materials: Applied Research*, 8(5), 788-794. <https://doi.org/10.1134/S2075113317050021>

- Ahmad, S., Iqbal, Y. y Muhammad, R. (2017). Effects of coal and wheat husk additives on the physical, thermal and mechanical properties of clay bricks. *Boletín de La Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2017.02.001>
- ASTM International. ASTM D4318 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils (2017). *ASTM International*. www.astm.org
- ASTM International. ASTM C67/C67M-19, Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile (2019). *ASTM international*. www.astm.org
- Beal, B., Selby, A., Atwater, C., James, C. y Viens, C. (2019). A Comparison of Thermal and Mechanical Properties of Clay Bricks Prepared with Three Different Pore-Forming Additives: Vermiculite, Wood Ash, and Sawdust. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 1-10. <https://doi.org/10.1002/ep.13150>
- Blanco, E. E. (2017). Tecnura Analysis of temperatures during the firing bricks and final properties solid. *Tecnura*, 21(51), 118-131. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2017.1.a09>
- Bories, C., Aouba, L., Vedrenne, E. y Vilarem, G. (2015). Fired clay bricks using agricultural biomass wastes: Study and characterization. *Construction and Building Materials*, 91, 158-163. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.006>
- Campbell, J. W. P. y Pryce, W. (2003). *Brick: A World History* (1.a ed.). Thames and Hudson.
- Chemani, B. y Chemani, H. (2012). Effect of Adding Sawdust on Mechanical- Physical Properties of Ceramic Bricks to Obtain Lightweight Building Material. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, 6(11), 2521-2525.
- Dalkılıç, N. y Nabikoglu, A. (2017). Traditional manufacturing of clay brick used in the historical buildings of Diyarbakir (Turkey). *Frontiers of Architectural Research*, 6, 346-359. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2017.06.003>
- DANE. (2019). DANE Información para todos. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema>
- Dondi, M., Raimondo, M. y Zanelli, C. (2014). Clays and bodies for ceramic tiles: Reappraisal and technological classification. *Applied Clay Science*, 96, 91-109. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2014.01.013>
- Farias, K. C. P., Gurgel, R. F. y Holanda, J. N. F. (2012). Recycling of sugarcane bagasse ash waste in the production of clay bricks. *Environmental Management*, 101, 7-12. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.01.032>

- Fernández, F. M. (2019). Clay bricks. En B. Ghiassi y P. B. Lourenço (Eds.), *Long-term Performance and Durability of Masonry Structures: Degradation Mechanisms, Health Monitoring and Service Life Design* (pp. 3-19). Elsevier Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102110-1.00001-7>
- Geetha, S. y Nandini, K. (2019). Utilisation of waste materials in brick manufacturing. *International Research Journal of Engineering and Technology* (IRJET), 6(1), 1687-1690. <https://www.irjet.net/archives/V6/i1/IRJET-V6I1316.pdf>
- Goel, G. y Kalamdhad, A. S. (2017). Degraded municipal solid waste as partial substitute for manufacturing fired bricks. *Construction and Building Materials*, 155, 259-266. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.067>
- ICONTEC. (2008). Norma técnica colombiana NTC 4205 – Unidades de mampostería de arcilla cocida, ladrillos y bloques cerámicos. ICONTEC.
- Kadir, A. A. y Maasom, N. (2013). Recycling Sugarcane Bagasse Waste into Fired Clay Brick. *International Journal of Zero Waste Generation*, 1(1), 21-26.
- Kadir, A. A., Salhana, N., Salim, A., Sarani, N. A., Aqma, N., Rahmat, I., ... Bakri, A. (2017). Properties of Fired Clay Brick Incorporating with Sewage Sludge Waste. *AIP Conference Proceedings*, 1885, 7. <https://doi.org/10.1063/1.5002344>
- Kazmi, S. M. S., Abbas, S., Saleem, M. A., Munir, M. J. y Khitab, A. (2016). Manufacturing of sustainable clay bricks: Utilization of waste sugarcane bagasse and rice husk ashes. *Construction and Building Materials*, 120, 29-41. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.084>
- Kornmann, M. (2007). *Clay Bricks and Rooftiles, Manufacturing and Properties*. Société de l'industrie minérale (Ed.).
- Lescano, J. B. (2014). *Proceso productivo de los ladrillos de arcilla producidos en la Región Piura* [tesis de pregrado en Ingeniería Civil]. Universidad de Piura.
- Mamani Machaca, L. A. y Candia Puente, L. Z. (2018). *Empleo de bayas de eucalipto como elemento carburizante y conchas marinas para el endurecimiento superficial de un acero SAE:1020* [tesis de pregrado en Ingeniería de Materiales]. Escuela Profesional de Ingeniería de Materiales, Universidad Nacional de San Agustín.
- Mohajerani, A., Abdul, A. y Larobina, L. (2016). A practical proposal for solving the world 's cigarette butt problem: Recycling in fired clay bricks. *Waste Management*, 52, 228-244. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.012>

- Organización de las Naciones Unidas, ONU. (2019). *Objetivos de desarrollo sostenible*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>
- Pacheco-Torgal, F. (2015). Introducción a *Eco-efficient Masonry Bricks and Blocks*. En F. Pacheco-Torgal, P. Lourenco, J. Labrincha, P. Chindaprasirt y S. Kumar (Eds.), *Eco-efficient Masonry Bricks and Blocks. Design, Properties and Durability* (1.a ed., pp. 1-10). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-305-8.00001-2>
- Phonphuak, N. y Chindaprasirt, P. (2015). Types of waste, properties, and durability of pore-forming waste-based fired masonry bricks. En F. Pacheco-Torgal, P. Lourenco, J. Labrincha, P. Chindaprasirt y S. Kumar (Eds.), *Eco-efficient Masonry Bricks and Blocks. Design, Properties and Durability* (pp. 103-127). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-305-8.00006-1>
- Rincón S., C. D., Gil F., J. C., Lesmes F., C. A., & Caro C., C. A. (2016). Evaluación de la sostenibilidad de la producción de ladrillo en la región de Boyacá, Colombia. *L'espirit Ingénieux*, 7, 35-45.
- Saleem, M. A., Minhaj, S., Kazmi, S. y Abbas, S. (2017). Clay bricks prepared with sugarcane bagasse and rice husk ash – A sustainable solution, *International Conference on Advances in Sustainable Construction Materials and Civil Engineering Systems (ASCMCES-17)*, 120, 03001, 1-10. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201712003001>
- Sani, R. y Nzihou, A. (2017). Production of clay ceramics using agricultural wastes: Study of properties, energy savings and environmental indicators. *Applied Clay Science*, 146, 106-114. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.05.032>
- Santos Amado, J. D., Malagón Villafrades, P. Y. y Córdoba Tuta, E. M. (2011). Caracterización de arcillas y preparación de pastas cerámicas para la fabricación de tejas y ladrillos en la región de Barichara Santander. *DYNIA*, 78(167), 53-61.
- Subashi De Silva, G. H. M. J. y Perera, B. V. A. (2018). Effect of waste rice husk ash (RHA) on structural, thermal and acoustic properties of fired clay bricks. *Journal of Building Engineering*, 18, 252-259. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.03.019>
- Sutcu, M., Ozturk, S., Yalamac, E. y Gencel, O. (2016). Effect of olive mill waste addition on the properties of porous fired clay bricks using Taguchi method. *Journal of Environmental Management*, 181, 185-192. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.06.023>
- Yasodha, T. (2018). Agro-industrial wastes as sustainable resource for the production of bricks. *MedCrave*, 4(5), 403-408. <https://doi.org/10.15406/mojce.2018.04.00135>

Capítulo 8. Aplicación de agregados reciclados de concreto para mezclas asfálticas de pavimentos: un aporte para la construcción del desarrollo sostenible

Javier Mauricio Sánchez Losada

Juan Gabriel Bastidas-Martínez

Eliana Martínez Rojas

Universidad Piloto de Colombia

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ods) fueron contemplados por diversos gobernantes mundiales en el año 2015 con el propósito de erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad. Para tal fin, se planearon quince objetivos, los cuales hacen parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible que sería desarrollada en un periodo de quince años. Las estrategias para el cumplimiento de los ods articulan diversas áreas de conocimiento. Para el caso de la aplicación del noveno ods (“Industria, innovación e infraestructura”), se vislumbra el campo de la ingeniería civil por permitir analizar, diseñar, construir y mejorar la calidad de obras civiles, principalmente de estructuras de pavimentos. Los pavimentos son estructuras de materiales técnicamente seleccionados que proporcionan una capa de rodadura por donde transitan los vehículos, los cuales generan la integración e impuso al desarrollo económico de una determinada región.

Para el caso colombiano, articulado al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible, se contempla la ejecución y realización del Plan Maestro de Transporte Intermodal (PMIM), que tiene por objetivo realizar la integración del país por medio de los diferentes modos de transporte (fluvial, marítimo, aéreo y terrestre). En Colombia, la red vial primaria, a cargo del Instituto Nacional de Vías, está compuesta aproximadamente por 9.114,06 kilómetros, de los cuales el 75.11% está constituido por vías pavimentadas, el 24.69% por vías sin pavimentar y el 0.20% está en estado de intervenciones. El estado y las condiciones de la red vial primaria pavimentada y sin pavimentar, en Colombia, se presentan en la figura 1.

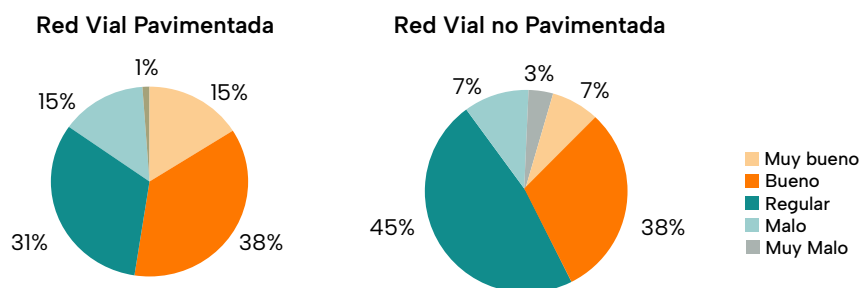


Figura 1. Estado de la red vial primaria pavimentada y no pavimentada

Fuente: Elaboración de Eliana Martínez con base en datos tomados de INVIAS, 2018.

A partir de los datos presentados en la figura 1, se deduce que el 52.62% de las vías primarias pavimentadas se encuentran en buen estado y, el 47.28% restante, en condiciones de regulares a malas. Por otro lado, de la red vial primaria no pavimentada, solamente el 9.43% se encuentra en buen estado.

Por añadidura, la necesidad de materias primas para la construcción de obras civiles conlleva la demanda de materiales pétreos naturales. En este sentido, la aplicación de materiales alternativos en obras civiles contribuye a reducir la explotación de agregados vírgenes, lo cual permite la conservación y protección de ecosistemas. Diversos estudios reportan la utilización de los Agregados Reciclados de Concreto (RCA, por sus siglas en inglés) como materiales para obras de ingeniería civil, principalmente en capas de pavimentos. Algu-

nos estudios se refieren a la utilización de RCA en capas de subbases y bases para pavimentos (Arm, 2000; Cardoso *et al.*, 2016; Bassani y Tefa, 2018). Otros estudios se refieren a la utilización de RCA en mezclas asfálticas para capas de rodadura de pavimentos (Paranavithana y Mohajerani, 2006; Rafi, Qadir y Siddiqui, 2011; Pasandín y Pérez, 2013; Pérez y Pasandín, 2017, entre otros). A partir de los trabajos consultados en la literatura, es posible inferir que la utilización de materiales alternativos ha sido una técnica en constante investigación, por cumplir con los aspectos técnicos de los pavimentos y proponer una práctica sostenible en la ingeniería civil (Huang, Bird y Heidrich, 2007). A pesar de que el reciclaje del RCA en países desarrollados es común, en Colombia los estudios e investigaciones sobre aplicaciones con materiales reciclados de RCA han sido escasos, muy sectorizados y limitados en sus alcances (Castaño *et al.*, 2013). En las principales ciudades de Colombia, la cantidad de residuos de demolición y construcción de donde provienen los RCA es de aproximadamente 100.000 toneladas por día (Silva *et al.*, 2016). Ante este panorama, se busca la creación de nuevas prácticas en la ingeniería civil que propongan la utilización de los residuos de agregados alternativos con el fin de buscar nuevas fuentes de materiales para carreteras.

Espacio para justificar la sostenibilidad

De acuerdo con lo anterior, el propósito de la investigación consiste en evaluar la influencia que tiene el reemplazar el material convencional por agregados alternativos de tipo RCA en la fabricación de mezclas asfálticas. Se diseñaron dos mezclas asfálticas para capa de rodadura de un pavimento flexible de tipo MDC-19, según los requisitos de las especificaciones del INVIAS (2013). La primera mezcla se elaboró con agregados convencionales y la segunda, con sustitución de la fracción gruesa de agregados por RCA (aproximadamente 21% en masa total de los agregados). Después de obtener el contenido óptimo de asfalto para cada mezcla, se realizó la determinación de la Resistencia a la Tracción Indirecta (RTI) en condiciones secas y húmedas, con el fin de observar la susceptibilidad de la adherencia de los materiales alternativos en la mezcla.

Materiales y métodos

Materiales

Las características físicas del Cemento Asfáltico (CA) tipo 60-70 utilizado se presentan en la Tabla 1. A partir de los resultados presentados, se puede concluir que estos cumplen con los requisitos de calidad exigidos para la fabricación de mezclas asfálticas densas en caliente (MDC-19) según el artículo 450 (INVIAS, 2013).

Tabla 1. Características físicas del CA 60-70

Ensayo	Método	Unidades	Especificación	Resultados
Ensayos en el asfalto original				
Gravedad específica	AASHTO T 228-04	-	-	1.012
Penetración (25 °C, 100 g, 5 s)	ASTM D5/D5M	0.1 mm	60-70	62.5
Índice de penetración	NLT 181	-	-1.2/+0.6	-0.94
Viscosidad (60 °C)	ASTM D4402	Poises	1500 mínimo	1770
Punto de ablandamiento	ASTM D-36	°C	48-54	49
Ductilidad (25 °C, 5cm/min)	ASTM D-113	cm	100 mínimo	>105
Punto de inflamación	ASTM D3143	°C	230 mínimo	289
Ensayos en el residuo de asfalto después del RTFOT (Rolling Thin Film Oven Test)				
Pérdida de masa	ASTM D-2872	%	0.8 máximo	0.63
Penetración (25 °C, 100 g, 5 s), porcentaje con respecto a la penetración inicial	ASTM D5	%	50 mínimo	77

- Agregados Pétreos Convencionales (APC) y Agregados Reciclados de Concreto (RCA)

En la Tabla 2 se presentan las características físicas de los agregados pétreos convencionales y los RCA utilizados para la elaboración de la mezcla asfáltica convencional MDC-19 y la mezcla alternativa con RCA. Para cumplir con las especificaciones del artículo 450 (INVIAS, 2013), se construyó la granulometría, considerando los valores promedio de la franja granulométrica tipo MDC-19 de la especificación para la elaboración de las mezclas asfálticas (ver Figura 2).

Tabla 1. Características físicas del CA 60-70

Ensayo	Método	Especificación	Resultados APC	Resultados RCA
Gravedad específica/ Absorción agregado fino	ASTM C 128	---	2.64/2.5 %	---
Gravedad específica/ Absorción agregado grueso	ASTM C 127	---	2.52/1.62 %	2.34/6.82 %
Caras fracturadas (1 cara)	ASTM D 5821	85 % mínimo	89 %	95 %
Índice de alargamiento	BS812-105.1	10 % máximo	8.9 %	7.8 %
Índice de aplanamiento	BS812-105.2	10 % máximo	7.6 %	6.4 %
Índice de plasticidad	ASTM D4318	No plástico	No plástico	No plástico
10 % de finos (resistencia en húmedo)	BS812 Parte 110-1990	100 kN mínimo	133 kN	102 kN
Micro-Deval	ASTM D6928	20 % máximo	18.8 %	21.5 %
Desgaste a la abrasión en la Máquina de Los Ángeles	ASTM C131	25 % máximo	23.7 %	32.0 %

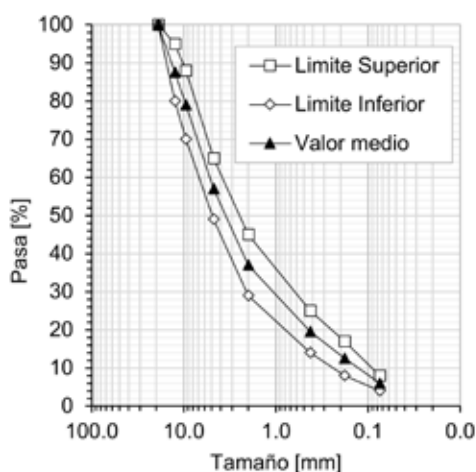


Figura 2. Granulometría de agregados para la fabricación de mezclas asfálticas

Fuente: Elaboración de Eliana Martínez.

Metodología

La metodología del trabajo se dividió en dos etapas. La primera etapa consistió en el diseño de dos mezclas asfálticas tipo MDC-19 con agregados convencionales y agregados reciclados RCA, las cuales fueron denotadas como MDC-19 y MDC-RCA, respectivamente. La mezcla con RCA se realizó sustituyendo parte de la fracción gruesa del agregado convencional por RCA (partículas pasando el tamiz 3/4" y retenidas en tamiz de 3/8"; 21% de sustitución en masa de la totalidad del agregado convencional). Este porcentaje se escogió debido a que la literatura de referencia por lo general recomienda el uso del RCA como sustituto de las fracciones más gruesas del agregado pétreo.

Diseño Marshall

Para los diseños de cada mezcla se fabricaron doce (12) briquetas Marshall con cuatro contenidos de asfalto de 4,5 %, 5,0 %, 5,5 % y 6,0 %. Para cada contenido de asfalto, se realizaron tres briquetas. Las briquetas fueron compactadas a 75 golpes por cara, conforme a los lineamientos establecidos por la especificación INVE 748 del 2013. Las temperaturas de compactación y de mezcla fueron de 140 °C y 150 °C, respectivamente.

Sobre todas las muestras se llevó a cabo el ensayo Marshall, con el fin de obtener la composición volumétrica de las mezclas (porcentaje de vacíos con aire, V_a , en los agregados minerales, v_{ma} , y los llenos de asfalto, v_{FA}) y la resistencia bajo carga monotonica, correspondiente a la Estabilidad (E), Flujo (F) y relación E/F Marshall. E y F fueron obtenidos en una prensa de carga a una velocidad de deformación de 48 mm/minuto hasta la ruptura, y la temperatura de las muestras fue de 60 °C (ver Figura 3). Con base en los resultados obtenidos en esta fase, se escogió el porcentaje óptimo de asfalto que se utilizaría en la mezcla de control para la ejecución de las fases posteriores.



Figura 3. Fotografías ensayo Marshall: (a) Briquetas tipo MDC-19 y MDC-RCA; (b) Determinación de la Estabilidad y Flujo Marshall

Fuente: Elaboración de Eliana Martínez.

Evaluación de la Resistencia a la Tracción Indirecta – RTI

En la segunda etapa, con el contenido óptimo de asfalto determinado en el ensayo Marshall, se fabricaron seis (6) briquetas Marshall para cada tipo de mezcla (HMA-19 y HMA-RCA), con el fin de medir la resistencia a tracción indirecta por compresión diametral a 25 °C en una prensa de carga, según los lineamientos establecidos por la ASTM D6931 (ASTM Standard D 6931, 2017). Cada briqueta fue sometida a la aplicación de carga monotonica a una velocidad de deformación de 50 mm/minuto hasta la ruptura (ver Figura 4). La determinación de la Resistencia a la Tracción Indirecta (ITS, por sus siglas en inglés) en MPa se realizó con la ecuación 1, donde P es la carga máxima de ruptura en N, h y d son la altura y el diámetro en milímetros respectivamente de cada briqueta.

$$ITS = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot h \cdot d} \quad (1)$$

La determinación de la resistencia se realizó sobre muestras acondicionadas (húmedas – rt_{ih}) y sin condicionamiento (secas – RTI_s). Las muestras acondicionadas o en condiciones húmedas se sometieron a un baño María a 60 °C durante 24 horas, posteriormente se colocaron durante dos horas a 25 °C para la realización del ensayo, con el fin de establecer la relación de resistencia a la tracción indirecta (RRTI). La RRTI es la relación porcentual entre la RTI húmeda y seca (RTI_h / RTI_s). Las briquetas no se fabricaron para alcanzar un contenido vacío de $7 \pm 1 \%$, de acuerdo con ASTM D6931, con el fin de evaluar la resistencia de las muestras con respecto al contenido vacío de aire logrado con el contenido óptimo de asfalto



Figura 4. Fotografía de Ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta

Fuente: Elaboración de Eliana Martínez.

Resultados y discusión

En este acápite se presenta el análisis y la discusión de los resultados referentes a los diseños Marshall de la mezcla asfáltica de control MDC-19 y de la mezcla asfáltica con materiales alternativos MDC-RCA; así como también, la respuesta ante la acción de la carga monotónica por medio del ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta en condiciones secas y húmedas.

• **Diseño Marshall**

Los resultados obtenidos del ensayo Marshall de las mezclas analizadas se presentan en la tabla 3 y figuras 5 a 8.

Tabla 3. Resultados del ensayo Marshall de las mezclas asfálticas MDC-19 y MDC-RCA

Tipo de mezcla	Contenido de asfalto [%]	Va [%]	VAM [%]	VAF [%]	E [kN]	F [mm]	E/F [kN/mm]
MDC-19	4.5	5.2	14.4	68.4	19.7	2.3	8.4
	5.0	4.3	15.2	71.7	22.2	2.7	8.3
	5.5	3.3	15.3	78.3	16.2	2.8	5.9
	6.0	2.2	14.6	90.0	12.6	3.0	4.3
MDC-RCA	4.5	7.6	17.2	54.6	14.0	2.4	5.9
	5.0	6.3	16.2	61.7	15.9	2.6	6.2
	5.5	5.2	16.4	68.5	18.3	2.7	6.9
	6.0	2.1	13.0	85.8	21.2	3.0	7.0

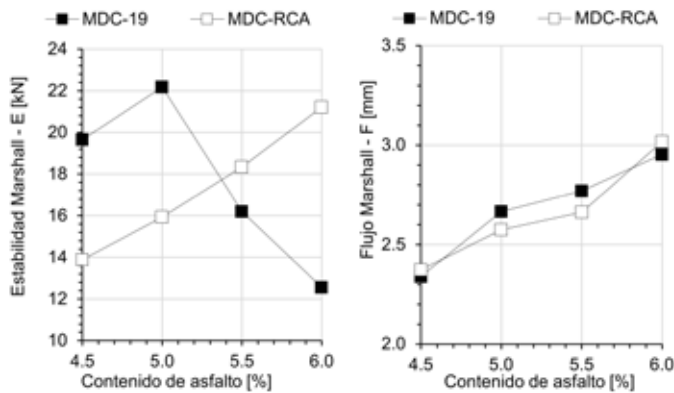


Figura 5. Gráficas de Evolución de la Estabilidad y Flujo Marshall con el porcentaje de asfalto
Fuente: Elaboración de Eliana Martínez.

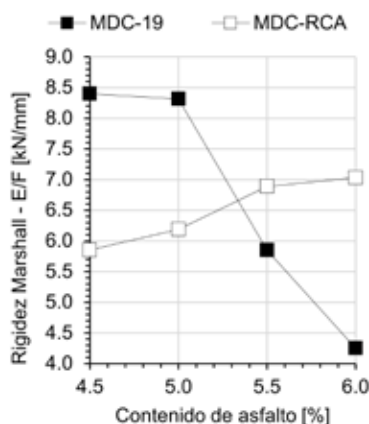


Figura 6. Gráficas de Evolución de la relación E/F Marshall con el porcentaje de asfalto

Fuente: Elaboración de Eliana Martínez.

A partir de los resultados obtenidos del ensayo Marshall para las mezclas MDC-19 y MDC-RCA se puede reportar que el contenido de asfalto de 5.0% de la mezcla MDC-19 proporcionó la mayor rigidez del material, evidenciada por la máxima E y rigidez Marshall (E/F) con respecto a la mezcla MDC-RCA. En este sentido, el aumento de la respuesta ante la acción de la carga monotonica de la mezcla MDC-19 puede ser atribuido a la reducción del V_a , así como también a la reducción del desgaste a la abrasión y solidez en sulfatos de sodio de los agregados convencionales, en relación con los agregados RCA.

Por otra parte, se puede evidenciar que la mezcla MDC-RCA requiere un mayor contenido de asfalto para alcanzar un valor igual o superior a la máxima E y E/F de la mezcla de control (MDC-19 con 5% de asfalto), lo cual se atribuye a la sustitución en masa del agregado convencional por el agregado RCA. En este sentido, la sustitución en masa en la mezcla MDC-RCA genera aumento en el número de partículas debido a la menor gravedad específica del RCA, en comparación con el agregado convencional. En general, las mezclas MDC-19 y MDC-RCA cumplen los valores mínimos exigidos por las especificaciones del INVIAS (artículo 450, 2013) sobre la fabricación de mezclas asfálticas para pavimentos, referentes a la estabilidad mínima de 9.0 kN y flujo entre 2.0 y

3.5 mm para un nivel de tránsito alto. Sin embargo, la E/F no cumple con los contenidos de asfalto inferiores a 5.5%, en la mezcla MDC-19, y los contenidos superiores a 4.0%, en la mezcla MDC-RCA.

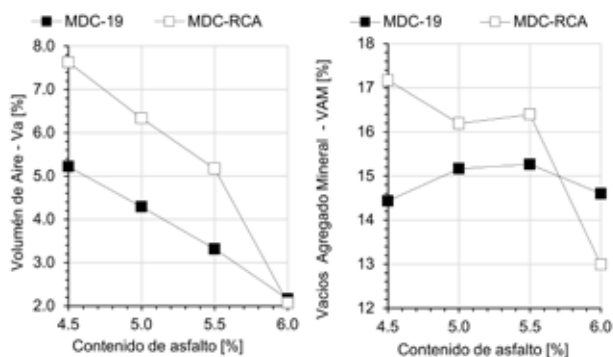


Figura 7. Gráficas Evolución del Volumen de aire (Va) y de los Vacíos en el Agregado Mineral (VAM) con el porcentaje de asfalto

Fuente: Elaboración de Eliana Martínez.

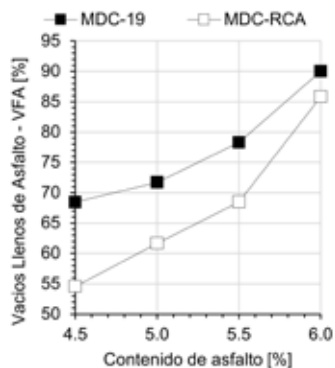


Figura 8. Gráfica de evolución de los Vacíos Llenos de Asfalto (VFA) con el porcentaje de asfalto

Fuente: Elaboración de Eliana Martínez.

Con base en los parámetros volumétricos obtenidos en el ensayo Marshall, se puede observar que la mezcla MDC-RCA presentó un mayor Va con respecto a la mezcla de control MDC-19. Lo anterior se atribuye al aumento de la absorción del agregado RCA y, consecuentemente, a la reducción de la lámina

de recubrimiento de asfalto sobre los agregados. La reducción de la lámina genera mayor volumen de aire entre las partículas de los agregados en la mezcla MDC-RCA. Por otra parte, se observa una reducción del recubrimiento de las partículas en la mezcla MDC-RCA, atribuido a la absorción del agregado. Lo anterior se hace evidente por una reducción del VFA en la mezcla MDC-RCA frente a la mezcla de control MDC-19. En general, según la especificación del invias (artículo 450), la mezcla asfáltica de control MDC-19 con 5.0% de asfalto y la mezcla MDC-RCA con 5.5% de asfalto, cumplen con las exigencias: Va entre 4-6 %, VAM mínimo de 15 % y VFA entre 65 % y 75 %.

Con base en los resultados descritos, se definió utilizar un mismo contenido de asfalto de 5.5% para la realización de las siguientes fases experimentales (ensayos RTI y RRTI), con el fin de evaluar el desempeño del comportamiento mecánico de las mezclas MDC-19 y MDC-RCA.

Evaluación de la Resistencia a la Tracción Indirecta – RTI

Los resultados obtenidos en los ensayos RTI (condiciones secas y húmedas), así como también en la RRTI, se presentan en las figuras 9 y 10, respectivamente.

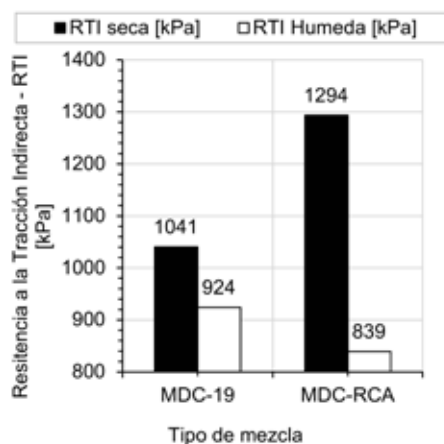


Figura 9. Gráfica de Resistencia a la Tracción Indirecta

Fuente: Elaboración de Eliana Martínez.

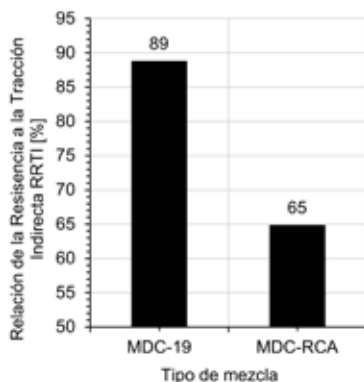


Figura 10. Gráfica de Relación de la resistencia a la tracción Indirecta

Fuente: Elaboración de Eliana Martínez.

A partir de los resultados de RTI y RRTI, es posible observar que la mezcla HMA-RCA presentó un incremento en la respuesta a la acción de la carga monotónica, evidente por el incremento de RTI en condiciones secas con respecto a la mezcla de MDC-19. Lo anterior es coherente con los resultados obtenidos en el ensayo Marshall (E y E/F) y puede ser atribuido al aumento de la cohesión entre las partículas, así como también a la trabazón entre las mismas, dado que el agregado RCA presenta una forma más cúbica (menor índice de alargamiento y aplanamiento) con respecto al agregado convencional. Sin embargo, la mezcla MDC-RCA presentó una menor RTI en condiciones húmedas que la mezcla de control. Lo anterior, es indicativo de una mayor susceptibilidad del agua en la mezcla MDC-RCA, lo cual se atribuye al aumento del Va. Consecuentemente, se observa una pérdida de adherencia de la mezcla MDC-RCA, en comparación con la mezcla de control MDC-19, que se hace evidente por la reducción de RRTI.

Conclusiones

De acuerdo con los estudios realizados en laboratorio sobre el comportamiento de las mezclas MDC-19 y MDC-RCA es posible determinar las siguientes conclusiones:

- La utilización de materiales alternativos de tipo RCA es viable desde el punto de vista técnico y ambiental, por permitir una nueva disposición final ambientalmente correcta, lo cual contribuye a la sostenibilidad y la aplicación directa de los objetivos del desarrollo sostenible, principalmente en términos de creación de ciudades e infraestructuras sostenibles.
- Los agregados reciclados de concreto (fracción gruesa) cumplen con las características físicas exigidas por el Instituto Nacional de Vías para la elaboración de mezclas asfálticas, excepto en lo concerniente al desgaste a la abrasión en la máquina de Los Ángeles y el desgaste Micro-Deval. Sin embargo, al ser encapsulados dentro de las mezclas asfálticas, presentan un comportamiento mecánico satisfactorio, cumpliendo con las exigencias como material de capa de rodadura de pavimentos flexibles para un nivel de tránsito alto.
- La utilización de agregados RCA como fracción gruesa en una mezcla asfáltica tipo MDC-19 requiere de un mayor contenido de asfalto con respecto a la utilización de agregados convencionales, lo cual puede causar el aumento de los costos económicos relacionados con el proceso de fabricación. Sin embargo, el aumento del contenido de asfalto en la mezcla MDC-RCA aumenta la respuesta ante la acción de la carga monotónica, debido a una mayor estabilidad y rigidez Marshall, así como también aumenta la resistencia a la tracción indirecta con respecto a la mezcla de control.

Referencias

- Ahmed, F., Wen, H., Stephenson, L. y Bahia, H. (2008). Effect of Mineral Filler on Damage Resistance Characteristics of Asphalt Binders. *Asphalt Paving Technology: Association of Asphalt Paving Technologists – Proceedings of the Technical Sessions 77*, 885-907.
- Al-Khateeb, G. G. y Al-Akhras, N. M. (2011). Properties of Portland cement-modified asphalt binder using Superpave tests. *Construction and Building Materials* 25(2), 926-932. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.06.091>
- Antunes, V., Freire, A. C., Quaresma, L. y Micaelo, R. (2016). Effect of the chemical composition of fillers in the filler-bitumen interaction. *Construction and Building Materials*, 104 (1), 85-91. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.042>

- Arm, M. (2000). Self-cementing properties of crushed demolishing concrete in unbound layers: Results from triaxial tests and field tests. *Waste Management*, 21(3), 235-239.
- Bassani, M. y Tefa, L. (2018). Compaction and freeze-thaw degradation assessment of recycled aggregates from unseparated construction and demolition waste. *Construction and Building Materials*, 160, 180-195.
- Cardoso, R., Silva, R.V., Brito de J. y Dhir, R. (2016). Use of recycled aggregates from construction and demolition waste in geotechnical applications: A literature review. *Waste Management*, 49, 131-145.
- Castaño, J. O., Misle Rodríguez, R., Lasso, L. A., Gómez Cabrera, A. y Ocampo, M. S. (2013). Gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en Bogotá: perspectivas y limitantes. *Tecnura*, 17(38), 121-129.
- Hassibi, M. (2009). Factores que afectan la calidad de la cal viva (CaO) desde el mineral hasta el procesamiento para su uso. *Chemco Systems L. P.*
- Huang, Y., Bird, R. N. y Heidrich, O. (2007). A review of the use of recycled solid waste materials in asphalt pavements. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(1), 58-73.
- Instituto Nacional de Vías, INVIAS, . (2013) *Especificaciones generales de construcción de carreteras* [General specifications for the construction of roads and highways]. Bogotá, Colombia.
- Instituto Nacional de Vías, INVIAS. (2018). Estado de la red vial. Criterio técnico, primer semestre 2018. Bogotá, Colombia.
- Lesueur, D. y Little, D. (1999). Effect of hydrated lime on rheology, fracture, and aging of bitumen. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1661(1), 93-105. <https://doi.org/10.3141/1661-14>
- Lesueur, D., Teixeira, A., Lázaro, M. M., Andaluz, D., y Ruiz, A. (2016). A simple test method in order to assess the effect of mineral fillers on bitumen ageing. *Construction and Building Materials*, 117, 182-189. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.003>
- Silva, Y. F., Robayo, R. A., Matthey, P. E. y Delvasto, S. (2016). Properties of self-compacting concrete on fresh and hardened with residue of masonry and recycled concrete. *Construction and Building Materials*, 124, 639-644. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.057>
- Paranavithana, S. y Mohajerani, A. (2006). Effects of recycled concrete aggregates on properties of asphalt concrete. *Resources, Conservation y Recycling*, 48(1), 1-12.

Pasandín, A. R. y Pérez, I. (2013). Laboratory evaluation of hot-mix asphalt containing construction and demolition waste. *Construction Building Materials*, 43, 497-505.

Pérez, I. y Pasandín, A.R. (2017). Moisture damage resistance of hot-mix asphalt made with recycled concrete aggregates and crumb rubber. *Journal of Cleaner Production*, 165, 405-414.

Rafi, M. M., Qadir, A. y Siddiqui, S. H. (2011). Experimental testing of hot mix asphalt mixture made of recycled aggregates. *Waste Management & Research*, 29(12), 1316-1326.

Bibliografía complementaria

Blanchetto, H., Miro, R., Pérez-Jiménez, F. y Martínez, A. (2007). Effect of calcareous fillers and bituminous mix aging. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 1998(1), 140-148.

Gundla, A., Medina, J., Gudipudi, P., Stevens, R., Salim, R., Zeiada, W. y Underwood, B. (2016). Investigation of aging in hydrated lime and Portland cement modified asphalt concrete at multiple length scales. *Journal of Materials in Civil Engineering* 28(5). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001501](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001501)

Kraemer, C. P., Pardillo, J. M., Rocci, S. y Romana, M. G. (2004). *Ingeniería de Carreteras* (2 vols.). McGraw-Hill.

Likitlersuang, S. y Chompoorat, T. (2016). Laboratory investigation of the performances of cement and fly ash modified asphalt concrete mixtures. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 9(5), 337-344. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijprt.2016.08.002>

Oruc, S., Celik, F. y Akpinar, M. V. (2007). Effect of cement on emulsified asphalt mixtures. *Journal of Materials Engineering and Performance* 16(5), 578-583. <https://doi.org/10.1007/s11665-007-9095-2>

Reyes Ortiz, O., Troncoso Rivera, J. y Camacho Tauta, J. (2010). Comportamiento mecánico y dinámico de una mezcla asfáltica con adición de cenizas volantes. *Ingeniería y Universidad*, 10(1). <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/iyu/article/view/910>

Rondón, H. A., Ruge, J. C., & Farias, M. (2019). Behavior of a hot mix asphalt containing blast furnace slag as aggregate: evaluation by mass and volume substitution. *Journal of Materials in Civil Engineering* 31(2). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002574](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002574)

Capítulo 9. Estudio de mezclas asfálticas densas en caliente con diferentes llenantes minerales para pavimentos de carreteras: una apuesta hacia la sostenibilidad

Juan Gabriel Bastidas-Martínez

Eliana Martínez Rojas

Edgar Ricardo Monroy Vargas

Universidad Piloto de Colombia

Introducción

La red vial primaria, a cargo del Instituto Nacional de Vías de Colombia, está compuesta aproximadamente por 9.114,06 kilómetros, de los cuales el 75,11% está constituido por vías pavimentadas, el 24,69% por vías sin pavimentar y el 0,20% en estado de intervenciones. El estado y las condiciones de la red vial primaria pavimentada y sin pavimentar, en Colombia, se presentan en la figura 1.

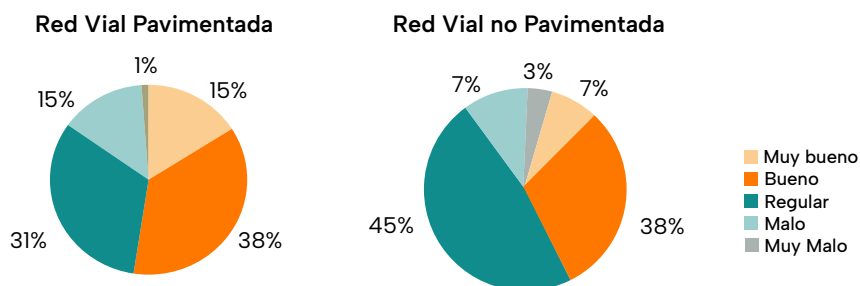


Figura 1. Gráfica del estado de la red vial primaria pavimentada y no pavimentada

Fuente: Elaboración de Eliana Martínez con base en datos tomados de INVÍAS (2018).

A partir de los datos presentados en la Figura 1 se deduce que, el 52,62 % de las vías primarias pavimentadas se encuentran en buen estado y, el 47,28% restante, en condiciones regulares a malas. Por otro lado, de la red vial primaria no pavimentada, solamente el 9,43% se encuentra en buen estado.

En este sentido, se considera que los deterioros de pavimentos más frecuentes, encontrados en las principales redes viales del país, son las deformaciones permanentes y los agrietamientos, producidos normalmente por dosificaciones inadecuadas, uso excesivo de asfaltos blandos, uso de áridos redondeados, construcción inadecuada de las vías, entre otros. Ante este panorama, surge la necesidad de buscar nuevas alternativas en lo que respecta a los materiales que componen la mezcla asfáltica, de manera que cumplan con criterios técnicos, ambientales y económicos para la construcción y el mejoramiento de la red vial primaria del país.

Se presume que el 95% de los pavimentos son flexibles, por tener como capa de rodadura una mezcla asfáltica en caliente constituida por un conjunto de agregados pétreos, recubiertos por un material asfáltico. Los agregados pétreos empleados para la ejecución de una mezcla asfáltica se dividen en gruesos (porción retenida en el tamiz n.º 4), finos (material que pasa por el tamiz n.º 4 y queda retenido en el tamiz n.º 200) y llenante mineral (porción que pasa por el tamiz n.º 200) o también llamado filler; éstos se integran a la mezcla en una proporción tal que cumplan con la granulometría de diseño, según la capa

que se requiera colocar. En lo que respecta al llenante mineral, éste juega un papel muy importante en el comportamiento de las mezclas asfálticas debido a su elevada superficie específica y al aumento de la cohesión y adherencia que confiere al resto de los agregados y al ligante. De hecho, su objetivo es el de rellenar los huecos del esqueleto sólido, impermeabilizar y densificar la mezcla, por lo que cobra importancia conocer las características geométricas, la composición mineralógica y su volumen (Kraemer, 2004; Antunes, Freire, Quaresma y Micaelo, 2016; Movilla-Quesada, Raposeiras, Castro-Fresno y Peña-Mansilla, 2015).

Hace años que la modificación de mezclas asfálticas mediante la sustitución del llenante mineral convencional por materiales de diferentes propiedades, como las cenizas volantes, la cal hidratada, el cemento Portland, entre otros, ha despertado el interés de muchos investigadores (Rondón, Ruge y Farias, 2019; Reyes Ortiz, Troncoso Rivera y Camacho Tauta, 2010; Faheem, Wen, Stephenson y Bahia, 2008; Lesueur y Little, 1999, Likitlersuang y Chompoorat, 2016; Al-Khateeb y Al-Akhras, 2011; Oruc, Celik y Akpinar, 2007). El llenante mineral se incorpora en las composiciones asfálticas con el fin de aumentar la estabilidad, esto debido a que es capaz de reducir notablemente la relación de vacíos. Además, la naturaleza y cantidad en la que se adiciona es especialmente importante en ciertos tipos de mezclas, puesto que pequeñas proporciones pueden reducir el contenido óptimo de asfalto y así, contribuir a su compactibilidad, impermeabilización y estabilidad. Así mismo, el beneficio potencial de algunos llenantes minerales (cal hidratada) sobre la mezcla asfáltica, en términos de resistencia al envejecimiento, es bien conocido (Bianchetto, Miro y Pérez-Jiménez, 1998; Lesueur, Teixeira, Lázaro, Andaluz y Ruiz, 2016; Gundla, Medina, Gudipudi, Stevens, Salim, Zeiada y Underwood, 2016).

De acuerdo con lo anterior, el propósito de la investigación de la cual deriva este artículo, consistió en determinar la influencia de reemplazar el llenante mineral convencional por cal viva, cal hidratada y cemento Portland —en cada caso— en las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica tipo MDC-19. La campaña experimental incluyó ensayos de Estabilidad, Flujo y Tracción indirecta.

Materiales y métodos

Materiales

Cemento asfáltico

Las características físicas del cemento asfáltico (CA 60-70) empleado en esta investigación se presentan en la tabla 1 y cumplen con los requisitos de calidad exigidos para la fabricación de mezclas asfálticas densas en caliente (MDC-19), según la especificación colombiana del Instituto Nacional de Vías (INVÍAS, artículo 450).

Tabla 1. Propiedades generales del CA 60-70

Ensayo	Método	Unidades	Valores recomendados	Resultados
Ensayos en el asfalto original				
Gravedad específica	AASHTO T 228-04	-	-	1,012
Penetración (25 °C, 100 g, 5 s)	ASTM D5/D5M	0,1 mm	60-70	62,5
Índice de penetración	NLT 181	-	-1,2/+0,6	-0,94
Viscosidad (60 °C)	ASTM D4402 / D4402M	Poises	1.500 mínimo	1770
Punto de ablandamiento	ASTM D-36	°C	48-54	49
Ductilidad (25 °C, 5cm/min)	ASTM D-113	cm	100 mínimo	>105
Punto de inflamación	ASTM D3143	°C	230 mínimo	289
Ensayos en el residuo de asfalto después del RTFOT (Rolling Thin Film Oven Test)				
Pérdida de masa	ASTM D-2872	%	0,8 máximo	0,63
Penetración (25 °C, 100 g, 5 s), Porcentaje con respecto a la penetración inicial	ASTM D5/D5M	%	50 mínimo	77

Agregados

En la tabla 2 se presentan las propiedades del agregado pétreo utilizado para la elaboración de las mezclas asfálticas. Para cumplir con las especificaciones del INVÍAS, se modificó la granulometría original de los agregados, tomando como referencia los valores promedio en porcentajes de la franja granulométrica (tipo MDC-19) que exige la especificación para la elaboración de las mezclas (ver Figura 2).

Tabla 2. Propiedades generales de los agregados

Ensayo	Método	Valores recomendados	Resultados
Gravedad específica/Absorción agregado fino	ASTM C 128	-	2.64/1,7 %
Gravedad específica/Absorción agregado grueso	ASTM C 127	-	2.52/1,62 %
Caras fracturadas (1 cara)	ASTM D 5821	85 % mínimo	89 %
Índice de alargamiento	BS812-105.1	10 % máximo	8,9 %
Índice de aplanamiento	BS812-105.2	10 % máximo	7,6 %
Índice de plasticidad	ASTM D4318	No plástico	No plástico
10 % de finos (resistencia en húmedo)	BS812 Part 110-1990	100 kN mínimo	133 kN
Micro-Deval	ASTM D6928	20 % máximo	18,8 %
Desgaste a la abrasión en la Máquina de los Ángeles	ASTM C131	25 % máximo	23,7 %

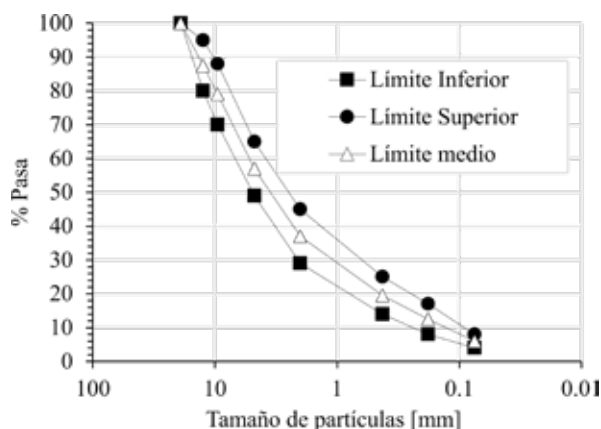


Figura 2. Gráfica granulométrica de agregados pétreos para la fabricación de mezclas asfálticas
Fuente: Elaboración de Eliana Martínez.

Llenante mineral

El programa experimental de esta investigación contempló el uso de tres tipos diferentes de llenante mineral para la modificación de las mezclas asfálticas. Estos fueron: cal virgen, cal hidratada y cemento Portland, los cuales sustituyeron en su totalidad el contenido en peso del llenante mineral convencional (material pasa por el tamiz núm. 200).

Los tres productos empleados son de origen industrial. En el caso de la cal virgen, se trata de un óxido de calcio, CaO , obtenido a partir de la calcinación de las rocas calizas o dolomías; por otro lado, la cal hidratada o también denominada cal viva, consiste en un hidróxido de calcio, Ca(OH)_2 , obtenido por la hidratación del óxido de calcio. No obstante, en su composición, es mezclada con un 20% de arcilla. Finalmente, el cemento Portland, es un silicato de calcio, Ca(OH)_2 , que se obtiene por el calentamiento incipiente de piedra caliza (aproximadamente a 1400°C), arcilla y una adición de 2% a 3% de yeso (Hassibi, 2009).

Metodología

Diseño de la mezcla asfáltica de control

Inicialmente se fabricaron 20 briquetas Marshall (5 briquetas para cada contenido asfalto), compactadas a 75 golpes por cara, con dimensiones de 4" de diámetro y 2.5" de altura, siguiendo los lineamientos establecidos por la especificación ASTM D6927. Estas briquetas, denominadas de control, emplearon el CA 60-70 y el agregado pétreo convencional. Como granulometría de referencia se utilizó la denotada en la Figura 2 (tipo MDC-19). Las temperaturas de compactación y de mezcla fueron de 140 °C y 150 °C, respectivamente. Estas temperaturas se obtuvieron con base en el criterio establecido por la especificación ASTM D6927 para mezclas del tipo denso y en caliente (la viscosidad requerida para obtener las temperaturas de mezcla y compactación es de 85 ± 15 SSF - 170 cP y 140 ± 15 SSF - 280 cP, respectivamente). Sobre todas las muestras se llevó a cabo el ensayo Marshall, ASTM D6927, con el fin de obtener la composición volumétrica de las mezclas (porcentaje de vacíos con aire - V_a , en los agregados minerales - V_{MA} y llenos de asfalto - V_{FA}) y la resistencia bajo carga monotónica bajo temperatura de ensayo de 60 °C y velocidad de deformación de 48 mm/minuto hasta la ruptura (estabilidad - S) en una prensa de carga (ver Figura 3). Con base en los resultados obtenidos en esta fase se escogió el porcentaje óptimo de asfalto que se utilizará en la mezcla de control para la ejecución de las fases posteriores.



Figura 3. Fotografía ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall

Fuente: Elaboración de Eliana Martínez.

Diseño de las mezclas asfáltica de estudio

Empleando el contenido óptimo de asfalto determinado en el ensayo Marshall para la mezcla de control, se fabricaron ocho briquetas para cada tipo de mezcla de estudio (control, con cal virgen, cal hidratada y cemento), destinadas a la evaluación de la cohesión de las partículas, por medio del ensayo Marshall, y la resistencia a la tracción indirecta. Las briquetas se realizaron con el mismo procedimiento ejecutado sobre las muestras de control, pero en este caso, se substituyó el contenido total de llenante mineral por cal virgen, cal hidratada y cemento, en cada caso.

Evaluación de la Estabilidad (E) y Flujo (F) Marshall

Sobre los cuatro tipos de mezclas asfálticas bajo estudio (control, con cal virgen, cal hidratada y cemento), se llevó a cabo el ensayo Marshall, ASTM D6927, con el fin de obtener la composición volumétrica de las mezclas, principalmente el porcentaje de vacíos con aire – Va y parámetros de resistencia, tales como la Estabilidad, el Flujo y la Rigidez Marshall, según las condiciones descritas anteriormente.

Evaluación de la Resistencia a la Tracción Indirecta – RTI

La determinación de la resistencia a la tracción indirecta se realizó por compresión diametral en una prensa de carga, siguiendo los lineamientos establecidos por la ASTM D6931 (ver Figura 4). Cada cuerpo de prueba fue sometido a la aplicación de una carga monotónica, a una velocidad de deformación de 50 mm/minuto hasta la ruptura. La temperatura de ensayo fue de 25 °C. La resistencia a la tracción indirecta RTI se determinó por medio de la Ecuación 1.

$$RTI = \frac{2000 \cdot P}{\pi \cdot D \cdot H}$$

Donde P es la carga máxima de ruptura en Newton (N), y D y H corresponden al diámetro y altura de la biqueta, respectivamente, expresados en milímetros (mm).



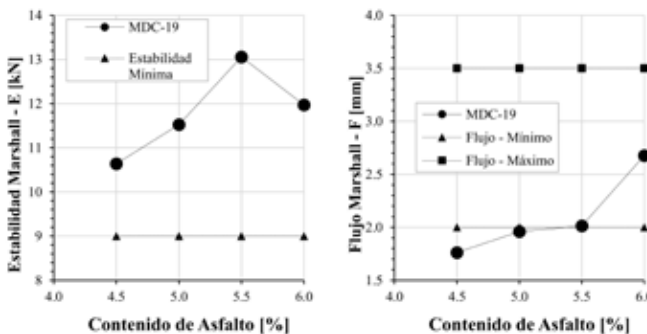
Figura 4. Fotografía ensayo de resistencia a la tracción indirecta
Fuente: Elaboración de Eliana Martínez.

Resultados y discusión

En esta sección se presenta el análisis y la discusión de los resultados de la investigación, referentes al diseño de la mezcla asfáltica de control y respuesta ante la acción de la carga monotónica por medio de los ensayos de Estabilidad y Flujo Marshall, así como también la resistencia a la tracción indirecta para la mezcla de control y las mezclas con incorporación de cal virgen, cal hidratada y cemento Portland como llenante mineral.

Diseño de la mezcla asfáltica de control

Los resultados obtenidos del ensayo Marshall de las mezclas analizadas se presentan en las figuras 5-7.



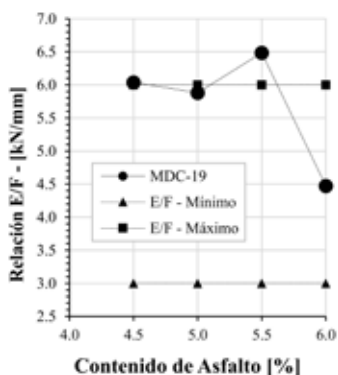


Figura 5. Gráficas de evolución de la estabilidad, el flujo y la relación E/F con el porcentaje de asfalto

Fuente: Elaboración de Eliana Martínez.

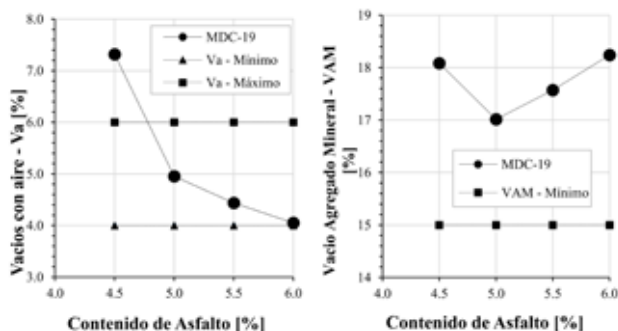


Figura 6. Gráficas de evolución de los vacíos con aire y los vacíos en el agregado mineral con el porcentaje de asfalto

Fuente: Elaboración de Eliana Martínez.

Los resultados obtenidos del ensayo Marshall se reportan a continuación:

1. El contenido de asfalto de 5,5% de la mezcla de control presentó la mejor respuesta ante la acción de la carga monotónica, evidenciando la mayor E y rigidez Marshall (E/F), simultáneamente.
2. El valor de E/F se encuentra por fuera del rango establecido en la especificación. Sin embargo, el límite superior de la especificación garantiza que la mezcla asfáltica no presente daño por fatiga a bajas

- temperaturas (negativas), las cuales no corresponden a las temperaturas del territorio colombiano.
- De forma lógica, los vacíos con aire en la mezcla disminuyen en función del aumento de asfalto. Excepto el contenido de 4% de asfalto, todos los contenidos de asfalto evaluados cumplen con los límites de la especificación.
 - En términos del recubrimiento de las partículas por la lámina de asfalto, los vacíos en el agregado mineral y los vacíos llenos de asfalto, excepto con el 4% de asfalto, cumplen con los intervalos exigidos por la especificación.
 - El porcentaje óptimo de cemento asfáltico para la mezcla de control fue de 5,5%, atendiendo el cumplimiento de los parámetros volumétricos (VA, VAM Y VFA) y de resistencia (E-F), excepto la rigidez Marshall.

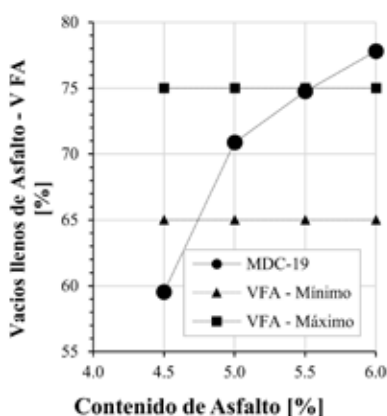


Figura 7. Gráficas de evolución de los vacíos llenos de asfalto con el porcentaje de asfalto

Fuente: Elaboración de Eliana Martínez.

Evaluación de la Estabilidad (E) y Flujo (F) Marshall

Los resultados obtenidos del ensayo Marshall, referentes a la E, F y relación E/F para la mezcla de control y para las mezclas con llenante mineral de tipo cal virgen, cal hidratada y cemento con 5,5% de asfalto, se presentan en las figuras 8-10.

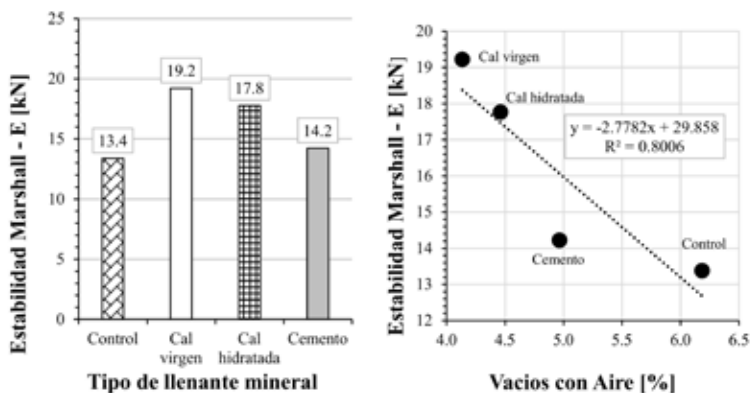


Figura 8. Gráficas de estabilidad Marshall de mezclas asfálticas para diferentes llenantes minerales Fuente: Elaboración de Eliana Martínez.

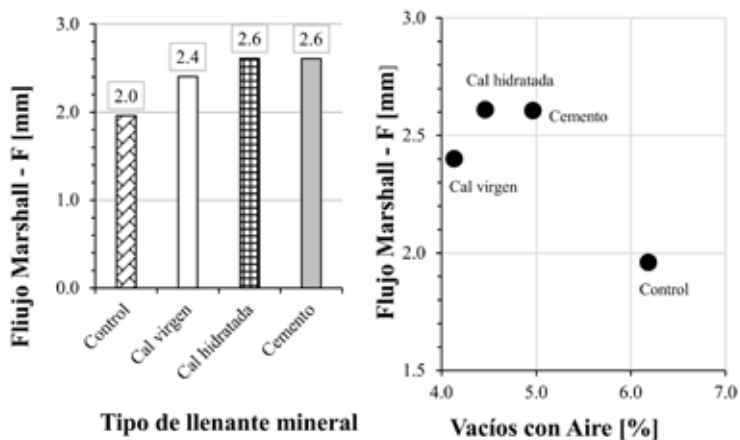


Figura 9. Gráfica Flujo Marshall de mezclas asfálticas para diferentes llenantes minerales Fuente: Elaboración de Eliana Martínez.

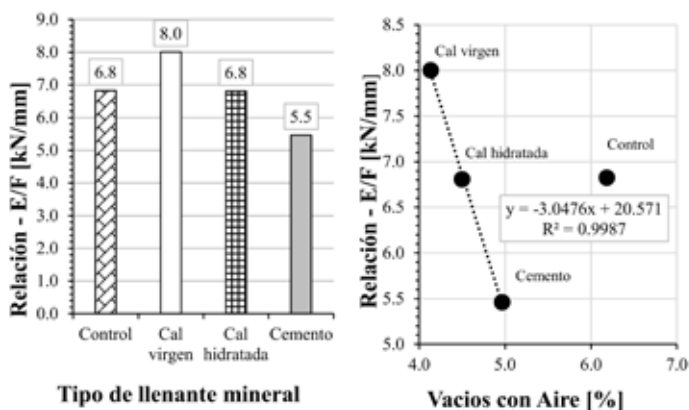


Figura 10. Gráfica relación E/F de mezclas asfálticas con diferentes llenantes minerales

Fuente: Elaboración de Eliana Martínez.

Con base en los resultados obtenidos de E y F Marshall, se puede concluir que:

1. La sustitución del llenante convencional por cal virgen, cal hidratada y cemento en la mezcla asfáltica con 5,5% de asfalto, origina un aumento significativo de la E, destacando que el mejor comportamiento se presenta en la mezcla con cal virgen. El aumento de la E es inversamente proporcional al Va de la mezcla; es decir, a menor valor de Va se presenta mayor E.
2. Con respecto al flujo Marshall, se evidencia que las mezclas de estudio presentan un leve aumento del F con respecto a la mezcla de control. Sin embargo, no se evidencia una relación directa de F en función del Va, dado que las variaciones del flujo con respecto a la mezcla de control son mínimas.
3. El valor de E/F de las mezclas asfálticas con cal virgen, cal hidratada y cemento presentaron valores superiores, iguales e inferiores al registrado por la mezcla de control, respectivamente. En este sentido, se puede decir que, a excepción de la mezcla de control, la relación E/F disminuye en la medida que aumenta el valor de Va. Estos resultados, son coherentes con los reportados en la E, por lo que se puede concluir

que la rigidez del material es influenciada directamente por los vacíos con aire de la mezcla.

Evaluación de la Resistencia a la Tracción Indirecta – RTI

Los resultados obtenidos del ensayo de la RTI para la mezcla de control y para las mezclas con llenante mineral de tipo cal virgen, cal hidratada y cemento, con 5,5% de asfalto, se presentan en la Figura 11. A partir de los resultados encontrados, se puede evidenciar que la presencia del llenante mineral de tipo cal virgen y cemento aumentan significativamente la RTI con respecto a los valores obtenidos con la mezcla asfáltica de control. Para el caso de la mezcla con cal hidratada, se puede evidenciar una reducción en referencia a la mezcla de control. En términos generales, excepto para la mezcla con cal hidratada, se observa una relación inversa entre la RTI y el valor de V_a ; es decir, que la RTI disminuye en la medida que incrementa V_a .

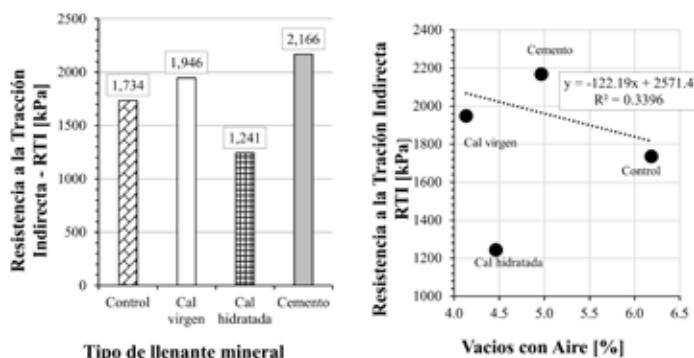


Figura 11. Gráfica resistencia a la tracción indirecta de mezclas asfálticas con diferentes minerales. Fuente: Elaboración de Eliana Martínez.

Conclusiones

En el presente estudio se evaluó la respuesta mecánica bajo carga monotónica que experimentó una mezcla de concreto asfáltico, cuando se sustituyó el contenido total del llenante mineral por cal virgen, cal hidratada y cemento. Con base en los resultados obtenidos se concluye que:

- La sustitución del llenante mineral convencional por cal virgen, cal hidratada y cemento, provocó un incremento de la resistencia bajo carga monotónica (estabilidad) y de la rigidez, con respecto a los valores obtenidos en la mezcla de control. Lo anterior puede ser un indicador de aumento de la resistencia a las deformaciones permanentes en zonas de alta temperatura. Estos aumentos en estabilidad están asociados a la disminución de los vacíos con aire, a la incorporación de un mayor número de partículas, que aumentó el número de contactos y la cohesión de la mezcla, y posiblemente, a las reacciones químicas resultantes de la interacción de los materiales.
- La incorporación de cal virgen y cemento como llenante mineral en la mezcla asfáltica de control aumentaron la resistencia a la tracción indirecta bajo condición seca (no condicionada). Sin embargo, la mezcla con cal hidratada presentó un comportamiento a la tracción inferior a la mezcla de control. La resistencia a la tracción indirecta guarda una estrecha relación con los parámetros volumétricos de la mezcla y con las posibles interacciones químicas entre los materiales, principalmente el contacto entre el asfalto y la llenante mineral.
- La incorporación de cal virgen, cal hidratada y cemento, como llenante mineral en mezclas asfálticas, representa una alternativa para mejorar la cohesión y la tracción de dichas mezclas. Sin embargo, se debe ejecutar una fase experimental en la que se analicen las propiedades físico-químicas de las diferentes adiciones, a nivel microestructural, y su incidencia en otras propiedades mecánicas, como son el ahuellamiento, el agrietamiento a bajas temperaturas, la resistencia al envejecimiento y la resistencia a la fatiga de mezclas en servicio.

Referencias

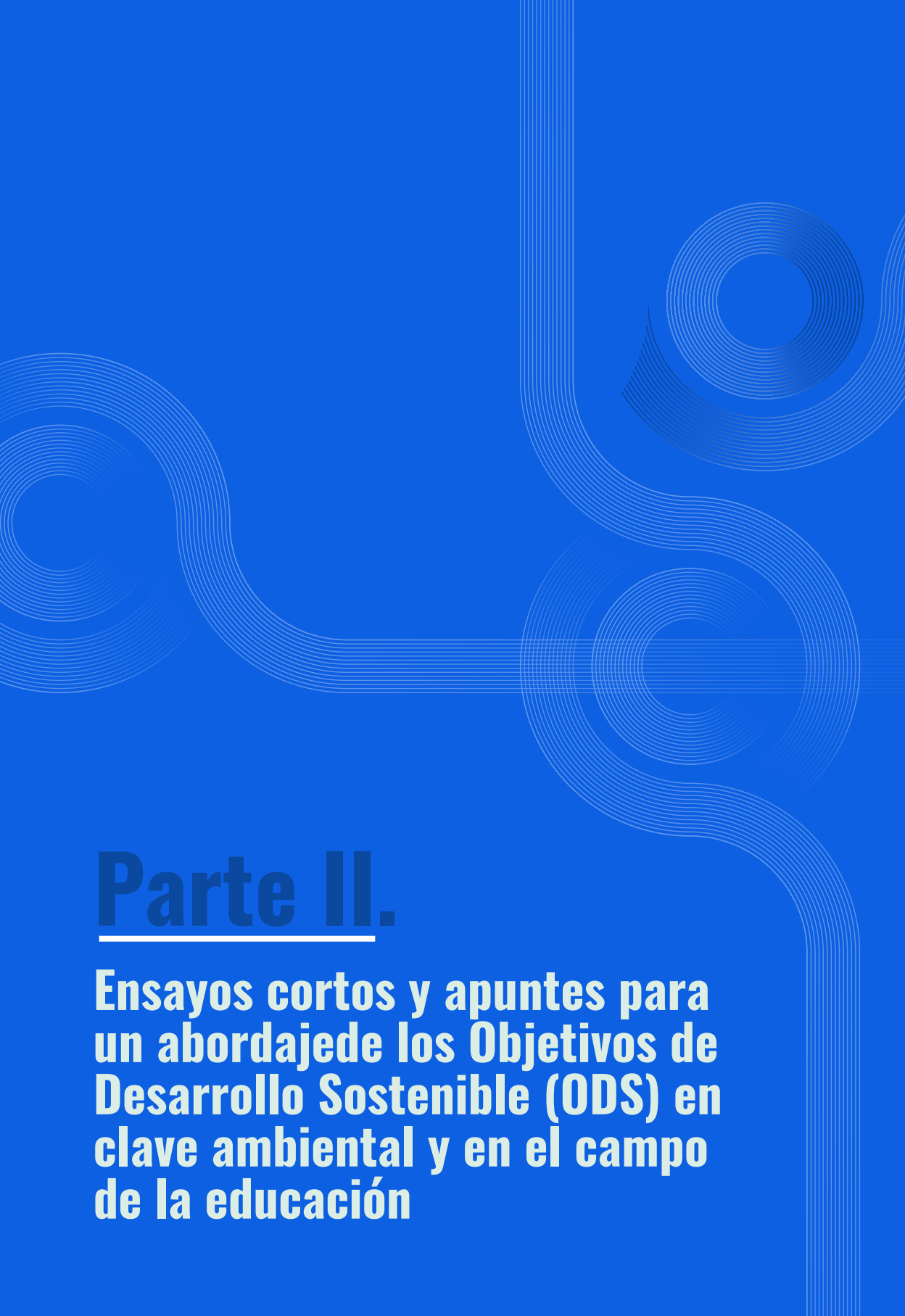
- Al-Khateeb, G. G., y Al-Akhras, N. M. (2011). Properties of Portland cement-modified asphalt binder using Superpave tests. *Construction and Building Materials*, 25(2), 926-932. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.06.091>
- Antunes, V., Freire, A. C., Quaresma, L. y Micaelo, R. (2016). Effect of the chemical composition of fillers in the filler-bitumen interaction. *Construction and Building Materials*,

104(1), 85-91. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.042>

- Bianchetto, H., Miro, R., Pérez-Jiménez, F., y Martínez, A. (2007). Effect of calcareous fillers and bituminous mix aging. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 1998(1), 140-148. <https://doi.org/10.3141/1998-17>
- Faheem, A., F., Wen, H., Stephenson, L. y Bahia, H. U. (2008). Effect of Mineral Filler on Damage Resistance Characteristics of Asphalt Binders. *Asphalt Paving Technology: Association of Asphalt Paving Technologists – Proceedings of the Technical Sessions 77*, 885-907. https://uwmarc.wisc.edu/files/2008_AAPT_Faheem_Effect_of_Filler_on_Damage_Resistance_of_Binders_abstract.pdf
- Gundla, A., Medina, J., Gudipudi, P., Stevens, R., Salim, R., Zeiada, W. y Underwood, B. (2016). Investigation of Aging in Hydrated Lime and Portland Cement Modified Asphalt Concrete at Multiple Length Scales. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 28(5) Documento1. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001501](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001501)
- Hassibi, M. (2009). Factores que afectan la calidad de la cal viva (CaO). *Chemco Systems L. P.* <https://studylib.es/doc/188865/factores-que-afectan-la-calidad-de-la-cal-viva--cao>
- Instituto Nacional de Vías, INVÍAS (2013). *Especificaciones generales de construcción de carreteras*. INVÍAS.
- Kraemer, C. P., Pardillo, J. M., Rocci, S. y Romana, M. G., Sánchez, V. y del Val, M. Á. (2004). *Ingeniería de Carreteras*. McGraw-Hill.
- Lesueur, D. y Little, D. (1999). Effect of hydrated lime on rheology, fracture, and aging of bitumen. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1661(1), 93-105. <https://doi.org/10.3141/1661-14>
- Lesueur, D., Teixeira, A., Lázaro, M. M., Andaluz, D. y Ruiz, A. (2016). A simple test method in order to assess the effect of mineral fillers on bitumen ageing. *Construction and Building Materials*, 117, 182-189. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.003>
- Likitlersuang, S. y Chompoorat, T. (2016). Laboratory investigation of the performances of cement and fly ash modified asphalt concrete mixtures. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 9(5), 337-344. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijprt.2016.08.002>
- Movilla-Quesada, D., Raposeiras, A. C., Castro-Fresno, D. y Peña-Mansilla, D. (2015). Experimental study on stiffness development of asphalt mixture containing cement and Ca(OH)₂ as contribution filler. *Materials & Design*, 74, 157-163. <https://doi.org/10.1016/j>

matdes.2015.02.026

- Oruc, S., Celik, F. y Akpinar, M. V. (2007). Effect of Cement on Emulsified Asphalt Mixtures. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 16(5), 578-583. <https://doi.org/10.1007/s11665-007-9095-2>
- Reyes Ortiz, O., Troncoso Rivera, J. y Camacho Tauta, J. (2010, enero-junio). Comportamiento mecánico y dinámico de una mezcla asfáltica con adición de cenizas volantes. *Ingeniería y Universidad*, 10(1). <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/iyu/article/view/910>
- Rondón, H. A., Ruge, J. C. y Farias, M. (2019). Behavior of a hot mix asphalt containing blast furnace slag as aggregate: evaluation by mass and volume substitution. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 31(2). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002574](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002574)



Parte II.

**Ensayos cortos y apuntes para
un abordaje de los Objetivos de
Desarrollo Sostenible (ODS) en
clave ambiental y en el campo
de la educación**

Capítulo 1. La seguridad hídrica, factor determinante de la efectividad de los Objetivos de Desarrollo Sostenible

Mg. Cristina Yanneth Barón Hernández, Unisangil

PhD. Edgar Ricardo Monroy Vargas, Universidad Piloto de Colombia

PhD. Felipe Santamaría, Universidad Piloto de Colombia

PhD. Iman Rousta, Yazd University

PhD. Haraldur Olafsson, University of Iceland

La seguridad hídrica en Colombia y en los demás países, aseguran asistir al acatamiento de los ODS, consolidándose en un elemento transversal y articulador que asegura la preservación de la vida del hombre y los ecosistemas; sin embargo, la pluralidad de tensiones en el mundo globalizado ha dificultado el avance programado de los ODS, siendo incuestionable que al año 2030 no se obtendrá la integridad de las metas. Por consiguiente, es imperativo dar continuidad a los sustanciales adelantos en materia de protección ambiental e involucrar a todos los actores y sectores en obtener la seguridad hídrica, en un espacio de cooperación coordinada conducente a sobreponerse a los desafíos impuestos por la disponibilidad crítica del preciado líquido, el crecimiento demográfico, cuerpos de agua contaminados, cambio climático, luchas por el agua, deterioro de las fuentes hídricas, conciencia ambiental limitada. Es ade-

más imprescindible conjugar estrategias en pro de salvaguardar el agua, garantizar su acceso, proteger las fuentes y, detener el detrimento, siendo la seguridad hídrica la respuesta apropiada al desarrollo sostenible de la población mundial actual y futura, con un correlativo desarrollo económico sostenible.

Definición de seguridad hídrica

Partiendo de la etimología, seguridad proviene del latín *securitas*, que significa libre de preocupaciones, e hídrico del griego *hydro* o agua y del sufijo *ico*, relativo a. Es decir, tranquilidad, confianza, sin temores en lo relativo al agua.

Realizando un parafraseo de autores como Grey y Sadoff en el 2007, al definir la seguridad hídrica, hacen referencia a la mixtura entre disponibilidad de agua y un grado de riesgo tolerable para el ser humano, sus economías en interrelación con la naturaleza (Citados por Martínez-Austria, 2013). Roberto Toto a su vez enlaza este mismo concepto dentro del contexto de defensa, observancia y efectividad de las condiciones instrumentales para la realización del ser humano, procedentes del agua, previniendo la escasez y, las subsecuentes consecuencias en el territorio y los habitantes. (2012).

En este punto, es pertinente traer a colación las dimensiones de la seguridad hídrica adoptadas por el Asian Development Bank (2016), conservando la integridad del ecosistema enmarcado en primer lugar por la dimensión doméstica orientada a las necesidades sanitarias y de consumo de las poblaciones rurales y urbanas; segundo, la dimensión económica proyectada a apoyar la actividad agrícola, industrial y energética avivando el crecimiento; como tercero, la dimensión urbana que desarrolla ciudades sostenibles; la cuarta, la ambiental referida a estabilizar las fuentes hídricas y, la última referida a la resiliencia ante desastres naturales a fin de mitigar los impactos.

Cada dimensión a su vez tiene unos problemas conexos a saber: agua para el consumo contaminada, desabastecimiento, nulo o deficiente prestación del servicio, disponibilidad limitada de agua en los periodos de sequía que interrumpen la producción del agro y demás sectores económicos que su actividad depende claramente del preciado líquido agua, insuficiencia en el manejo de aguas residuales, con las consecuencias negativas generadas por el

cambio climático. (Alianza Latinoamericana de Fondos de agua, s.f.).

De este modo, al concepto de seguridad hídrica, este ha sido abordado desde diversas ópticas, poniéndose en boga desde el año 2000 en un ámbito globalizado, ante un escenario de fenómenos sociales, políticos y económicos que, han repercutido en daños al medio ambiente, colocando en grave riesgo el agua y, por ende, la vida; se puede afirmar que, el ser humano y la naturaleza son cada vez más vulnerables ante la escasez del agua, impactando el acatamiento de los ODS.

La seguridad hídrica en el contexto del desarrollo sostenible

Colombia ha evolucionado en políticas, planes, sistemas e instrumentos jurídico ambientales en pro del logro de los ods, pero aún ante los ingentes esfuerzos en materia de seguridad hídrica, se hace más lento el proceso al tener que superar en primera instancia problemáticas como el abastecimiento de agua en condiciones aptas para el ser humano, en términos de idoneidad, cantidad, accesibilidad, asequibilidad, continuidad (OMS, 2006), en todo el territorio.

Así, la seguridad hídrica entra a depender del desarrollo económico, pero la creación de riqueza conducida al bienestar de la población, implica la intervención directa o indirecta del hombre sobre naturaleza y su afectación del agua, acelerando por ende, su escasez. Ejemplo de ello, está el crecimiento de la industria, la actividad agrícola, la explotación de los recursos minero energéticos que, si bien existe normativa aplicable a la mitigación del riesgo, hay factores adicionales como son los accidentes ambientales, discrecionalidad en el cumplimiento de la norma, ilegalidad o una conciencia débil por el cuidado de la naturaleza.

La relación en doble vía entre seguridad hídrica y desarrollo económico no entraría en conflicto si se enmarcara junto con la gestión de los riesgos y desastres (OCDE, 2016) con niveles de riesgo tolerables y, la sostenibilidad, concepto cuya génesis se dio en distintos escenarios espacio-temporales que, se resaltarán a continuación algunos con fines ilustrativos.

En el año 2006 el autor Marquardt, en el artículo: *Historia de la sostenibilidad, un concepto medioambiental en la historia de Europa central (1000-2006)*, ubica un primer acercamiento a sostenibilidad en el término “Nachhaltigkeit” desarrollado por Hans Carlowitz quien habló una teoría sobre la uso imponderable de los bosques, en lo concerniente a la relación entre la reproducción de los terrenos de árboles que no puede ser menor a la producción de la industria de hierro y plata.

Siglos posteriores hacia el periodo de los años setenta, el “*Informe al Club de Roma: Los límites del crecimiento*”, producto del estudio encargado por el Club a investigadores del Instituto de Tecnología de Massachusetts, expuso problemáticas con repercusiones ambientales que superaría los límites de crecimiento del planeta a lo largo de una centuria. (Cacique J, 2017, p. 3-4 citando a Meadows et al., 1972). De allí, el compromiso de socializar los resultados con los líderes mundiales, en aras de generar conciencia en la adopción de medidas de cooperación, hacia un desarrollo en consonancia con la seguridad hídrica, alimentaria y energética. (Castillo, 2017).

En Estocolmo también en 1972, existió la primera conferencia constituida por la ONU sobre medio ambiente humano, haciendo una exposición de cuáles son los países con alto PIB per cápita e industrializados y los que aún no han alcanzado este nivel, la identificación de las dificultades ambientales, subsistiendo un escrito con recomendaciones orientadoras acerca de las repercusiones a largo plazo si no se toman medidas de acción; así mismo, se expuso la ineludible obligación de respaldar a los territorios más vulnerables para asegurar la protección ante posibles crisis alimentarias y escasez del agua por el avance de las tecnologías industrializadas. (Moncayo, 2019).

Ulteriormente, surgió la Declaración de Río (1992), convocada por la ONU, que a través de sus principios plantea la prerrogativa de las personas a tener un ambiente sano, dentro de una comunidad amigable con la naturaleza, las obligaciones de los Estados en promulgar leyes, tomar acciones, cooperar y, de manera expresa se arroga el concepto de desarrollo sostenible. (Rendón Henao, 2018).

Durante la Cumbre Mundial de Johannesburgo (2002) concretando una agenda internacional para el planteamiento de objetivos conjuntos y con el inicio de los efectos legales del Protocolo de Kioto de 1997 sobre el cambio climático, se visualiza su notable por su propósito de obligar a los países industrializados a efectuar el principio de responsabilidad común, mitigando las emisiones de gases que cogen altas temperaturas de la atmósfera y, por otra parte, promoviendo el crecimiento sostenible de los países en vía a la industrialización.

Ciertamente, los ODS son una agenda integral donde establece las problemáticas a fin de introducir a los Estados en instituir en sus agendas políticas, estudios prospectivos, ideando escenarios más sostenibles, estableciendo metas a 2030 propuesta por la Asamblea General de la ONU donde los países miembros se comprometen a tener avances considerables en el cumplimiento de estas premisas garantizando entre otras cosas la seguridad hídrica. (PNUD, 2000)

Aterrizando al contexto colombiano los anteriores conceptos y propósitos erigidos a través de épocas, el desarrollo sostenible tiene un camino de altos retos ante la realidad de un país con poblaciones azotadas por la no satisfacción de necesidades básicas, la violencia, el olvido del Estado, el conflicto armado, la transgresión de los derechos humanos, la deforestación, la explotación indebida e ilegal de los recursos naturales, la asignación limitada de dineros para el cuidado y preservación del medioambiente, falta de conciencia ambiental entre otros tantos factores.

Los retos generados en los términos catalogados por Martínez-Austria en la disminución y contaminación del líquido vital, el cambio climático y los conflictos socio-políticos, y es allí donde la seguridad hídrica constituye el componente fundamental y eje transversal en favor de conseguir las metas planteadas en cada ODS frente al creciente daño ambiental reflejado en el cambio climático que comporta una exigencia mayor en obtener y mantenerla.

Remitiéndonos al Documento CONPES 3918 de 2018, establece:

La estrategia para la Implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Colombia, la cual define un conjunto de indicadores y metas para el seguimiento a los ods; las entidades responsables del cumplimiento de cada una de las metas; un plan de fortalecimiento estadístico para robustecer los sistemas de información que permitan medir el avance para los 17 Objetivos; una estrategia de territorialización de los ods; y los lineamientos para la interlocución con actores no gubernamentales (Departamento Nacional de Planeación, 2018).

De allí, se apoya en un importante impulso de los ods que ya en el 2020 arroja unos resultados favorables a algunos objetivos como puede validarse en la figura 1 que plasma los resultados del análisis de la información ods.



Figura 1. Índice de cumplimiento de los ODS en Colombia para el año 2020

Fuente: Centro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible para América Latina y el Caribe

Estos resultados instan a que la capacidad institucional debe ser la constante en el establecimiento de mejores prácticas estatales, inyección de capital en infraestructura, mayor inversión económica proveniente del conglomerado de sectores a los que atañe en igual medida la responsabilidad de propender por agua limpia y saneamiento básico a toda la población rural y urbana, siendo imprescindible afincar normativas más solidarias y obligantes en el manejo y preservación del recurso hídrico paralelo al crecimiento de la economía.

En la figura 2 se plasma la integración de actores e instrumentos para la Gestión Integral de los Recursos Hídricos con base en la Política Nacional de Gestión Integral de los Recursos Hídricos 2010-2022.

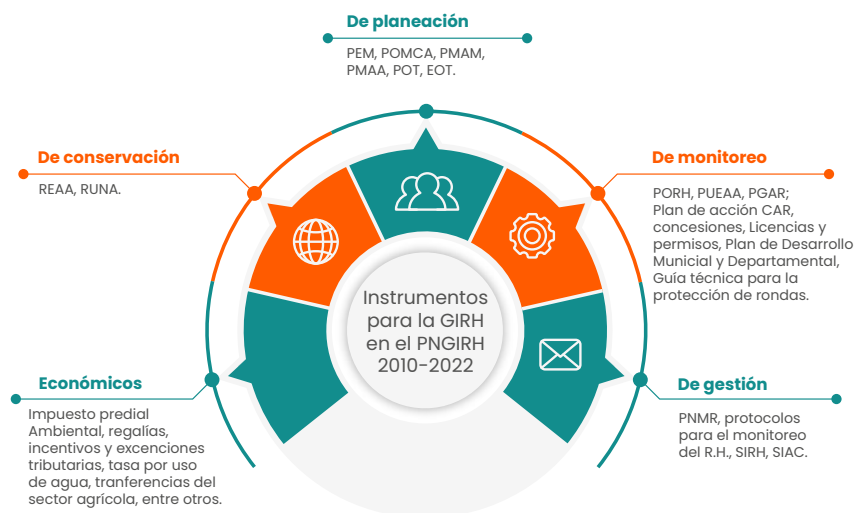


Figura 2. Actores e instrumentos integrados para la GIRH

Fuente. Elaboración propia a partir de información tomada de PNGIRH 2010 - 2022.

Puede observarse que alcanzar la alineación de la acción conjunta de las herramientas de gestión con la cooperación activa representada en la sociedad civil, usuarios, entidades estatales y autoridades ambientales, asumiendo todo este conglomerado la responsabilidad de una gestión integrada bajo los parámetros de una política ambiental en consonancia con los deberes de subsistencia y amparo del medio ambiente, afirmación que guarda relación con distintos pronunciamientos de la máxima Corte Constitucional, como por ejemplo, lo expuesto en el pronunciamiento C-462 de 2008 en lo referente a la articulación de los entes estatales, territorios y comunidades en un contexto de política públicas.

Global Water Partnership publicó en el 2013 en el *Documento de Perspectiva* acerca de los desafíos mundiales en aumento creados por crisis que comprometen a la población en todos los ámbitos, pero a la par expone que hay una mejor

disposición de los actores intervinientes elaborando propuestas de solución.

Es por ello que, la seguridad hídrica se encauza como parte del bien común dentro de un marco de amparo de los derechos inherentes a la dignidad humana, sin que ello signifique que el interés general subsuma los intereses del individuo porque podría estarse frente a una flagrante transgresión de derechos (Corte Constitucional, T-381 de 2009).

La ruta es la concertación de políticas para el acceso al agua en escenarios concertados que garanticen la disponibilidad, calidad, promoción del uso eficiente, esfuerzo presupuestal, gestión colectiva, educación ambiental. Es imperativo enfatizar en el bien común ambiental, determinado por las necesidades del conglomerado social, sin restringir los derechos individuales, excluyendo prerrogativas particulares, reforzando así el tejido social en un contexto de incesante evolución a un ritmo propicio para dar respuestas eficientes y eficaces a los desafíos impuestos por la realidad contemporánea con prácticas políticas favorables al mantenimiento de las aguas y por ello resaltando el papel preponderante la cooperación social y el liderazgo de las instituciones estatales sin dar lugar a fragmentaciones.

Bibliografía

- Alianza Latinoamericana de Fondos de Agua. (s.f.). https://www.tncmx.org/content/dam/tnc/nature/en/documents/mexico/LAWFP_Fact_Sheet_Espanol_Dic2018.pdf
- Asian Development Bank. (2016). Asian water development outlook 2016: Strengthening water security in Asia and the Pacific. Mandaluyong City, Philippines.
- Banco Mundial. (2020). Colombia un cambio de rumbo. Seguridad hídrica para la recuperación y crecimiento sostenible. Resumen ejecutivo. <https://thedocs.worldbank.org/en/doc/799011599058361548-0090022020/render/TurningtheTideBriefSPAUGUST3020.pdf>
- Casique, J. (2017). Trienal de investigación FAU, Memorias V Jornada de investigación. Caracas, Venezuela. https://trienal.fau.ucv.ve/2017/publicacion/articulos/AS/extenso/TIFAU2017_Extenso_AS-02_JCasique.pdf
- Castillo, R. M. (2017). Aplicaciones e interacciones de la Educación Ambiental. San Jose de

- Costa Rica, Costa Rica: RUNAE, 129-148. Universidad de Costa Rica. <http://runae.info/index.php/RUNAE/article/view/63>
- Corte Constitucional. (2008). Sentencia C-462. e <https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2008/C-462-08.htm>
- Corte Constitucional. (2009). Sentencia T-381. <https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2009/T-381-09.htm>
- Declaración de Río sobre el medio ambiente y desarrollo (1992). <https://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2014/02/Declaracion-de-rio.pdf>
- Departamento Nacional de Planeación (2018). Documento CONPES 3918. Estrategia para la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en Colombia. Obtenido de: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3918.pdf>
- Global Water Partnership, GWP, (2012). Aumentar la seguridad hídrica – un imperativo para el desarrollo. Documento de perspectiva. Primera edición. https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/perspective-papers/perspectives-paper_water-security_spanish.pdf
- Marquardt, B. (2006). Historia de la sostenibilidad. Un concepto medioambiental en la historia de Europa central (1000-2006). Revista Historia Crítica No. 32, Bogotá, p. 172-197. <http://www.scielo.org.co/pdf/rhc/n32/n32a08.pdf>
- Martínez-Austria, P. (2013). Los retos de la seguridad hídrica. Tecnología y Ciencias del Agua, vol. IV, núm. 5, pp. 165-180. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v4n5/v4n5a11.pdf>
- Moncayo, A. E. (2019). Los principios del Derecho Internacional Ambiental. Pasto, Colombia: Derecho y Cambio Social, (56), 370-387. Universidade Federal do Ceará Universidad Mariana de San Juan de Pasto. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=696792>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2016). Recomendación del Consejo de la OCDE sobre el Agua. Mejores Políticas para una vida mejor. <https://www.oecd.org/water/Recomendacion-del-Consejo-sobre-el-agua.pdf>
- Organización Mundial de la Salud, OMS (2006). Guías para la calidad del agua.
- Volumen 1: Recomendaciones. Tercera edición. https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD. (2000). Objetivos de Desarrollo

Sostenible (ODS). El agua limpia y saneamiento. <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>

Rendón, A. &. (2018). Responsabilidad social ambiental: una aproximación conceptual desde el derecho colombiano. Medellín, Colombia: (Bachelor's thesis, Universidad EAFIT).
Obtenido de <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/13148>

Sadoff, C. & Muller, M. (2010). La Gestión del Agua, la Seguridad Hídrica y la Adaptación al Cambio Climático: Efectos Anticipados y Respuestas Esenciales. Global Water Partnership. <https://mirocan.org/public/documents/outils/uploaded/B3eojyno.pdf>

Toto, R. C. (2012). Las dimensiones de la seguridad nacional en materia hídrica. Senado de la República, LXI Legislatura, Comisión de Recursos Hidráulicos,

Comisión de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México. <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/7/3184/20.pdf>

Capítulo 2. El derecho al agua protegido desde la cooperación de parques nacionales naturales

Mg. Cristina Yanneth Barón Hernández, Unisangil

PhD. Edgar Ricardo Monroy Vargas, Universidad Piloto de Colombia

El agua en la actualidad es uno de los más relevantes desasosiegos de los Estados y la sociedad, por las afectaciones generadas con el cambio climático, la contaminación, disminución y dificultades en su preservación, que han alcanzado cifras alarmantes que constituyen un verdadero peligro para la vida y la supervivencia; obligando a incrementar la creación o fortalecimiento de instituciones y estrategias orientadas a salvaguardar las áreas protegidas.

El líquido vital, deriva igualmente su esencial presencia en actividades propias de la subsistencia en condiciones óptimas de vida en condiciones de bienestar como la alimentación, salubridad, hasta el desarrollo económico en la agricultura o la industria; es decir, el agua determina las condiciones de vida del ser humano.

Los sendos pronunciamientos en la jurisprudencia colombiana por las dificultades en acceder al agua, se puede resumir afirmando que el agua inició su reconocimiento en calidad de derecho por vía de tutela y es a partir del año 2003 que es reconocido como derecho fundamental autónomo, posiciones ju-

jurisprudenciales que apoyaron un impulso mayor al desenvolvimiento normativo en todos los niveles de la división política-administrativa del país desde una óptica de darle el estatus de derecho, con la correlativa actuación en aras de propender su efectividad.

Así, se vislumbran poderosas herramientas internacionales y a nivel de Estado está la normativa, jurisprudencia e instituciones como Parques Nacionales Naturales de Colombia, con el propósito de respaldar como garantía el acceso a bienes ambientales indispensables como el agua, centrado en la planeación de desarrollo humano para las futuras generaciones, que para efectos de este escrito, se abordará un análisis desde los aportes que puede ofrecer.

Contexto internacional del agua vista como derecho

El derecho al agua potable nace en intrínseca correspondencia con el derecho universal a la defensa de la vida, su dignidad y el bienestar personal, es decir que, si es el Estado el que debe garantizar el ejercicio de otros derechos fundamentales, por tanto, debe asegurar un adecuado suministro y potabilización del recurso hídrico para su garantía.

En tal sentido, ha sido notoria la transformación de la perspectiva en materia de reconocimiento, regulación y reglamentación de este derecho, puesto que los preceptos normativos dentro y fuera del país han establecido los parámetros para su garantía, trazando lineamientos para la continuidad en los avances concerniente a la protección por medio de mecanismos legales.

El mencionado derecho ha sido reconocido en múltiples pronunciamientos internacionales y, se resalta algunos de ellos como puede visualizarse en la siguiente figura:

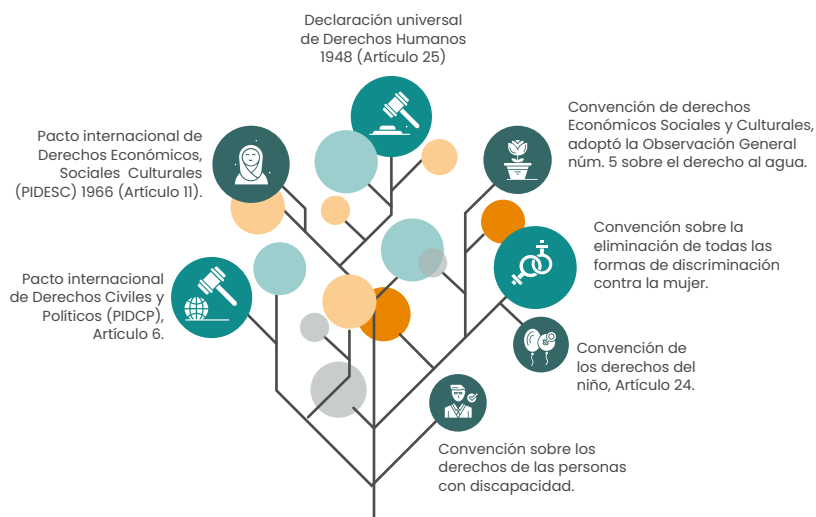


Figura 1. El agua vista como derecho.

Elaboración: Autores

De este modo, las naciones e incluso organizaciones internacionales han llegado al punto que han implementado estrategias de prevención y protección y han proclamado instrumentos importantes como la Declaración de Estocolmo de 1972 y la de Rio de Janeiro 1992, las cuales representan mecanismos internacionales de carácter vinculante, a las que todas las naciones deben remitirse para las políticas de conservación, defensa y reparación al medio ambiente, con la promulgación del agua como protección del bien supremo del derecho.

La Organización de Naciones Unidas (ONU) para el año 2015, establece los Objetivos de Desarrollo Sostenible, los cuales están contenido en diecisiete (17) y el objetivo sexto esencialmente comprende todo lo relacionado con agua limpia y saneamiento, que envuelva a la totalidad de la especie humana en cuanto a poder acceder al potable líquido vital, en condiciones de poder ser consumida, la de mitigar la creciente escasez, proteger los recursos naturales y congregar la cooperación internacional al término del 2030.

Con ello, se ha podido observar la preocupación que surgió en pleno Siglo XXI, referente al agua, con estos objetivos de desarrollo sostenible, y se da un re-

conociendo a la problemática a fondo; y con ello se realiza la gestión para que cada país en concreto busque los medios necesarios internamente para dar cumplimiento a dicho pacto internacional y lograr generar un cambio masivo en las naciones.

Teniendo en cuenta que el agua dulce se encuentra en muy poca proporción en el planeta, ya sea de ríos, lagos, lagunas, acuíferos, entre otros ecosistemas, entidades como Parques Nacionales Naturales se constituyen en el soporte de acceso a gozar de salubre medio ambiente como se expresa constitucionalmente y, el derecho de agua respaldado por pronunciamientos de la Corte Constitucional. Así, por vía jurisprudencial, existe importantes fallos como lo es la sentencia T – 740 de 2011, la cual declara al agua como un derecho constitucional de primera generación, exigible por el mecanismo de la tutela, permitiendo no acudir al bloque de constitucionalidad para ser garantizado.

Lo mencionado es la base cardinal para determinar que, con el avance jurisprudencial de la Alta Corte protectora de la Constitución, se estableció el Derecho de Agua en el rango de fundamental, facilitando así el amparo a través de instituciones jurídicas; además, al ser considerada como un elemento base para la supervivencia del ser humano y también como un recurso finito, se ha velado más por su protección y buen uso.

El desarrollo jurisprudencial del agua como derecho se ha hecho tangible en fallos de la Corte constitucional, que han trazado el camino para su garantía en sentencias como la T-578 de 1992, categorizando el agua en derecho inherente al ser humano cuando tiene como objetivo su consumo en aras de extenderse a la salvaguarda de otros derechos como a la salud, reiterando este concepto en el fallo de Tutela T-413 de 1995, siendo fructuosa esta alta corporación en los pronunciamientos referidos al agua como un recurso del cual se derivan otros derechos fundamentales estableciendo la autonomía de este derecho a partir del año 2003 con el criterio adoptado por el magistrado ponente Manuel José Cepeda Espinosa en el proveído C-150.

Cabe resaltar que, la Constitución Política de 1991, cuenta con un capítulo que contiene todos los derechos fundamentales, los cuales van del artículo 11 al 42; pero con el pasar de los años y el crecimiento de las comunidades, la Corte

Constitucional ha tenido que estudiar la normatividad colombiana acorde a casos de la vida real, como lo es lo expuesto en las tutelas formuladas por particulares.

Para lograr este reconocimiento, la Corte Constitucional ha acudido a análisis sistemáticos de la norma, para interpretarla y con ello adaptarla a los cambios sociales que ocurren día a día; su contextualización a nuevos escenarios globalizados traen consigo decisiones trascendentales como la promulgación de un derecho fundamental extra constitucional que goza de la misma fuerza vinculante y relevancia jurídica que los derechos constitucionales.

Ahora bien, el derecho tiene vigencia para el hombre que forma parte de una sociedad, pues fuera de ella no existen derechos mutuos ni obligaciones recíprocas, como tampoco autoridad que los haga cumplir. La estructura de los sistemas jurídicos en los Derechos Humanos, DDHH, es universal, pero la técnica jurídica es la forma como se aplica el derecho y quienes lo aplican son los Estados que han aceptado incorporar en sus Declaraciones de Derechos los Derechos Humanos y es en particular a cada Estado, pasando de ser constituciones decimonónicas pragmáticas a ser normativas y de aplicación directa; de esta forma se busca una unificación en la técnica jurídica, complementado por Norberto Bobbio que dijo que: “los Derechos Humanos más que fundamentarlos se deben realizar y para ello requiere que se expresen en las constituciones políticas” (Hoyos Vasques, 1995).

Las Naciones Unidas (2001), estableció que *“es derecho de todos a disponer de agua suficiente, salubre, aceptable, físicamente accesible y asequible para sus usos personales y domésticos”*, concepción similar a la OMS en “The right to water” en el 2003, de modo que se bosqueja una intrínseca confluencia de intereses particulares y generales que confluyen en la consigna de proteger, apropiar y conservar este derecho.

La ONU en Asamblea General, mediante Resolución A/RES/64/292 del 2010, estableció la obligación para que los Estados miembros empiecen a materializar este derecho incorporando en la correspondiente legislación las normas necesarias tendientes a este fin. (Centro UC. Derecho y gestión de aguas, 2020).

Acatando dicha obligación, el Estado Colombiano le otorgó esa responsabilidad en su aspecto técnico al Instituto Nacional de Salud como supremo Vigilante con la SIVICAP, sigla que hace relación al sistema que articula todas las entidades de vigilancia y control del sistema general agua potable y saneamiento básico del Estado Colombiano; en otros términos, este sistema vela por el cuidado y atención de la calidad del agua en condiciones aptas para el consumo de las personas.

A hoy en Colombia se ha velado por la protección de aguas, incluso por vía Constitucional; en donde la máxima Corte guardiana de la Constitución, derechos y garantías originarias, por el fenómeno de transmutación de derechos, ha legitimado el amparo como un derecho constitucional fundamental, asegurando que los colombianos puedan tener acceso a ella y a velar por el cuidado y protección de nuestro recurso hídrico. Si bien, Colombia se considera como potencia en materia hídrica, no se ha protegido de la manera más eficiente y se han perdido fuentes hídricas por contaminación, lo cual genera que se hayan desaparecido o contaminado a tal grado que no se puedan restaurar.

Intervención de los Parques Naturales del territorio colombiano

Establecida el agua como parte del tejido de un derecho reconocido universalmente y por vía jurisprudencial, se toman como base para revisar el aporte que puede ofrecer los parques nacionales naturales en procura de protección del multicitado derecho.

La ley 165 de 1994 en el artículo segundo define área protegida “como un área definida geográficamente que haya sido designada o regulada y administrada a fin de alcanzar objetivos específicos en conservación”, entendida inmersa en la Constitución en los Artículos 8, 79 y 80. En este sentido se cita a Burbano-Orjuela (2016) quien resalta el impacto de la biodiversidad como factor significativo para la evolución y la vida, del mismo modo, el valor de los servicios ecosistémicos, económicos, científicos, entre otros.

Es indiscutible que, las áreas protegidas recobran total prevalencia por la relación directa con la protección del agua, áreas que internacionalmente y al

interior del estado desde 1938 han procurado su conservación, para luego hacia 1960 aparecer el sistema de estos Parques (organizado según se muestra en la Figura 2), expuesto constitucionalmente en 1991 en los fines señalados en el artículo 328.



Figura 2. Organigrama Parques Nacionales de Colombia.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos tomados de Parques Nacionales de Colombia, 2022

Posteriormente, en el 2010 con el CONPES, 3680, se consolidó el Sistema Nacional de Áreas Protegidas y, en materia más reciente surgido por necesidad de ejercer el resguardo contundente de las áreas protegidas con la intervención de distintos actores, se formuló una novedosa Política para la consolidación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas-SINAP, contenido dentro del CONPES 4050 del 27 de septiembre de 2021.

El conjunto normativo es extenso y, ha venido en crecimiento a nivel del país, los departamentos y los municipios por las favorabilidades dadas a las poblaciones circundantes y la búsqueda del equilibrio en minimizar los riesgos con ocasión de la intervención del hombre y su impacto en la naturaleza, en lo tocante a la protección y conservación del agua de estos territorios estratégicos.

Por otra parte, con la reiterativa afirmación del agua como base para la subsistencia del hombre en su acepción genérica y de los ecosistemas, junto a la evolución de la humanidad y las civilizaciones, se ha demostrado con el tiempo el gran avance que el hombre ha tenido a nivel intelectual y social; así mismo, ha perfeccionado diferentes estrategias y mecanismos para su supervivencia, valiéndose de los recursos aprovechables y en especial de las fuentes hídricas, para su estabilidad alimentaria y salubre. Sin embargo, la intrusión nefasta del hombre sobre las áreas protegidas generó una transformación en una de las dificultades más acentuadas en el ámbito social, puesto que, la escasez del agua ha generado serios enfrentamientos en todos los sectores, como consecuencia de otras secuelas sociales, políticas, económicas y culturales.

De esta manera, el concatenar instituciones como Parques Nacionales Naturales con la normativa y jurisprudencia se conforma un andamiaje estatal donde además de blindarse contra la vulneración de derechos que se despliegan de la dignidad humana, se impone a su vez obligaciones correlativas referentes al uso integral, racional y eficiente de los recursos naturales.

Referencias

- Álvarez, R. B. (2011). El agua como derecho fundamental y su protección jurídico - penal. *Prolegómenos. Derechos y Valores*, XIV. ISSN: 0121-182X. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87619038015>
- Botero, V. (1939). Régimen Legal de aguas en Colombia. Bogotá: Águila.
- Burbano-Orjuela, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de Ciencias Agrícola*, Volumen 33(2):117-124. Bogotá, Colombia. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v33n2/v33n2a11.pdf>
- Centro UC. Derecho y gestión de aguas. (2020). 10 años de Derechos humanos al agua y al saneamiento. Huella Hídrica. <http://derechoygestionaguas.uc.cl/es/documentos/new/199-hh18ddhhagua/file>
- Conferencia de las Naciones Unidas. (1977). https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/105490/WHA30.33_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Congreso de Colombia. (1994). Ley 165 de 1994, por medio de la cual se aprueba el “Convenio sobre la Diversidad Biológica”, hecho en Río de Janeiro el 5 de junio de 1992. Diario Oficial No. 41.589. Bogotá, Colombia. http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0165_1994.html
- Consejo Nacional de Política Económica y Social. (2021). Documento CONPES 4050 del 27 de septiembre de 2021. Bogotá, Colombia. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%c3%b3micos/4050.pdf>
- Constitución Política de Colombia 1991). Congreso de la República. Publicada en la Gaceta Constitucional No. 116 de 20 de julio de 1991.
- Corte Constitucional. (1992). T 578 M.P. Alejandro Martínez Caballero. Bogotá, Colombia. <https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/1992/t-578-92.htm>
- Corte Constitucional. (1995). T 413 M.P. Alejandro Martínez Caballero. Bogotá, Colombia. <https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/1995/T-413-95.htm>
- Corte Constitucional (2003). Sentencia C-150. M.P. Manuel José Pineda Espinosa. Bogotá, Colombia. <https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2003/C-150-03.htm>
- Corte Constitucional. (2007). T-270. M.P. Jaime Araújo Rentería. Bogotá, Colombia. <https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2007/T-270-07.htm>
- Corte Constitucional (2011). Sentencia T-740 M.P. Humberto Antonio Sierra Porto. Bogotá, Colombia. <https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2011/T-740-11.htm>
- Corte Constitucional (2014). Sentencia T - 028. M. P. Maria Victoria Calle Correa. Bogotá, Colombia.
- Díaz-Pulido, A. & otros. (2009). Desarrollo sostenible y el agua como derecho en Colombia. *Revista Estudios Socio-jurídicos*. ISSN: 0124-0579. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=73311610005>
- Gómez, A. (2013). *El derecho Fundamental al Agua*. universidad del Rosario.
- González, M. Y. (15 de 11 de 2013). EL ACCESO AL AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN COLOMBIA. *Revista de Economía Institucional*, ISSN: 0124-5996. Sistema de Información Científica Redalyc®: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41929178007>
- Hoyos Vasques, G. (1995). Derechos Humanos, ética y moral. Derechos Humanos, Ética y moral, 11.

- Motta, W. P. (2006). Sobre el derecho humano al agua. *Quórum. Revista de pensamiento latinoamericano*. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=52001612>
- Organización de las Naciones Unidas, (2001). Vigésima novena sesión del Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas. Suiza 11-29 de noviembre de 2001: Naciones Unidas.
- Organización de las Naciones Unidas, Consejo Económico y Social. (2002). Observación general N° 15. Cuestiones sustantivas que se plantean en la aplicación del pacto internacional de derechos económicos, sociales y culturales. <https://www.acnur.org/fileadmin/Documentos/BDL/2012/8789.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). Biblioteca Dag Hammarskjöld. Programa de las nacionesunidades para el medio ambiente (PNUMA): <http://www.un.org/depts/dhl/spanish/resguiids/specenvsp.htm>
- Parques Nacionales de Colombia. (2022). Organigrama. <https://www.parquesnacionales.gov.co/porta/es/organizacion/organigrama/>
- Prieto Bolivar, C. J. (2010). *El Agua. sus formas, efectos, abastecimientos, usos, control y conservación*. Bogotá D.C.: ECOE EDICIONES.
- Prieto, C. J. (2011). *El agua*. Bogotá: Eco Ediciones.
- República, C. d. (22 de diciembre 1993). Ley 99 de 1993. Diario Oficial. Bogotá.
- República, P. d. (15 de 09 de 1914). *Diario Oficial* 15.300. Decreto 932 de 1914. Bogotá, Colombia.
- Shiva, V. (2007). Las guerras del agua, privatización, contaminación y lucro (Segunda ed.). (S. X. Espña, Ed.) San Mateo Tezoquipan, Chalco Estado de Mexico, mexico: Siglo XXI.
- Sutorius, M. &. (2015). La fundamentalidad del derecho al agua en Colombia. *Revista Derecho del Estado*. ISSN: 0122-9893. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=337643091009>
- Taleva, O. (2011). Derechos Humanos. En O. T. Salvat, *Derechos Humanos* (pág. 271). Buenos Aires: Valleta Ediciones S.R.L.
- Torres, C. S. (2010). Factores normativos del acceso al agua potable: contenido real de un derecho. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53121459012>
- Velayos, C. (2008). *Ética y cambio climático*. Bilbao: Desclée de Brouwer S.A.

Capítulo 3. La encíclica *LAUDATO SI'*: desafío del cuidado de la casa común a partir de ciudades sostenibles

Mg. Cristina Yanneth Barón Hernández, Unisangil

PhD. Edgar Ricardo Monroy Vargas, Universidad Piloto de Colombia

El urbanismo sostenible forma parte de la gestión urbana que propende por un desarrollo de las ciudades con un fundamento permanente enraizado en la protección del medio ambiente y es un concepto alineado con lo expresado por el papa Francisco en su encíclica sobre el cuidado de la casa común.

Resulta imperativo anclar el factor de movilidad, por cuanto los gobiernos tienen el deber de promover políticas de movilidad para no generar gases de efecto invernadero: las ciudades actuales deben minimizar las distancias de traslado entre las viviendas y el trabajo de sus ciudadanos, con la finalidad de que el desplazamiento en transporte público sea menor o se pueda tener una red de vías para bicicleta, como medio alternativo de movilidad (Rodríguez, Ruiz y Ortiz, 2017).

Al respecto, el santo padre Francisco manifestó que el urbanismo sostenible es un proceso de gestión urbana cuya finalidad es mejorar las condiciones actuales y futuras de las ciudades o centros urbanos, sin deteriorar las condiciones medioambientales del lugar. Todo conlleva un plan de mejoramiento por parte del Estado —mediante adecuaciones de parques, zonas residenciales, protección de reservas naturales, establecimiento de políticas de ahorro

energético, cobertura del agua potable, protección de los acuíferos y la gestión integral de los residuos—, cuyo propósito es la creación de un entorno agradable a partir de una red de zonas verdes, en alineación con lo señalado por el papa Francisco en su carta encíclica *Laudato si'*, sobre el cuidado de la casa común (2015):

Hoy advertimos, por ejemplo, el crecimiento desmedido y desordenado de muchas ciudades que se han hecho insalubres para vivir, debido no solamente a la contaminación originada por las emisiones tóxicas, sino también al caos urbano, a los problemas del transporte y a la contaminación visual y acústica. Muchas ciudades son grandes estructuras ineficientes que gastan energía y agua en exceso. Hay barrios que, aunque hayan sido construidos recientemente, están congestionados y desordenados, sin espacios verdes suficientes. No es propio de habitantes de este planeta vivir cada vez más inundados de cemento, asfalto, vidrio y metales, privados del contacto físico con la naturaleza. (Numeral 44, p. 35)

Además, la elaboración de un proyecto de desarrollo urbano sostenible permite considerar y analizar varios aspectos que conduzcan al mejor aprovechamiento de las energías y las condiciones del terreno por intervenir. Para ello, es relevante manifestar la importancia de establecer redes de espacios públicos:

Transporte, infraestructuras y servicios; el diseño bioclimático de las edificaciones; la orientación de las fachadas respecto al norte y a los vientos dominantes; los materiales de construcción limpios; el ahorro de energías y agua; la utilización de energías renovables; la gestión de residuos; entre otros. El diseño urbano sostenible aporta la compatibilidad de los usos urbanos, combinando múltiples actividades en un solo edificio. (Sandoval-Ruíz, 2015, p. 7)

En consecuencia, al implementar modelos eficientes de ciudad inteligente dentro del marco de desarrollo territorial que promuevan la concentración de viviendas, los comercios y el entretenimiento en una misma zona, se disminuye el uso del automóvil. Este concepto es promovido dentro del desarrollo de

ciudades sostenibles, las cuales deben favorecer “el equilibrio entre la sostenibilidad del ambiente natural, la equidad social y las inversiones que hacen la economía”.

Para ello, se debe lograr una planificación urbana de una manera en que los intervinientes (Gobierno y ciudadanía) coincidan en sus objetivos: la mejora continua de la calidad de vida, en aspectos como la movilidad, la generación de espacios públicos, la gestión integrada del recurso hídrico, entre otros de gran importancia, lo cual genera grandes oportunidades de crecimiento económico y mejora la casa donde vivimos, de acuerdo con los postulados de la encíclica del papa Francisco. A este respecto, el mejoramiento de redes de acueducto, drenajes y basuras, en la mayoría de las ciudades, y la mejora de las condiciones operativas y de mantenimiento en las redes viales y el transporte público hacen del urbanismo sostenible la agenda de trabajo de muchos dirigentes políticos (Francisco I, 2015).

Edificación e implementación de rellenos sanitarios bajo estándares internacionales

Con la edificación e implementación de rellenos sanitarios se obtienen vertimientos con características ambientalmente tolerables, lo cual conlleva la disminución de la contaminación en los organismos hídricos y, el costo del tratamiento y de la disposición puede representar hasta un 50% del valor del tratamiento total; es por esto que el manejo y la disposición de los lodos residuales ha sido un problema ambiental, económico y tecnológico para los municipios e industrias (Decreto 2811 de 1974).

En ese orden de ideas, el marco jurídico universal de los Objetivos del Desarrollo Sostenible del Programa de las Naciones Unidas tiene su fundamento en los Artículos 11 y 12 del Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales, en los que se manifiesta que, como los recursos naturales son fundamentales para la vida y la salud de las personas, con el propósito esencial de vivir dignamente, los Estados Partes de ese convenio se encuentran obligados a adoptar las medidas necesarias para garantizar el acceso efectivo a dichos recursos naturales, sin ningún tipo de discriminación, y a un servicio

domiciliario de carácter pluralista, el cual se deriva de un compromiso cuya finalidad es asegurar la subsistencia de las personas (Román López, 2018).

De esta manera, existe un compromiso real por parte de los países industrializados y de los que se encuentran en vía de desarrollo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero; compromiso no asumido como obligación, sino como una oportunidad para empezar a promover actividades industriales con ámbitos de sostenibilidad y a establecer una serie de opciones prospectivas para el año 2030 que otorguen, de acuerdo al contexto comercial, un entorno global de responsabilidad socioambiental (Francisco I, 2015).

La cultura en los países latinoamericanos debe incluir ámbitos que mitiguen estos riesgos a la salud pública mediante el ejercicio de prácticas más acordes con los cambios climáticos; por ejemplo, la construcción de los rellenos sanitarios ecoeficientes, a fin de generar energías limpias. Esta labor optimizaría las propiedades del suelo y contribuiría a generar mayores beneficios no sólo ambientales, sino también para la salud humana. Para esta serie de tareas de sostenibilidad se requieren incentivos financieros por parte de los Estados altamente desarrollados en inversión de tecnologías. Se debe dar un paso adelante en la promoción de este tipo de tendencias (Ojeda Gómez, 2011).

Planes de acción de ciudades sostenibles para frenar los fenómenos del cambio climático

Los Estados deben frenar los fenómenos del cambio climático de manera más contundente, con acciones encaminadas a reducir las emisiones de gases del efecto invernadero y con acuerdos internacionales más vinculantes; así como lo es, a manera de ejemplo, el protocolo de Kioto que, aunque su ejecución no ha sido factible, ya se establecieron herramientas contra ese flagelo, entre ellas, el Fondo Verde del Clima, instrumento financiero para apoyar los esfuerzos del mundo en la lucha contra el cambio climático; una de las tareas más importantes entre las acciones de mitigación necesarias en países que se encuentran en vía de desarrollo.

Desde el inicio del milenio se ha establecido la infraestructura para impulsar

todo tipo de proyectos que favorezcan el desarrollo sostenible de una manera resiliente frente al cambio climático, en aras de lograr energía sostenible, conseguir que el aire de las ciudades tenga calidad y promueva la salud, y a su vez, generar puestos de trabajo decentes con condiciones de higiene y salubridad; estos aspectos ayudan a erradicar la pobreza extrema (Núñez *et al.*, 2019).

El cambio climático inducido por la humanidad es un tema más allá de la política. Trasciende los partidos, las naciones, e incluso generaciones. Por primera vez en la historia humana, la propia salud del planeta, y por tanto las bases para el futuro desarrollo económico, el fin de la pobreza y el bienestar humano, están en el equilibrio. Si nos enfrentamos a una amenaza inminente de más allá de la Tierra, no hay duda de que la humanidad se uniría de inmediato en una causa común. El hecho de que la amenaza viene de dentro —de hecho, de nosotros mismos— y que se desarrolla durante un período prolongado de tiempo no altera la urgencia de la cooperación y la acción decisiva. (Martín del Toro, 2016)

Actualmente, el mundo se ha comprometido a disminuir el aumento de temperatura a menos de dos grados centígrados, ya que un aumento de 2 °C conduciría a condiciones peligrosas y sin ningún tipo de precedentes, como sería el aumento de desastres naturales a una escala jamás vista en la tierra a lo largo de la historia de la civilización humana.

Por ende, se debe establecer una nueva agenda para coordinar asuntos pertinentes a la protección del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, con una dinámica establecida en un plan de acción, con el fin de que la acción contra la minería y la tala ilegales y demás prácticas ilícitas se aborden de la siguiente manera:

El desafío de crear y aplicar mecanismos e instrumentos de coordinación en el proceso de formulación de propuestas e iniciativas de cooperación regional, que haga posible la gradual consolidación como un espacio de conservación y uso sostenible de la biodiversidad. (Núñez *et al.*, 2019)

Es así como se establecen políticas y directrices capaces de proteger los recur-

sos naturales, los entes territoriales y los gobiernos, mediante el ejercicio de funciones de protección ambiental, entre otros aspectos relevantes, que contribuirían a la paz y a la seguridad. Así también, se deben diseñar mecanismos y herramientas que acaben con todas las actividades ilegales, las cuales van en contravía de la biodiversidad. Estos postulados son aspectos relevantes que permitirían bajar los índices de violencia. Es evidente la ausencia de políticas de cooperación internacional específicas, en lo que respecta a la ayuda para la protección de los recursos naturales (Murillo, 2010).

Esta falta de preocupación es producto del desconocimiento de los Estados acerca de la importancia, lo cual se expresa en dos aspectos: primero, el no concebir políticas interiores fuertes y concretas que propendan por la protección, defensa y desarrollo de la zona; segundo, la ausencia de políticas exteriores que permitan la integración colectiva y cooperativa entre los países de la región. (Robayo Perdomo, 2016)

Así mismo, los parques naturales son espacios de riqueza natural, sin embargo, se carece de políticas concretas vitales que sean parte activa en la conservación y protección de los recursos naturales, tanto por parte de instituciones públicas de los Estados como de nuevas formas de cooperación transnacional, las cuales incurren en crear cultura de organización ambiental en temas de la agenda política; lineamientos que promuevan el desarrollo de una región, en aras de un progreso sostenible y del bienestar de sus habitantes, y que se propaguen en una cultura solidaria. (Murillo, 2010).

En efecto, se debe tener en cuenta que el desarrollo sostenible tiene que ser el primer objetivo, dentro del marco de seguridad, con la finalidad de concientizar sobre la prevención y protección no sólo de los recursos naturales de una región, sino también de suplir las condiciones básicas de vida y bienestar de la población. Combatir la pobreza mejorará la calidad de vida de las personas y aumentará la capacidad operativa de la seguridad y la defensa de los Estados (Observatorio de Tendencia Futuro 360°, 2018).

Proceso de estandarización en la elaboración de planes de desarrollo

La estandarización en la elaboración de planes de desarrollo obedece a procesos estratégicos en los que los factores de riesgo, sólo con el objeto de mantener la estabilidad y la supervivencia ante el cambio climático, desde una perspectiva de ecología integral. En la actualidad existe una norma internacional por la cual se deben regir no sólo las compañías, sino también los Estados. Se trata de la norma ISO 31000, que instituye los principios que fundamentan la gestión de riesgos, un marco de referencia que la delimita y direcciona y un proceso para la gestión de riesgo que facilita a todos los gerentes su apropiada aplicación.

En la actualidad, la familia ISO 31000 incluye:

- ISO 31000:2009. Principios y directrices sobre la aplicación
- ISO/IEC 31010:2009. Técnicas de evaluación de riesgos
- Guía ISO 73:2009. Vocabulario

Igualmente, identificar un riesgo es determinar los posibles eventos que con su incidencia puedan causar un impacto en los objetivos o procedimientos de una política o un sistema integrado. Además, la identificación de riesgos incluye describir con precisión esos procesos; es decir, analizar cómo ocurrirían y plantear múltiples escenarios para evaluar por qué se presentarían, qué o quién podría verse afectado por ellos, cuál sería la afectación y quién sería el responsable de manejar el riesgo (Instituto de Estudios Ambientales, IDEA, 2005).

Resulta imperioso implementar, en el marco de atribuciones y funciones para el desarrollo de obras que generen un sistema de planeación y desarrollo ambiental, una constante en las instituciones públicas y privadas para que atiendan las necesidades que resultan de este flagelo, mediante un proyecto conjunto y sistemático hacia el que converjan todos los esfuerzos mancomunados, con una sola visión a largo plazo. Es por eso que la prospectiva va también orientada al progreso, porque tiene enfoques y herramientas que le permiten construir pro-

yectos con objetivos a largo plazo y analiza las metodologías para identificarlos, con el fin de estructurar una nación y crear una política y cultura de prevención y mitigación de todo tipo de desastres. Su orientación depende de múltiples factores que influyen en el desarrollo organizacional (Rodríguez J. C., 2017).

De modo que, para iniciar esta política de desarrollo es fundamental que, en el espectro universal, se establezca un instrumento de competitividad eficaz mediante una mejora integral, para ponerle fin a la situación de las poblaciones vulnerables y a todos los problemas sociales que afectan la integridad humana.

Definir hacia dónde vamos es uno de los fundamentos de la encíclica papal y dar un primer paso hacia una formulación de la problemática es importante, porque es en dicha formulación que puede surgir una dificultad o un inconveniente en la sociedad actual. La mayoría de los países que se encuentran en vía de desarrollo no implementan o formulan situaciones reales del escenario actual para sortear todo tipo inconvenientes y problemas que enfrentan debido a las múltiples amenazas de origen natural o antrópico.

Como segundo paso, es importante la planificación de fines. Al definir la fórmula que se va efectuar, hay que elaborar un plan de trabajo hacia el cual cada uno converja para cumplir con lo que se va a realizar. El tercer paso para seguir un proceso metodológico es el plan de medios. Este consiste en escoger de manera adecuada los elementos con los cuales se puede contar para la elaboración de los fines por cumplir. Hay que diseñar el plan de recursos para tener en cuenta, además de los medios, el capital humano y patrimonial disponible que permita la creación de un sistema de manejo y control integral que incluya, ante el cambio climático, todas estas prácticas de sostenibilidad. El control de la planeación es importante, por no decir vital, al enfrentar aquellos inconvenientes que pueden surgir en la implementación de los planes establecidos (Vargas, 2016).

El descontrol climático, que se manifiesta, por ejemplo, con olas de calor cada vez más frecuentes e intensas, podría dar como resultado un incremento de enfermedades debido a las altas temperaturas. Esas condiciones también podrían agravar los problemas de la calidad del aire y pueden aumentar todo tipo de enfermedades virales y tropicales. Por otra parte, la transformación de

las ideas y los conocimientos en el ámbito productivo satisface las necesidades en torno al empleo de energías limpias con el propósito de establecer una cultura para el desarrollo sostenible y el mejoramiento de la calidad de vida de los ciudadanos.

Por tanto, es claro que debe abrirse paso a la creación de espacios organizacionales que desarrollen procesos de decisión internacional honestos e impulsen la productividad sostenible. Es trascendental establecer la innovación y generar prácticas de apoyo al empleo de energías limpias, con asesorías de expertos en la aplicación de procesos, como parte de los aspectos claves y determinantes de los avances de un país con amplia biodiversidad, a fin de lograr una gestión ambiental óptima.

Referencias

- Aísa, I. (2012). Arquitectura y sensibilidad. Filosofía en la arquitectura de Juhani Pallasmaa. *Thémata. Revista de Filosofía*, (45). <https://revistascientificas.us.es/index.php/themata/article/view/446>
- Instituto de Estudios Ambientales, IDEA. (11 de mayo del 2005). Índice de Gestión de Riesgos, IGR. Política de reducción de riesgos. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/28370/MIS51.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Martín del Toro, E. (2016). Estrategias bioclimáticas en la arquitectura tradicional canaria [tesis doctoral]. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=189789>
- Murillo, D. R. (22 de febrero de 2010). Políticas e instrumentos para mejorar la gestión ambiental en las pymes. Establecimiento de la gestión ambiental en las Pyme. Santiago de Chile, Chile: United Nations. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=hKi5W5-k_QYC&oi=fnd&pg=PA7&dq=gestion+ambiental+en+las+pymes&ots=FZo6e4UPZE&sig=iK-qZ5FnGynQZNeEYHC4M5URyY0#v=onepage&q=gestio
- Núñez, A., Miranda, F., Aliste, A. y Urrutia, S. (2019). Conservacionismo y desarrollo sostenible en la geografía del capitalismo: negocio ambiental y nuevas formas de colonialidad. En A. Núñez, F. Miranda, A. Aliste y S. Urrutia (Comps.), (Las) otras geografías en Chile: perspectivas sociales y enfoques críticos (pp. 23-46). LOM Ediciones. <http://repo->

itorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/170266/conservacionismo-y-desarrollo-sustentable.pdf?sequence=4

Observatorio de Tendencia Futuro 360°. (2018). Economía verde y ecoeficiencia: paradigmas para la sostenibilidad. Revista Mercatec, (54). <http://revistas.esumer.edu.co/index.php/merc/article/view/142>

Organización de Naciones Unidas, ONU (abril de 2015). Conflictos y recursos. <http://www.un.org/es/peacekeeping/issues/environment/resources.shtml>

Robayo Perdomo, N. (12 de octubre de 2016). Energías renovables: “La nueva economía” y su impacto ambiental. Universidad Militar Nueva Granada, UMNG. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/14894>

Rodríguez, G. (2017). El impacto de la enseñanza de la sostenibilidad en la arquitectura y el urbanismo. AUS, Arquitectura/Urbanismo/Sustentabilidad, (1), 6-9. <http://revistas.uach.cl/pdf/aus/n1/art09.pdf>Rodríguez, J. (2017). Metodología Prospectiva. Fases metodológicas. Publicaciones Universidad Militar Nueva Granada.

Rodríguez Miranda, J. P., Ruiz, M. A. y Ortiz, A. L. (2017). Planificación y gestión de los recursos hídricos: una revisión de la importancia de la variabilidad climática. Revista Logos Ciencia & Tecnología, 9(1), 100-105. <http://revistalogos.policia.edu.co/index.php/rlct/article/view/401>

Román López, E. y Córdoba Hernández, R. (2018). La experiencia del Aprendizaje-Servicio en el diseño de espacios públicos bioclimáticos. Propuestas bioclimáticas en el espacio público. En Jornadas sobre innovación docente en arquitectura, JIDA-18. Universidad Politécnica de Cataluña. <https://revistes.upc.edu/index.php/JIDA/article/view/5504>

Vargas, B. A. (2016). Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS) y arquitectura escolar. El espacio como reactivo del modelo pedagógico. Bordón. Revista de Pedagogía, 68(1), 145-164. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2016.68109>

Capítulo 4. La calidad de la educación: un concepto complejo y determinante en la transformación sostenible del sistema educativo

María Leticia Pineda Romero

Margarita María Pineda Romero

Efraín Casadiego Quintero

Según el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, a nivel mundial, seis de cada diez niños y adolescentes no están logrando un nivel de competencia mínima en lectura y matemáticas, lo cual conduce a que, en muchos casos, no puedan definir soluciones a problemas del ámbito social y ambiental. Probablemente el problema es que la educación no es inclusiva, existe inequidad entre el sistema privado y el público, y el sistema de educación no satisface la necesidad actual del país. Muchos hablan sobre la calidad de la educación: docentes, directivos, políticos y organizaciones sindicales. La mayoría de las veces se enjuicia como un concepto ineficaz, por considerar su origen en la economía y estar relacionado con conceptos como la calidad de resultados y la calidad del producto final. La calidad de educación afecta la toma de decisiones que ayudan a salir de zonas de pobreza extrema o en el manejo ambiental de los residuos debido al desconocimiento de su manejo y uso.

Sin embargo, el artículo *La calidad de la educación: Ejes para su definición y evaluación* de Rodríguez, (2010), analiza una nueva manera de entender dicho concepto y de reflexionar sobre los elementos, las variables y los enfoques que éste nos propone para poder tomar decisiones que promuevan la calidad educativa y, a la vez, desde los mismos sectores, se proponga casos de estudio donde puedan aplicar en aspectos ambientales como el manejo de residuos, el agua y la energía, soluciones a necesidades que se puedan utilizar en la misma comunidad.

Críticas y posibilidades del concepto calidad aplicado a la educación

El concepto calidad, que hace relación a la calidad de los resultados y a la calidad del producto final, es un concepto que tiene dificultades para su aplicación en la educación, debido a que es un proceso que, en primer lugar, requiere de tiempo para poder ver el “producto final o resultado” generado en la persona. También se dificulta porque generalmente, para alcanzar un determinado producto, en cada país y sociedad, se envían al sistema educativo los paquetes instruccionales que debe aplicar, lo cual no permite diferenciar los contextos de las instituciones, los profesores y los estudiantes. Los paquetes se aplican sin considerar estas diferencias y, por lo tanto, no tienen el mismo impacto en todos los contextos, por lo cual a veces los resultados, en unos y otros, son diferentes. Según la UNESCO (1991)

Una amplia literatura que aborda el problema de la calidad de la educación. Aunque existen distintas aproximaciones al tema, todos parecen coincidir en que el mejoramiento de la calidad constituye un campo altamente problemático de definición e intervención. La calidad de la educación es asociada al problema de la llamada “crisis de la educación”. (p. 11)

Es necesario revisar el concepto de calidad de la educación y adentrarnos en las posibilidades que nos otorga para tomar decisiones sobre el sistema educativo y a la vez poder evaluar situaciones concretas del proceso educativo, con el fin de mejorarlo y hacerlo más eficiente.

Descripción del concepto de calidad

El concepto de calidad tiene unas características bien importantes que es necesario revisar para entender mejor y saber cómo se puede usar de una manera coherente en la educación. Su esencia compleja, totalizante y multidimensional incluye a todos los actores de la educación, la infraestructura y el proceso de aprendizaje en sí. También tiene la peculiaridad de ser social e históricamente determinado; es decir, lo que es la educación para Alemania, puede no ser lo mismo para Colombia, ya que cada sociedad, en cada momento histórico, entiende el proceso educativo de manera singular y específica; por tanto, es un elemento que hay que tener presente en el momento de hablar de la calidad de la educación y al hacer su medición.

Según el Ministerio de Educación Nacional de Colombia (2010),

Se fundamenta en la convicción de que una educación de calidad es aquella que forma mejores seres humanos, ciudadanos con valores éticos, respetuosos de lo público, que ejercen los derechos humanos, cumplen con sus deberes y conviven en paz. Una educación que genera oportunidades legítimas de progreso y prosperidad para ellos y para el país. Una educación competitiva, pertinente, que contribuye a cerrar brechas de inequidad y en la que participa la sociedad. (p. 11)

Vemos cómo, al analizar el concepto de calidad desde esta perspectiva, el concepto cobra utilidad y se convierte en orientador de la toma de decisiones con respecto al proceso educativo, ya que nos permite evaluar en la realidad la imagen objetivo del proceso y de esta manera orientar las posibles modificaciones y transformaciones que se deban hacer.

El concepto calidad, visto de esta manera, también se convierte en un patrón de control de la eficiencia del servicio educativo, ya que nos permite evaluar en la realidad lo que pasa al interior del sistema educativo, para la operatividad de las decisiones político-técnicas que se requieren para optimizar el servicio educativo. Sin embargo, hay que tener en cuenta que, para poder usar correctamente los conceptos de calidad y eficiencia en la educación, es nece-

sario partir de una definición pedagógica de lo que se entiende por calidad de la educación, de lo contrario, seguiremos usando el concepto de manera errónea y equivocada.

El concepto de calidad de la educación

El concepto de calidad es complejo, totalizante, está determinado por el contexto histórico y social, permite definir la imagen objetivo de la transformación educativa y sirve como patrón de control de la eficiencia del servicio educativo. Sin embargo, para contextualizarlo en el ámbito de la educación, es importante recordar que el sistema educativo incluye unos subsistemas en los cuales sus fuerzas internas mantienen una constante interacción y contraposición, por lo que se hace necesario analizarlas para identificar los principios vertebradores y estructurales que le sirven de soporte al sistema.

Dentro de estos principios vertebradores, también hay unos ejes subyacentes que tienen la función de organizar los estamentos intermedios (supervisión y dirección), las características de las escuelas y los servicios educativos que prestan. De esta manera se espera que, cuando haya convergencia entre los ejes ideológico-políticos y la organización del aparato educativo, se pueda decir que hay calidad de la educación.

Es decir, tiene que haber unidad de criterio entre el proyecto político del país y el proyecto educativo que se lleva a cabo. La calidad de la educación se pierde cuando el discurso académico y la representación social de la educación van en contravía de los principios vertebradores, porque generan la pérdida de significado social de la educación.

El concepto de *calidad de la educación* no es un concepto neutro, es un concepto ideológico que nos ubica en contextos reales y específicos para decidir qué es la educación y qué se espera de ella en el proceso educativo. A la vez, es un concepto orientador que permite la evaluación y la transformación del

sistema educativo.

¿Cómo se puede medir la calidad de la educación?

Se puede hacer a través de los principios vertebradores, los cuales se orientan hacia las decisiones para transformar la educación y ayudan a determinar lo que se debe hacer. Se puede decir que sirven para medir la educación.

Estos principios se dividen en dos grandes dimensiones: las definiciones exógenas del sistema educativo, que responden a definiciones político-ideológicas y se expresan como fines y objetivos de la educación. Ellos son los que responden a los requerimientos concretos que desde los subsistemas de la sociedad se le hacen a la educación. Y, en la otra dimensión están las definiciones del sistema educativo, las cuales están relacionadas directamente con el aspecto fenoménico de la educación.

Se sabe que la educación debe responder a las demandas de conocimiento de la sociedad y, por lo tanto, también se puede afirmar que cuando la educación responde a estas demandas sociales hay calidad de la educación, pero, si por el contrario, la educación es incapaz de responder a las necesidades de conocimiento de la sociedad, ella lo invalida y se pierde la calidad. González, Frías y Gil de Gómez (1999) proponen que:

Sobre la evaluación orientada a la mejora están los trabajos de Hopkins, quien la define como un proceso sistemático, diseñado intencional y técnicamente, de recogida de información rigurosa —valiosa, válida y fiable—, orientado a valorar la calidad y los logros de un centro, como base para la posterior toma de decisiones de mejora tanto del centro como del personal implicado. (p. 359)

Es por esto que para medir la calidad de la educación a nivel macro es necesario analizar si el sistema educativo provee a la sociedad de valores que le generen integración social. Además, porque no sólo la sociedad le reclama al sistema educativo, también el sistema político le reclama la generación de valores y comportamientos que promuevan la democracia, la participación y la solidaridad. Se espera que las instituciones de educación se comprometan

desde su organización a desarrollar en los estudiantes conductas democráticas de manera real y comprometida.

Por su parte, el sistema económico también reclama de la educación el desarrollo de capacidades básicas en los estudiantes para que se adapten al proceso productivo. Se espera que los estudiantes aprendan a comunicarse, a trabajar en equipo, a participar de manera activa y crítica en el proceso de producción. Esto le da legitimidad al proceso educativo y hace pensar que el proceso es eficiente y de calidad. Por eso el sistema educativo debe incluir modalidades, especialidades y niveles de formación, con los que se aporte al desarrollo del conocimiento y la tecnología, marcando la diferencia entre los procesos formativos básicos y de educación media y los técnicos, tecnólogos, profesionales y de posgrados, ya que en cada nivel los aportes al conocimiento son diferentes; pero se debe empezar a proponerlos desde la educación básica. Para la *Revista Iberoamericana de Evaluación Educativa* (2010),

Es relevante dar cuenta de los logros de los estudiantes en términos de la posibilidad de expresar y comunicarse, acceder y usar la información, desarrollar el pensamiento lógico, explorar y explicar fenómenos, entre otras facultades que se potencian con la enseñanza de la lengua y la matemática. Pero es igualmente relevante analizar y emitir juicios fundados respecto del aporte de la educación al desarrollo de actitudes, disposiciones y comportamientos relacionados con el conocimiento de sí mismo, las emociones propias y las de los demás, las normas y principios que orientan una buena comunicación y crean relaciones de convivencia armónicas y propositivas. En esta mirada integral han de estar presentes, con igual fuerza, los principios y criterios ofrecidos y adquiridos para la toma de decisiones —que tienen que ver con respuestas éticas que hacen posible el respeto y la valoración por el otro y la diversidad—, así como también la capacidad de proyectar y promover una sociedad justa e inclusiva. (Murillo, J y Rondón, M., 2013, pp. 106-107).

En este mismo sentido, se puede medir la calidad de la educación, teniendo en cuenta la dimensión técnico-pedagógica, ya que esto permite organizar de manera concreta el sistema educativo a partir de los ejes epistemológico, pedagógico y organizativo administrativo.

El eje epistemológico ayuda a determinar el tipo de conocimiento que la sociedad requiere y se convierte en uno de los criterios que debemos tener en cuenta para elevar la educación. Es un elemento principal, porque es el que nos va a determinar la concepción de educación y aprendizaje que la sociedad necesita para formar parte de la construcción del conocimiento global. Por eso es un reto avanzar en el paradigma de lo que se considera es la ciencia, para asumirla como un conocimiento en constante construcción y deconstrucción, capaz de proponer nuevos modelos para conocer y transformar la realidad. Así mismo, en este nivel técnico-pedagógico, precisar el concepto de educación que se quiere, las áreas de conocimiento que incluye y el para qué de ella, es determinante para evaluar la calidad de la educación.

El eje pedagógico, por su parte, se encarga de definir el sujeto de la enseñanza, de analizar cómo aprende, también incluye el análisis de cómo se enseña y lo que incluye la propuesta didáctica. Se puede decir que hace énfasis en entender cómo aprende el estudiante y cuál es la teoría de aprendizaje que se debe adoptar; es decir, si se hace énfasis en el modelo conductista, o si, por el contrario, se debe implementar un modelo constructivista que le permita al estudiante ser hacedor de su propio pensamiento y formar parte activa del proceso.

Para Rodríguez (2010), entender el concepto de calidad, a partir del sustrato sociocultural de su época y conocer las condiciones generales en que se ha producido nuestro conocimiento de éste, facilita responder a las exigencias y a la realidad que se nos presenta como dada, pero que tenemos la capacidad de transformar.

Esto se ve reflejado en la organización de las instituciones educativas, las cuales pueden optar por un modelo vertical en el que no se promueve el diálogo entre sus miembros o por un modelo horizontal en el que se promueve la democracia, la construcción del conocimiento de manera colaborativa. De esta manera se pueden llegar a abarcar problemáticas como las tratadas por los Objetivos de Desarrollo Sostenible, lo cual puede involucrar al estudiante en la realidad de su entorno y en la solución a diferentes problemáticas. El uso práctico de los conocimientos en lectura y matemáticas por medio de soluciones

sostenibles impulsa al estudiante a ver un sentido en el uso de lo aprendido en su etapa educativa (Monroy, 2015).

El eje de organización, por su parte, hace referencia a la estructura académica; es decir, a la determinación de ciclos y niveles, dependiendo los primeros del cumplimiento de las necesidades sociales y ambientales, y los segundos, de la concepción evolutiva del desarrollo. Este eje, incluye la institución escolar, la cual debe ser definida también, ya que se puede pensar que ella sólo hace referencia a la escuela, o se puede entender como cualquier espacio de aprendizaje. Así se ampliarían las fronteras del conocimiento con el que se trabajará, para atender a las necesidades sociales de la educación, sin desconocer las características y necesidades de los grupos, incluyendo ciclos lectivos alternativos, sistemas de alternancia escuela-hogar, lugares de enseñanza, para responder a las necesidades reales de las comunidades.

Todo esto, además de decidir lo que más le conviene a la institución educativa en su organización, como lo es la descentralización o la regionalización, aclarando el porqué y el para qué, de cada una y cómo se ve afectada la institución educativa a nivel macro ante esta toma de decisiones.

Otro de los elementos que nos permite medir la calidad de la educación es la concepción que tengamos de qué es la institución educativa, ya que, como espacio de aprendizaje, puede ampliar su impacto de acuerdo a las necesidades y características del contexto al que le presta el servicio educativo. Por eso, tener en cuenta la organización del tiempo, del espacio y la configuración del poder institucional, como elementos para determinar la estructura organizativa de las instituciones educativas, es una obligación cuando abordamos el tema de la calidad educativa.

Conclusiones

Después de hacer un acercamiento más formal al concepto de calidad de la educación, el sistema se encuentra ante un gran reto, debido a que dicho concepto, por su complejidad, requiere que se determine lo fundamental e

importante y se elabore una escala de valor de sus elementos para empezar a implementar los cambios necesarios y se apliquen los conocimientos en un desarrollo sostenible.

Es importante poder determinar con claridad la imagen objetivo de la educación, ya que ella permite direccionar las acciones. Además, no podemos olvidar que este concepto es de orden ideológico y político, por tanto, desde allí, a nivel macro, con políticas educativas claras y coherentes, se puede impactar positivamente los subsistemas de la educación y darles rumbo.

Ya no se trata sólo de evaluar la educación, sino que es necesario comprenderla para poder gestionarla y entregarle a la sociedad la educación que reclama una mayor crítica de su entorno y la búsqueda de los problemas del desarrollo social. Además, es necesario ejercer control de la calidad, aunque muchas veces éste parece no estar bien direccionado, pero pensar en un sistema educativo que no tiene un patrón de control de la calidad es dejar el proceso al azar. Por eso, hacer mediciones confiables es determinante para quienes toman las decisiones sobre la educación.

Referencias

- Bolívar, A., et al. (2015). *Revista Iberoamericana de Evaluación Educativa*, 8(2). RINACE. http://www.rinace.net/riee/numeros/vol8-num2/RiEE_8,2.pdf
- Edwards Risopatrón, V. (1991). *El concepto de calidad de la educación*. UNESCO/OREALC. <http://unesdoc.unesco.org/images/0008/000884/088452SB.pdf>
- González, F, Frías, A. y Gil de Gómez, D. (1999). Modelo europeo de gestión de calidad. *Revista de Educación*, (319), 353-364. <https://www.educacionyfp.gob.es/dctm/revista-de-educacion/articulosre319/re3191807777.pdf?documentId=0901e72b812709c1>
- Ministerio de Educación Nacional. (2010). *Educación de Calidad. El camino par a la prosperidad*. Ministerio de Educación Colombiano. http://redes.colombiaaprende.edu.co/ntg/men/archivos/MinEducacion,%20Informe%20de%20gestion_2010-2014.pdf
- Monroy, E. R. (2015). *Nuevos retos y enfoques para la enseñanza de la Ingeniería Civil* pp:18-28, Entrelibros E-book Solution.

Murillo, J. y Román, M. (2010). Retos en la evaluación de la calidad de la educación en América Latina. En REVISTA IBEROAMERICANA DE EDUCACIÓN. N.º 53 (2010), pp. 97-120 (ISSN: 1022-6508)

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD. Objetivo 4: Educación de calidad. <https://www.co.undp.org/content/colombia/es/home/sustainable-development-goals/goal-4-quality-education.html#:~:text=El%20objetivo%20de%20lograr%20una,para%20garantizar%20el%20desarrollo%20sostenible>.

Rodríguez, W. (2010, enero-abril). El concepto de calidad educativa: una mirada crítica desde el enfoque histórico-cultural. *Revista electrónica "Actualidades Investigativas en Educación"*, 10(1), p. 1-28. <https://www.redalyc.org/pdf/447/44713068015.pdf>

Capítulo 5. Proyectos que contribuyen a mejorar el entorno de los estudiantes, sus conocimientos y competencias de manera sostenible

Néstor Rafael Perico Granados

Elsa Liliana Guzmán Rincón

Magda Lucía Umba Erazo

Carlos Andrés Reyes Rodríguez

Lina Fernanda Perico Martínez

Heidy Madeleine Arévalo Algarra

Introducción

A nivel mundial se evidencia una disminución en la construcción apropiada del conocimiento, tanto por la influencia de los sistemas de gobierno como por las actitudes de los docentes y estudiantes (Nusbaum, 2014). En este sentido, la educación en el siglo XXI no responde a las exigencias del mundo, porque es “rutinaria, inflexible, descontextualizada y estática” (De Zubiría, 2013b, p. 1). Por lo tanto, es necesario que el profesional, incorpore a su formación aspectos de competencias humanas a la vez que disciplinares. De esta manera, se puede obtener una formación profesional balanceada, tanto en la parte técnica como en la humana, para responder a los Objetivos de

Desarrollo Sostenible (ods). En el aspecto laboral, hay demanda de técnicos e ingenieros —para quienes son esenciales las matemáticas— que tengan la capacidad de comunicarse adecuadamente, puedan trabajar de manera interdisciplinar, sean líderes y entiendan la ética de su labor. Para esto se requiere el desarrollo de la comunicación interpersonal y la expresión en público, el trabajo en equipo, la cooperación, colaboración, solidaridad y autonomía, el pensamiento crítico, la experticia, las relaciones interpersonales, la ética y la creatividad (Vega, 2015). Estas competencias se desarrollan por medio del método de proyectos y se relacionan con el objetivo de desarrollo sostenible en educación. Además, se necesita flexibilidad en los planes de estudio, adecuados a las necesidades culturales y contextuales del individuo. En Latinoamérica muchos gobiernos centran los currículos en instrucciones que privilegian los contenidos y los comparan con indicadores internacionales que dirigen su objetivo hacia la medición de habilidades transdisciplinarias, lo cual hace que los resultados de la educación latinoamericana sean inferiores y poco competitivos (Eslava, 2015).

En un sentido similar, en Colombia, uno de los aspectos preocupantes, además de la flexibilidad curricular, es la deserción estudiantil. A este respecto, un compromiso de los docentes es aumentar el número de aprobados sin flojera asistencialista (Freire, 2002). Sin embargo, se requiere más compromiso en la construcción de conocimiento en matemáticas, física, cálculo, entre otras áreas. Igualmente, los estudiantes a veces tienen poca habilidad de comprensión y argumentación, producto de un bajo nivel de lectura y aplicación de actividades escritas en la educación básica y media (Bravo y Mejía, 2010). Entonces, es posible que la formación en estos niveles requiera la construcción de competencias disciplinares y humanas, y una opción es integrar las áreas de formación por medio de estrategias como la del aprendizaje basado en problemas (ABP) y el método de proyectos, que permiten el desarrollo del ser humano en diversas dimensiones y mejorar el entorno de los estudiantes (Tobón, 2006). Para Bogoya (2007), la naturaleza de las competencias se plantea como un equilibrio entre un saber profundo de un campo conceptual, la lectura crítica de una situación específica y el ensamble de una actuación única e irrepetible, pensada, diseñada e implementada que emerge de una manera

novedosa y efectiva, y trasciende en el tiempo y el espacio como alternativa formal (Bogoya, 2007, p. 9). Para aplicar la formación por competencias se deben desarrollar procesos dinámicos, como la metodología por proyectos, porque estructuran las destrezas del estudiante y con su desarrollo se construye el conocimiento, su comprensión, aplicación y valoración y se evidencian las competencias tanto humanas como profesionales (Facione, 2011). Así, se incrementa la inclusión y disminuyen las inequidades en la educación, lo cual permite que el estudiante analice, evalúe y mejore sus propios pensamientos de manera crítica (Perico y otros, 2021; Sastoque, Ávila y Olivares, 2019).

El aprendizaje basado en problemas orientado por proyectos (ABP-OP) es una metodología que busca la autonomía en la educación estudiantil, en la que los estudiantes aprenden a analizar problemáticas y proponen soluciones. A este respecto, Kolmos (2004) sostiene que “por medio del trabajo por proyectos logran una comprensión compleja analítica y competencias que no se pueden obtener mediante la participación de una clase de enseñanza ordinaria” (p. 88). Igualmente, por medio del desarrollo de proyectos se promueve la investigación formativa y se permite la creatividad y la curiosidad (Perico, Caro y Garavito, 2015a). En este método, el docente es un tutor que guía el proceso para desarrollar los objetivos propuestos y debe poseer un conocimiento académico y profesional que permita la construcción del conocimiento por medio de actividades como exposiciones, visitas de campo, ensayos de laboratorio; es decir, aprender a investigar investigando (Dewey, 1998; Perico, Sánchez y Suárez, 2017).

Para este estudio se llevaron a cabo dos investigaciones, en las cuales se desarrollaron análisis sobre la aplicación de proyectos en el proceso formativo de estudiantes en diferentes momentos de la vida estudiantil. En la tesis titulada *Las ciencias básicas como cimentación y articulación a la ingeniería civil en la USTA, Tunja. Caso: las Matemáticas* (Guzmán, 2019), se evidencia el desarrollo de competencias como la autonomía, el pensamiento crítico, el trabajo en equipo, la comunicación oral y escrita, el respeto y la construcción del problema y su resolución, mediante la aplicación del método de proyectos en las áreas de ciencias básicas en ingeniería civil. Estas competencias generan en el estudiante una cercanía hacia su labor como profesional y una formación

integral. Por otro lado, en la tesis *Método de aprendizaje basado en proyectos: Experiencia con jóvenes de educación básica* (Umba, 2019) se implementó el método de proyectos para el desarrollo de competencias como la responsabilidad, la autonomía, el trabajo en equipo, el respeto, el diálogo y la resolución de conflictos, la honestidad, la tolerancia; un proceso basado en principios y valores, para la educación de las matemáticas, con aspectos similares a los encontrados en investigaciones anteriores (Perico, Sánchez y Suárez, 2017). Estas competencias están inmersas en los Objetivos de Desarrollo Sostenible, específicamente en el que hace referencia a la garantía de una educación inclusiva, equitativa, y promueve el aprendizaje para toda la vida.

Materiales y métodos

En ambos casos el trabajo se hizo por medio de la investigación-acción en educación, un proceso que permite apertura para nuevas investigaciones. En el primero se presenta una aproximación al contexto curricular de la Facultad de Ingeniería Civil y el vínculo con el Departamento de Ciencias Básicas, por medio de la información contenida en los documentos institucionales. Se diseñó y utilizó una matriz de análisis documental para la correlación entre las variables y la articulación del programa curricular. Para el análisis de la información se hicieron encuestas y entrevistas —que hacen parte de la formación de los ingenieros— tanto a docentes como a estudiantes (Guzmán, 2019, p. 59). Al respecto, se hicieron entrevistas semiestructuradas a docentes del área de matemáticas e ingeniería civil, para conocer su punto de vista sobre el aporte de las ciencias básicas al programa. De igual manera, se llevaron a cabo encuestas a los estudiantes de segundo a quinto semestre, para quienes las ciencias básicas constituyen la mayor parte de su plan de estudios.

Así mismo, la segunda investigación aborda la relación entre la práctica educativa y la reflexión compartida sobre la práctica. El docente es investigador de su propia práctica para mejorar su capacidad de generar conocimiento profesional (Elliot, 1993). Se tuvo, como base del problema, la interpretación de los resultados de pruebas internas y la prueba estatal SABER 9.º y, dados los resultados, se decidió promover la pedagogía por medio del ABP-OP. La estrategia de trabajo se enfocó en el diseño y el desarrollo, por parte de los estudiantes

de grado octavo (53 estudiantes), en el área de matemáticas, especialmente la estadística. Los instrumentos usados para la recolección de la información fueron la encuesta, las observaciones de clases, notas o diarios de campo y las entrevistas. Se llevaron a cabo tres fases y se comenzó con el reconocimiento de la problemática, luego se hicieron las actividades propuestas para el desarrollo de los proyectos grupales y, la fase final, en la que se procedió a triangular los datos obtenidos en el diario de campo y los otros métodos mencionados para la recolección de la información (Umba, 2019).

Resultados y discusión

Resultados de la tesis de maestría, Las ciencias básicas como cimentación y articulación a la ingeniería civil en la USTA, Tunja. Caso: las Matemáticas (Guzmán, 2019)

Las ciencias básicas y su aporte al Programa de Ingeniería Civil

En este aspecto, se desarrollaron las actividades con base en dos actores: los estudiantes y los docentes, y se trabajó paralelamente con los documentos institucionales. En primer lugar, se aplicaron encuestas a los estudiantes, con el fin de abordar procesos de enseñanza y de aprendizaje en áreas de ciencias básicas. En la se presentan las asignaturas que desarrollan proyectos en sus procesos formativos durante los espacios académicos del Programa de Ingeniería Civil.

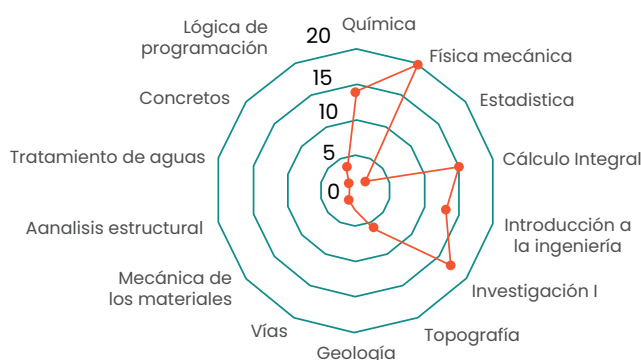


Figura 1. Asignaturas que desarrollan proyectos

Fuente: Elaboración de Heidy Madeleine Arévalo a partir de Guzmán (2019, p. 69).

Física es el área con mayor aplicación de proyectos, seguida de cálculo integral y química. En otras asignaturas, como probabilidad y estadística, es mínima la aplicación y para otras áreas, como cálculo vectorial, ecuaciones diferenciales, operacionales y numéricas, no se desarrollaron trabajos por proyectos, a pesar de su gran aplicación en la ingeniería. En las áreas de primer semestre, como cálculo diferencial, álgebra lineal y matemáticas, no se promovió el trabajo por proyectos.

Por otro lado, en asignaturas disciplinares como Lógica de programación, Introducción a la Ingeniería, Investigación I y Topografía se dio un mayor trabajo por proyectos (Guzmán, 2019, p. 69). Sin embargo, se aplicó el método de proyectos para la construcción de conocimiento disciplinar, pero sin incluir las competencias humanas como objetivos de aprendizaje.

En este sentido, sobre el método, 95% de los estudiantes manifestaron estar de acuerdo con la metodología de aplicar proyectos en sus procesos formativos, debido a que les permite entender diferentes asignaturas, saliendo de las clases magistrales y promoviendo ámbitos de investigación (Guzmán, 2019). Se encontró que el nivel de aprendizaje, por medio de los proyectos es del 83%, frente al 17% sobre la metodología tradicional, debido a que desarrollan competencias como la autonomía en el proceso de aprendizaje, lo cual se observa en la Figura 2.

Los estudiantes en este caso manifestaron que “muchas veces nos quedamos sólo con lo que el docente explica y no se busca ir más allá, mientras que con un proyecto sí” (Estudiante IV semestre). Igualmente, dijeron que “lo que uno indaga y le genera interés es lo que más recuerda” (Estudiante III semestre); “el conocimiento que se adquiere con la experiencia es mejor y más duradero” (Estudiante V semestre), y “es algo que uno realiza y no que el profesor explica” (Estudiante III semestre).

Por otro lado, los pocos que se inclinaron por el aprendizaje tradicional, lo ven como una manera más fácil de aprender, asumiendo un rol pasivo en su formación profesional. Igualmente, dicen que “el profesor explica claramente” (Estudiante II semestre); “mediante una buena pedagogía se aprende” (Estudiante IV semestre), y “es bueno que el profesor explique el tema porque se tienen bases y se tiene más clara la idea de lo que se está realizando”.

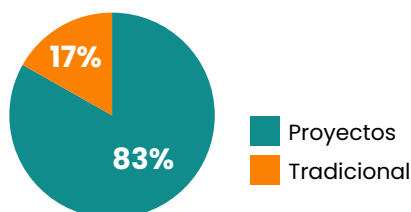


Figura 2. Nivel de aprendizaje logrado por los estudiantes

Fuente: Elaboración de Heidy Madeleine Arévalo a partir de Guzmán (2019, p. 71).

A este respecto, la enseñanza tradicional se fundamenta en modelos pedagógicos como el conductismo, en el que el estudiante es receptor de la información y no se tiene en cuenta si éste ha asimilado el aprendizaje (Boned, 2015). Freire propone que, para una enseñanza de “aprender a aprender”, se debe construir una epistemología sobre la base de una comprensión integral, partiendo desde el propio conocimiento, debido a que la realidad de los otros se entiende sólo cuando se percibe y se entiende la propia realidad (Freire, 2002). Por tanto, es necesario pensar en un cambio en la parte educativa, asociando aspectos ambientales, sociales, económicos y culturales (Torres, 2010; Kolmos, 2004).

La evaluación por proyectos se hace por medio de sustentaciones orales, apoyadas en ayudas audiovisuales o visuales, como los pósteres, que requieren mayor preparación y tienen mayor dificultad, pero logran que los estudiantes expresen sus ideas y sus calificaciones aumenten. Sobre esto, expresaron que las exposiciones disminuyen su tensión, en comparación con las pruebas escritas, debido a que, en éstas, si se falla en algo, se afecta el resultado del examen.

Por otro lado, está el tiempo que el estudiante invierte en el desarrollo de la asignatura, en comparación con el que emplea para desarrollar un proyecto. Se encontró que el tiempo que los estudiantes destinan al uso de las tutorías, si bien en los proyectos es un poco mayor, lo hacen con placer porque se ven motivados a asistir a ellas para solucionar dudas sobre sus proyectos (Guzmán, 2019). En general, en el método por proyectos, la evaluación se hace de manera progresiva y así se pueden verificar todos los procesos y los avances en la construcción del conocimiento (Perico y otros, 2021).

El tiempo de duración para el proyecto se establece para que los estudiantes construyan y resuelvan el problema y organicen sus actividades. Esto puede tomar días o semanas, como sucede en los desarrollados en el área de matemáticas. Se recomienda que los estudiantes eviten dedicarle demasiado tiempo al proyecto debido a que tienden a desmotivarse por tener otros compromisos académicos (Servicio de Innovación Educativa de la Universidad Politécnica de Madrid, 2008).

Sin embargo, es importante que el problema mantenga la motivación de los estudiantes para que haya continuidad en el tiempo. Así mismo, el tutor tiene que disponer de tiempo para resolver las inquietudes de los estudiantes (Restrepo, 2005). El docente debe mantener un equilibrio entre la asesoría oportuna, sin interrumpir cuando los proyectos van bien y orientar cuando se requiere (Kolmos, 2004; Perico y otros, 2021).

En este sentido, algunas de las competencias que se desarrollan por medio del método de proyectos se observan en la Figura 3, donde la mayoría se encuentra entre un nivel muy alto y alto, y un poco menos, en medio. Son muy pocas las competencias con niveles bajos o muy bajos.



Figura 3. Competencias desarrolladas

Fuente: Elaboración de Heidy Madeleine Arévalo a partir de Guzmán (2019, p. 74).

La aplicación de proyectos desde las áreas de ciencias básicas constituye un aporte importante a la formación integral de los ingenieros civiles por cuanto permite la investigación y el pensamiento crítico de los estudiantes, al tiempo que desarrollan las competencias observadas (Guzmán, 2019). Las competencias adquiridas por medio de la aplicación de proyectos de investigación facilitan el aprendizaje en cooperación, así como también el aprendizaje autónomo y la disposición de trabajo en equipo; con ellas se fomentan el diálogo y las actitudes proactivas frente a problemas reales. En lo que concierne al aspecto técnico, se desarrolla la capacidad de análisis, la facilidad de organizar ideas y la habilidad para pensar de manera crítica y reflexiva (Gil, 2018; Perico y otros, 2021). El desarrollo de ciertas competencias está muy relacionado con las características personales de los estudiantes, debido a que se observó que, con un buen rendimiento académico, éstos tienden a desarrollar mejor las competencias y a aplicarlas en su desempeño profesional (Labra et al., 2011).

Por otra parte, se hizo una revisión de documentos institucionales como los del Proyecto Educativo Institucional (PEI), las políticas curriculares, el modelo educativo pedagógico, el Proyecto Educativo de la Facultad (PEF) y el plan de estudios de las asignaturas de ciencias básicas de la Facultad de Ingeniería Civil. Allí se hace referencia a la inclusión de didácticas o metodologías que permiten desarrollar y fortalecer competencias como el pensamiento crítico, las habilidades comunicativas, como la expresión oral y escrita, y la solución de problemáticas cercanas al entorno regional y nacional, sin hacer alusión específica al trabajo por proyectos o al aprendizaje basado en problemas orientado por proyectos (ABP-OP) (Guzmán, 2019).

Implementar el ABP-OP produce resultados positivos y se requieren recursos de aprendizaje y de evaluación, como los descritos antes, que no se encuentran en la formación tradicional (Perico y otros, 2021). Sin embargo, éste no es el caso de la universidad bajo estudio. De todas maneras, el plan de estudios debe integrarse, en este caso, con las temáticas de las áreas de ciencias básicas y con el Programa de Ingeniería Civil (Latasa, Lozano y Ocerinjauregi, 2012); con respecto a lo cual, se destaca el punto de vista de los docentes por su papel en la comunicación con los estudiantes y entre ellos, y la construcción de competencias y habilidades humanas.

Así, en este caso, cuando no se tienen en cuenta aspectos de la formación cercana a la de los profesionales, es difícil que el estudiante desarrolle competencias como el pensamiento crítico (Carr y Kemmis, 1988). Por su parte, Schön (1998) expresa que la aplicación de la ciencia básica produce ciencia aplicada; una ciencia aplicada que usa técnicas para la solución de problemas y se apoya en los cimientos de las ciencias básicas.

Práctica docente en la formación de ingenieros civiles en la USTA, Tunja

Aquí se hizo un diagnóstico sobre el desarrollo de las actividades en los diferentes espacios académicos. Se trabajó con los profesores que son ingenieros y pertenecen a la Facultad de Ingeniería Civil y con los docentes del Departamento de Ciencias Básicas cuya formación disciplinar se fundamenta en las áreas de matemáticas, física y de pedagogía. Para este caso se analizaron siete aspectos: el primero fue la participación de los estudiantes en un clima de respeto, como competencia en la formación integral de los ingenieros civiles. Se encontró un trato cordial, con una buena comunicación por parte de los docentes al dirigir la atención de los estudiantes hacia la resolución de ejercicios y problemas propios del área (Guzmán, 2019). Son escasas las competencias que se desarrollan como las que se obtienen con el método de proyectos. Los resultados se ven en la Figura 4.

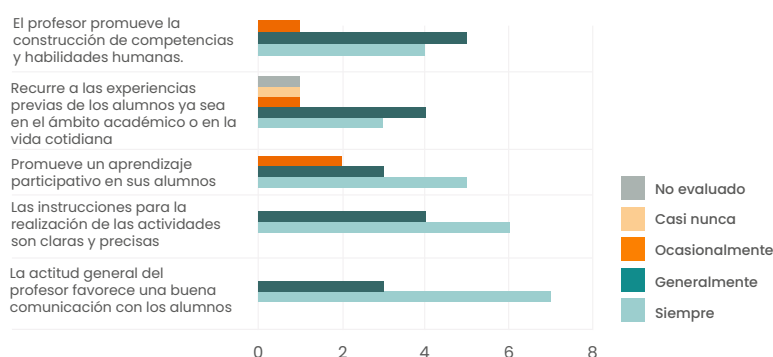


Figura 4. Participación de los estudiantes en un clima de respeto

Fuente: Elaboración de Heidy Madeleine Arévalo a partir de Guzmán (2019, p. 80).

En segundo lugar, se presenta la convocatoria del grupo por parte del docente, en la que propicia una participación activa de los estudiantes e incentiva el respeto entre ellos. Igualmente, se presenta una buena organización en la clase (Guzmán, 2019). En la siguiente figura 5 se ven los resultados:

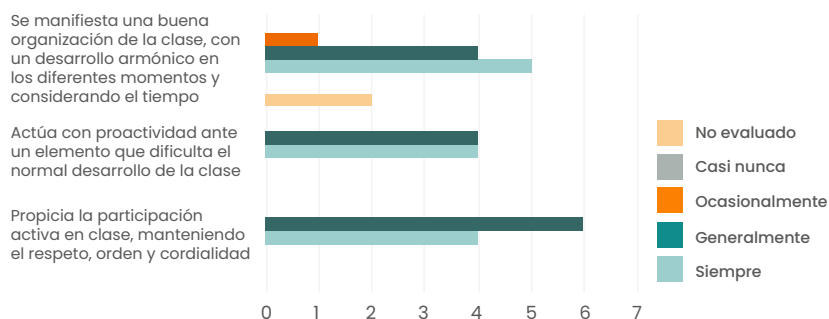


Figura 5. Convocatoria al grupo

Fuente: Elaboración der Heidy Madeleine Arévalo a partir de Guzmán (2019, p. 81).

El siguiente aspecto fue el dominio de la disciplina impartida por el docente; se destaca que los profesores tienen una formación académica de posgrado, en áreas de pedagogía y propias de las ciencias básicas. Al respecto, se encontró que manejan los contenidos con propiedad. Este proceso permite el desarrollo de objetivos claros para el aprendizaje de las asignaturas que enseñan. De igual manera, procuran cerciorarse de que los estudiantes hayan entendido los temas en cuestión, por medio del análisis de su conducta.

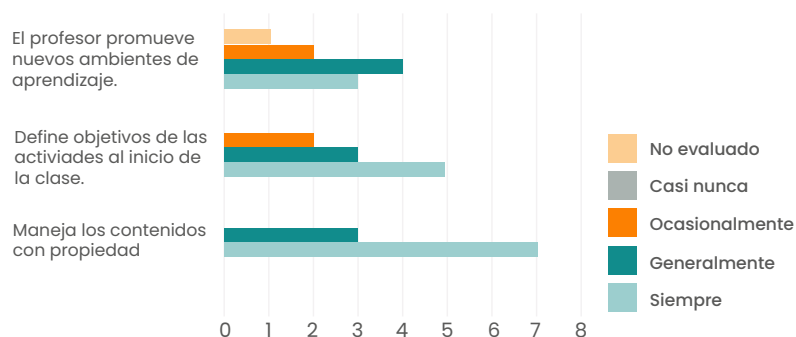


Figura 6. Dominio de la disciplina

Fuente: Elaboración de Heidy Madeleine Arévalo a partir de Guzmán (2019, p. 82).

Así mismo, se evaluó el uso de metodologías, medios y estrategias pedagógicas de manera efectiva. Se observó que el docente maneja el proceso de enseñanza de un modo ascendente; es decir, desde lo más fácil a lo más complejo, con referencias a los aprendizajes anteriores y con estrategias de motivación inicial. Si bien en las áreas de ciencias básicas hay espacios como los de las tutorías —debido a que las horas de clase no son suficientes para aclarar las dudas del estudiante—, muchas veces no se utilizan, lo cual aumenta la mortalidad académica.

A este respecto, con el uso del Aprendizaje Basado en Proyectos (ABPr) se incrementa la comunicación con el docente por medio de más tutorías, utilizadas con mayor efectividad, y se construye un conocimiento más profundo y duradero. Así mismo, se incrementa el desarrollo de la ejemplaridad, como construcción de conocimiento en otras áreas (Perico y otros, 2021).

Otro aspecto evaluado fue el de la preparación y aplicación de instrumentos de evaluación. En este caso se observa, para el tercer corte, una alta mortalidad de los estudiantes debido a que se aplica un examen conjunto a estudiantes del mismo nivel formativo. Este proceso limita a los docentes que por iniciativa propia utilizan el método de proyectos. Cuando no hay coherencia entre el proceso del método de proyectos y su evaluación, se pierden las bondades que éste genera (Kolmos, 2004).

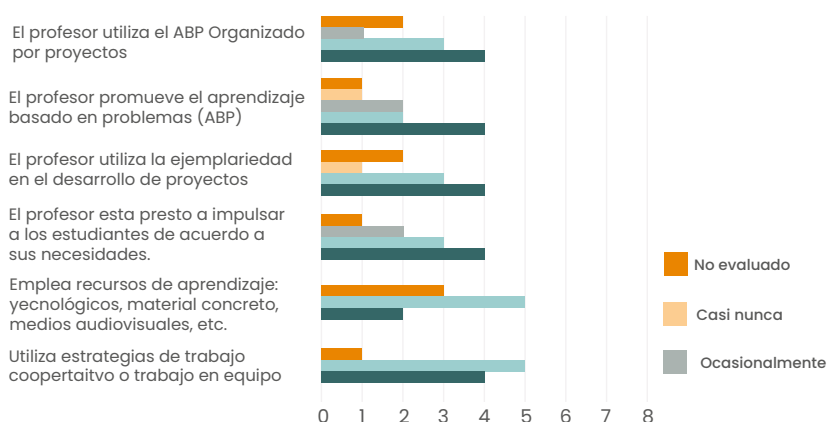


Figura 7. Metodología y estrategias pedagógicas aplicadas en ciencias básicas
Fuente: Elaboración de Heidy Madeleine Arévalo a partir de Guzmán (2019, p. 83).

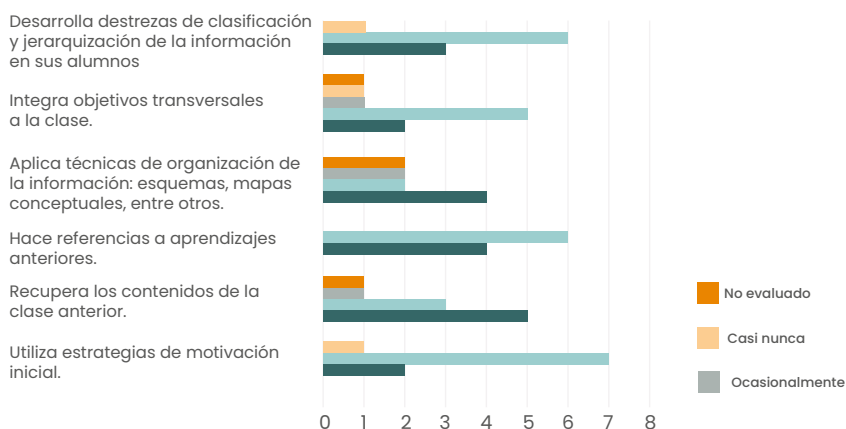


Figura 8. Metodología en la enseñanza

Fuente: Elaboración de Heidy Madeleine Arévalo a partir de Guzmán (2019, p. 84).

De la misma manera, en el diagnóstico se encontró que el estilo metodológico preferido por la gran mayoría de los docentes, al querer transmitir con claridad y precisión su conocimiento, es el de la exposición magistral, aunque también promueven debates y discusiones para que los estudiantes participen. A su vez, los estudiantes expresan que existe una buena comunicación entre el maestro y los alumnos.

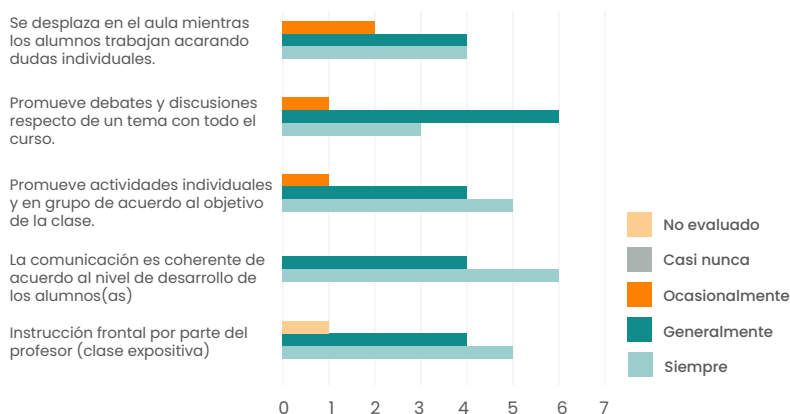


Figura 8. Metodología en la enseñanza

Fuente: Elaboración de Heidy Madeleine Arévalo a partir de Guzmán (2019, p. 84).

Por último, está el aspecto del desarrollo de clase en un clima y ambiente apropiado. Se observa que a las clases de matemáticas muchas veces asisten estudiantes desmotivados porque se les hace difícil el área. Según Flórez (1994), los docentes de las áreas de ciencias básicas que trabajan en la formación de ingenieros se caracterizan por utilizar el modelo pedagógico tradicional, en el que el estudiante es receptor de una transmisión de saberes técnicos (Flórez, 1994). Con el método de proyectos, se encontró que los estudiantes dicen que las sesiones se desarrollan en un ambiente motivado, desafiante y organizado y, en un menor grado, se percibe el interés por construir el conocimiento.

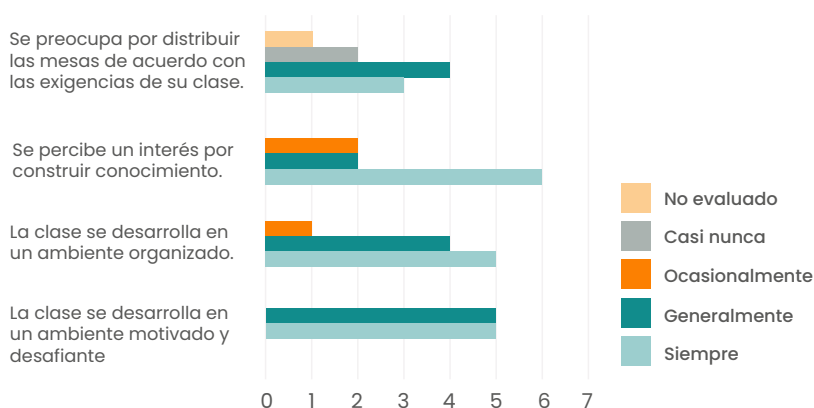


Figura 9. Desarrollo y ambiente de clase

Fuente: Elaboración de Heidy Madeleine Arévalo a partir de Guzmán (2018, p. 85).

Por otra parte, los resultados observados en los docentes ingenieros son metodológicamente similares a los encontrados antes en los docentes de ciencias básicas —pese a que la metodología del trabajo por proyectos es más utilizada—, pero en los aspectos eminentemente disciplinares. Se encontró que, en las exposiciones en que se usan ejemplos de ingeniería en la enseñanza, se desarrollan competencias comunicativas con más relevancia, como son la expresión oral y el trabajo en equipo.

En conclusión, no se está formando de manera apropiada en competencias, a pesar del uso esporádico del método de proyectos. Según Perrenoud y Le-

Boterf, la competencia es la capacidad de articular eficazmente un conjunto de esquemas (estructuras mentales) y valores, permitiendo movilizar (poner a disposición) distintos saberes, en un determinado contexto con el fin de resolver situaciones profesionales (confedi, 2016). Enseñar de manera tradicional, sin generar dinamismo entre el estudiante y las temáticas de las áreas de ciencias básicas infortunadamente no es una estrategia favorable en la formación de ingenieros civiles, debido a que enseñar de una manera en que solo se transfiere el conocimiento, para que el estudiante por su parte capte, articule y *aplique lo aprendido, no es suficiente (Giordano Lerena y Cirimelo, 2014).*

Propuesta de actualización al plan de estudios

Schön sostiene que la práctica profesional incluye un elemento de repetición. Un profesional es un especialista que tiene en cuenta ciertos tipos de situaciones una y otra vez (Schön, 1998, p. 65). Es decir, que cuando hay más prácticas, observaciones y contraste de la teoría con la práctica, la construcción del conocimiento es más efectiva (Guzmán, 2019). En este sentido, el ABP-OP permite el desarrollo de competencias que, al involucrar el conocimiento y las habilidades, también aplican, en la formación profesional, el conocimiento técnico y la parte personal, a fin de comprender el área de estudio como un todo. Se logra el dominio de la tecnología, el trabajo en equipo, la comunicación y otros aspectos que contribuyen a preparar al estudiante para las adversidades del medio laboral, económico y social (Guzmán, 2019). Son resultados similares a los hallados por Kolmos (2004) y otras investigaciones sobre proyectos (Perico y otros, 2021).

Por otro lado, las competencias que aún se pueden fortalecer en la Facultad de Ingeniería Civil, definidas a partir de los subprocesos, son: la interpretativa, con subprocesos en la comprensión del mensaje global de un texto; el entendimiento del sentido dentro de un contexto; el análisis de la estructura de conceptos; la identificación de un problema y el reconocimiento de los diferentes elementos que lo conforman; el establecimiento de relaciones entre procesos; y el acopio de información relevante para resolver un problema. Estos criterios se establecen en la comprensión del mensaje de acuerdo con el contexto, la relación de la nueva información con los saberes previos y la flexibilidad en el análisis (usta, 2010).

Igualmente, en la competencia argumentativa hay tres subprocesos que consisten en: la ilación de los conceptos con un propósito comunicativo específico, derivar implicaciones de las teorías y teorizar sobre un determinado hecho. Tiene criterios como la coherencia en los argumentos, la sujeción a pruebas y hechos que los demás pueden constatar, la sencillez en el discurso y la lógica (USTA, 2010). Por último, está la competencia propositiva, que incluye los siguientes subprocesos: el establecimiento de heurísticos (camino cortos para resolver un problema); el planteamiento de procedimientos para el mismo propósito y la formulación de la solución más adecuada de acuerdo con el contexto; la elaboración de mapas para orientarse en la realidad; la construcción de mundos posibles a nivel literario, y el establecimiento de regularidades y generalizaciones. Los criterios son la calidad en la resolución de problemas, la hipótesis científica y la lógica en las ideas propuestas (USTA, 2010).

Entre las competencias específicas se encuentran el trabajo en equipo, con elementos para implementar equipos de acuerdo con los requerimientos organizacionales específicos y negociar conflictos de manera pacífica, teniendo como referencia los requerimientos situacionales. Igualmente, la gestión de información, con el fin de buscar la que sea necesaria para desempeñar las actividades propias del ingeniero civil, de acuerdo a las responsabilidades adquiridas para el desarrollo de una tarea específica y procesar la información con base en una determinada metodología, definida por el grupo de trabajo.

La comprensión sistemática incluye establecer las interrelaciones complejas dentro de una situación específica, para así entender los sistemas sociales, organizacionales y tecnológicos, con base en las demandas del contexto, y para monitorear y corregir el desempeño dentro de un sistema de acuerdo con los patrones de funcionamiento. Por último, la resolución de problemas, con el fin de detectar problemáticas dentro de un marco laboral, con base en los espacios de trabajo y los actores involucrados, e implementar acciones concretas para resolver problemas técnicos y alcanzar los objetivos organizacionales (USTA, 2010).

Con base en el desarrollo y lo encontrado en los proyectos con esta investigación, y a partir de las competencias genéricas especificadas en los documentos

institucionales, principalmente en el PEF, se plantearon seis competencias. La primera es la identificación, formulación y resolución de problemas de ingeniería civil. Allí, los estudiantes precisan el problema, buscan con creatividad soluciones, seleccionan críticamente la alternativa más adecuada, implementan tecnológicamente la solución, y diseñan y desarrollan proyectos de ingeniería.

La segunda competencia es la utilización efectiva de las técnicas y herramientas de aplicación en la ingeniería civil, con la que se identifican y seleccionan las técnicas y herramientas disponibles para su uso y supervisión.

La tercera de ellas es el desempeño adecuado en equipos de trabajo. Las características de esta competencia son la identificación de las metas y las responsabilidades individuales y colectivas para actuar de acuerdo con ellas. Se reconocen y respetan los puntos de vista de otros miembros del equipo y se llega a acuerdos. Por último, la capacidad de asumir responsabilidades y roles dentro del equipo de trabajo (Guzmán, 2019).

La cuarta competencia planteada es la habilidad de comunicarse con efectividad, con base en las estrategias y en función de los objetivos y los interlocutores, además de acordar significados en el contexto del intercambio y producir e interpretar textos técnicos (memorias, informes, entre otros). La quinta es la actuación ética, con responsabilidad profesional y compromiso social, teniendo en cuenta el impacto humano, social, ambiental y económico de su actividad en el contexto local y global, con acciones éticas (Perico, Caro y Garavito, 2015a). Por último, la sexta, es la competencia de aprender de manera continua y autónoma, con la que se reconoce la necesidad de un aprendizaje continuo a lo largo de la vida y se desarrolla autonomía en el aprendizaje (Guzmán, 2019).

Cuando se trabaja a partir del ABP-OP, la labor se enfoca en desarrollar habilidades tales como: formular preguntas de investigación, proponer problemas, escoger una pregunta dirigida, escribir una propuesta, afrontar una evaluación por parte de expertos, analizar resultados y sacar conclusiones (Rodríguez, Vargas y Luna, 2010; Perico, Caro y Garavito, 2015a). Estos procesos constituyen y son la base de los problemas que se presentan al seleccionar los contenidos curriculares, en especial cuando se trata de llevar al estudiante hacia

un saber hacer (Díaz, 2002). Estas son competencias que se promueven en los Objetivos de Desarrollo Sostenible para la educación y que se construyen con el método de proyectos.

En el ambiente universitario, el currículo requiere un desarrollo basado en la preparación de los estudiantes para el futuro, especialmente en competencias humanas y actitudes proactivas, con posturas críticas con respecto a la enseñanza tradicional y las prácticas de aprendizaje que se presentan en las áreas tanto de ciencias básicas como en las de ingeniería (Rodríguez *et al.*, 2010). Para generar un cambio, el currículo debe organizarse de manera que se pueda pasar del aprendizaje centrado en imaginarios disciplinares a un aprendizaje centrado en problemas (Díaz, 2002).

Resultados de la tesis de maestría, Método de aprendizaje basado en proyectos: Experiencia con jóvenes de educación básica (Umba, 2019)

Resultados de la aplicación de instrumentos metodológicos: Análisis de la encuesta

En esta investigación se trabajó con problemas del entorno, escogidos por los mismos estudiantes, siempre cercanos a ellos, para resolver problemas de estadística y problemas de convivencia, especialmente por transgresión a los principios y valores de la institución escolar. Una vez ejecutados los proyectos, éstos se evaluaron con base en los procesos de su ejecución y aspectos relacionados con las competencias humanas desarrolladas.

En primer lugar, se formuló la pregunta: ¿Aproximadamente cuántas horas semanales dedicó fuera del aula durante el periodo para realizar el trabajo? En respuesta a ella se encontró que el tiempo para el trabajo investigativo fue de 6,24 horas. Esto indica que, en promedio, los estudiantes dedicaron más tiempo fuera del aula que dentro de ella. El 69% de ellos gastó, fuera del aula de clase, las mismas 5 horas o más de las utilizadas durante la semana dentro de ella y un 14% dedicó el doble de tiempo, o más (Umba, 2019).

En este aspecto, se tiene en cuenta el tiempo empleado para el diseño de las actividades propuestas durante el proyecto, motivadas por el docente con el propósito de que el estudiante se comprometa con el proyecto y cumpla con las actividades determinadas en los plazos establecidos. Se debe tener en cuenta que los estudiantes se encuentran en un proceso de formación cambiante, en lo que respecta a su metodología de aprendizaje, por tanto, el tiempo que dedican a sus proyectos de investigación suele ser mayor (Valero-García y Navarro, 2008). Así mismo, el uso de las tutorías es una manera de maximizar el tiempo, porque en ellas se solucionan dudas durante el desarrollo del proyecto y se facilita el proceso del aprendizaje (Puig y Martín, 2015; Perico y otros, 2021).

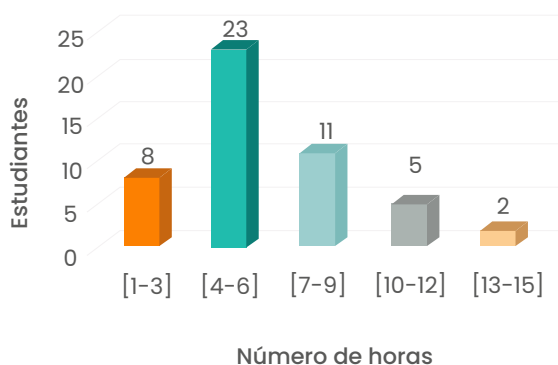


Figura 10. Horas semanales que dedican los estudiantes fuera del aula para desarrollar el trabajo
Fuente: Elaboración de Heidy Madeleine Arévalo a partir de Umba (2019, p. 121).

Luego se planteó la pregunta: ¿En cuántas materias considera que sería apropiado implementar el ABP-OP? El 100% de los estudiantes relacionaron el método de aprendizaje basado en proyectos con alguna asignatura del currículo, lo cual indica que reconocieron la interdisciplinariedad que permite este método. Un porcentaje bajo, el 12% de los estudiantes, entendió que el ABP-OP puede implementarse en todas ellas: un total de 13 asignaturas. Las áreas de castellano, informática y estadísticas, cada una con un 15%, fueron las que alcanzaron la mayor votación por parte de los estudiantes, mientras que las asignaturas de arte y educación física obtuvieron los menores porcentajes (Umba, 2019).

Los estudiantes en este caso identificaron un principio del ABP-OP, el de la ejemplaridad, definida como la capacidad de construir conocimiento, con las habilidades adquiridas, en otros espacios académicos. Para este proceso los estudiantes se basaron en conceptos y temáticas que observan en las otras asignaturas. Las asocian en especial con materias cuya información no es captada de inmediato, sino que se requiere que el estudiante practique los conceptos con frecuencia (Kolmos, 2004; Umba, 2019, p. 121). En el cambio a una nueva escuela, las transformaciones en el currículo son indispensables, porque se deben centrar más en la necesidad de aprendizaje de los estudiantes. Entonces, se integran perspectivas para dar soluciones a problemas del entorno, con mayor visión y percepción del conocimiento por parte de los estudiantes (De Zubiría, 2013a).

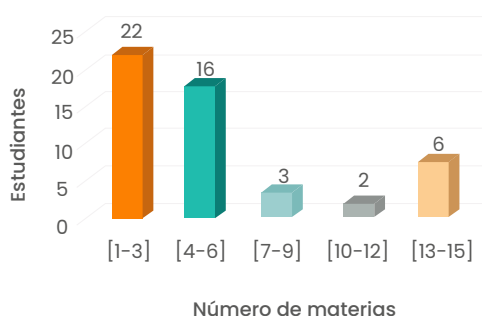


Figura 11. Materias para implementar el ABP

Fuente: Elaboración de Heidy Madeleine Arévalo a partir de Umba (2019, p. 122).

En este método es necesario hacer una mayor inversión económica por parte de los estudiantes para llevar a cabo el proyecto, pero los resultados justifican la inversión. En promedio, ésta fue de cop 21.150 por estudiante. Solamente dos de ellos invirtieron más de cop 50.000, equivalente a un 4%. Por otra parte, con respecto a la autoevaluación, y a la nota que consideraban que debían obtener sus grupos después de todo el proceso desarrollado durante el período, el 96% de los estudiantes se asignaron notas de 3,0 a 3,9. Ellos tomaron consciencia del esfuerzo invertido y de lo que falta por aprender. Tan solo dos emitieron una nota inferior a 3,0 y justificaron su respuesta: “porque trabajamos con poco in-

terés” y “porque hemos entregado los trabajos tarde, porque no hemos tenido autonomía para realizar nuestro proyecto” (Umba, 2019).

La autoevaluación es una competencia esencial en la formación académica, dado que promueve la reflexión en el proceso integral de aprendizaje por parte de los estudiantes. Igualmente, permite a los estudiantes identificar sus fortalezas y debilidades para así construir sobre ellas por medio del proceso de aprendizaje (Pino, 2013). En este caso, los alumnos hicieron su propia evaluación con los criterios establecidos, especialmente con base en los avances en la construcción del conocimiento y con lo que habían desarrollado durante la realización del proyecto. Con respecto a esto, se hizo evidente que consideraron la autoevaluación y la calificación de acuerdo a su aporte al proyecto y como un punto de superación, con confianza en la metodología aplicada por el docente (Morles, 2011).

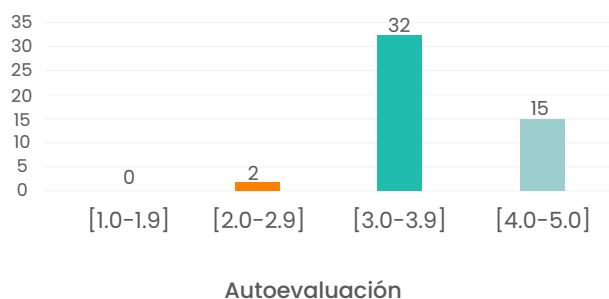


Figura 12. Notas por parte de los estudiantes para su proyecto

Fuente: Elaboración de Heidy Madeleine Arévalo a partir de Umba (2019, p. 124).

Así mismo, la mayoría de los estudiantes opinaron que las asignaturas en las que más aprendieron durante el desarrollo del proyecto investigativo fue informática, con un promedio de 8, seguida de estadística, con un promedio de 7,5, y luego castellano que obtuvo un promedio de 7,2. Se dejó un espacio de respuesta libre y los estudiantes expresaron que áreas como ética y ciencias naturales también permiten el aprendizaje por medio de proyectos. Las respuestas muestran que, para los estudiantes, el uso y manejo de diversas temáticas en la resolución del proyecto permite la construcción del conocimiento

de un modo más integral y que se desarrollan competencias disciplinares y humanas, como se ha encontrado en otras investigaciones (Kolmos, 2004; Perico, Sánchez y Suárez, 2017).

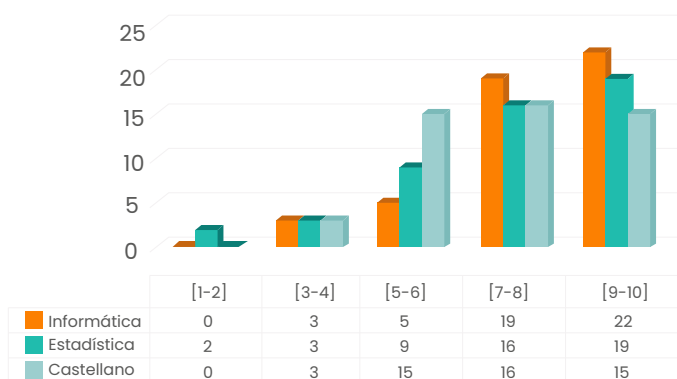


Figura 13. Aprendizaje en diferentes áreas del conocimiento

Fuente: Elaboración de Heidy Madeleine Arévalo a partir de Umba (2019, p. 125).

Como otro aspecto central de la investigación, se auscultó la construcción de conocimientos y de prácticas en las competencias humanas. Unas de ellas están definidas como principios y valores. Principios son las leyes naturales que, cuando se observan, las personas encuentran el éxito y la felicidad (Covey, 2004). Los valores son paradigmas que se construyen con base en principios y se practican de manera temporal (Covey, 2004). Al respecto, los resultados obtenidos para los valores que se desarrollaron durante el periodo académico muestran que los estudiantes dieron buenos promedios a todos aquellos que consideran importantes, dando prioridad al respeto, con un promedio de 8, al trabajo en equipo, con 8, y al diálogo y resolución de conflictos de manera pacífica, con 8. El valor de la responsabilidad contó con un promedio de 8, tolerancia, con 8, honestidad, con un promedio de 7, solidaridad, con 7 y, por último, la autonomía, con 7. Son valores que están incluidos en la prospectiva de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Así que, por medio de las prácticas de las didácticas activas, en este caso del método de proyectos, se logra que el estudiante no sólo desarrolle su

conocimiento y se fortalezca intelectualmente, sino que también afiance sus valores, dado que se integran, en diversos espacios de aprendizaje, aspectos importantes como la responsabilidad, el compromiso, la tolerancia y otros valores que desde la niñez se desarrollan por medio de las vivencias (Covey, 2003; 2005). De igual manera, es importante formar no sólo profesionales exitosos, sino profesionales íntegros como personas, que respeten a los otros seres humanos y a la naturaleza (Nusbaum, 2014). Para ello es necesario formar en valores y en ética profesional de tal manera que, por encima de todo, se enfoque la enseñanza en el desarrollo del profesional para que aporte a una sociedad justa y equitativa, que en la actualidad precisa de profesionales críticos (Perico y Pachón, 2015b).

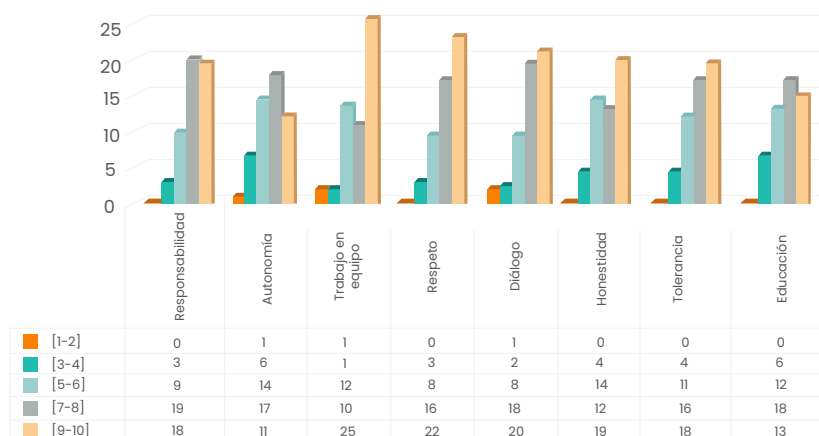


Figura 14. Incidencias de valores en el desarrollo del proyecto

Fuente: Elaboración de Heidy Madeleine Arévalo a partir de Umba (2019, p. 127).

Resultados de la ejecución de los proyectos

• Resultados del ABP-OP

Se establecieron los principios del ABP-OP y se analizaron todos y cada uno de ellos, para revisar su aplicación en los proyectos desarrollados por los estudiantes. En el principio de *aprendizaje basado en la formulación de una problemática*, surgió un interés entre los estudiantes por solucionar un problema

de su entorno, lo cual permitió el desarrollo de las habilidades y los conceptos estadísticos necesarios para implementar un proyecto y comprender su utilidad. En este aspecto, en un 60% de las observaciones de clase, no se evidenció la formulación ni el planteamiento del problema. Por otra parte, un 40% resolvió el problema, pero de manera esporádica y descontextualizada (Umba, 2019).

Cuando se utilizan los problemas como parte principal de la enseñanza, se prioriza la práctica educativa en el proceso, lo cual permite que el estudiante haga una conexión entre contexto y contenido, y logre la comprensión de las temáticas propuestas (Kolmos, 2004). La construcción del problema es un aspecto central que ayuda a entender la realidad y así plantear soluciones con mayor efectividad (Perico, Caro y Garavito, 2015a).

Igualmente, en el proceso de *aprendizaje dirigido por los participantes*, al iniciar la construcción del conocimiento, se hizo con dificultades debido a la poca orientación que tuvieron los estudiantes en su formación.

Durante el proceso de enseñanza y la aplicación del proyecto, se comprendió la importancia del liderazgo y la autonomía en las fases de dicha aplicación. En este caso la participación del docente fue crucial porque, en tres de las cinco clases evaluadas, se observó, como diagnóstico previo, que los estudiantes asumieron una postura pasiva y displicente. Un cuarto docente logró tener en su clase estudiantes más activos, pero la indisciplina de algunos opacó la labor de los otros y del docente. El quinto docente consiguió que los estudiantes adoptaran un rol activo, por medio de dinámicas que permitieron despertar su interés por desarrollar las actividades (Umba, 2019). En la utilización del método de proyectos, los estudiantes son quienes dirigen sus actividades y así obtienen resultados en lo disciplinar y en la formación humana (Kolmos, 2004; Perico y otros, 2021). Esto es un indicador del desarrollo de la autonomía.

En este sentido y en lo que respecta al *aprendizaje basado en la experiencia*, los estudiantes demostraron más curiosidad hacia la problemática seleccionada, desarrollaron habilidades e incrementaron su conocimiento. En el diagnóstico, cerca del 80% de las clases observadas no incluyeron espacios ni diná-

micas para que los estudiantes relacionaran conceptos con sus experiencias vividas. *El aprendizaje basado en una actividad* es un principio estimulante en la formación estudiantil, ya que las actividades en las prácticas investigativas acercan al estudiante a las soluciones para las problemáticas de su entorno. Es importante resaltar que, en este aspecto, falta fomentar actividades en las que el estudiante desarrolle la toma de decisiones y la comunicación escrita (Umba, 2019). *La ejemplaridad*, como principio del ABP, permitió que los estudiantes entendieran de manera significativa la utilidad del proyecto, para desarrollar esas habilidades en otras áreas o circunstancias. Además, comprendieron muy bien la relación existente entre la teoría y la práctica.

Por último, el principio del *aprendizaje basado en el trabajo en equipo* fue relevante para los estudiantes en cada momento, porque comprendieron la importancia de la colaboración y la ayuda mutua, pero faltó desarrollarlo de manera óptima (Umba, 2019).

Por otro lado, se halla la interacción social que se generó con la aplicación del método de proyectos en el municipio de Gachantivá. Los estudiantes interactuaron con ancianos, campesinos de las diferentes veredas e incluso con estudiantes de la institución que no conocían, aspectos que les permitió acceder a otros puntos de vista y a tener una interacción más allá del aula. Otra competencia que se desarrolló por medio del ABP-OP fue la habilidad de hablar en público, destreza que se fortaleció durante el desarrollo y sustentación de los proyectos. En síntesis, el ABP-OP como método de aprendizaje fue positivo, desde la interacción con la comunidad, la combinación de teoría y práctica, toda la implementación, hasta la evaluación de los proyectos, que hicieron que el 87% de los estudiantes entrevistados manifestaran el gusto y deseo de volver a trabajar con el método. Esto se relaciona con lo encontrado por Kolmos (2004) y otras investigaciones recientes en Colombia (Perico y otros, 2021). Sin embargo, en un principio fue difícil la aplicación, dado el desconocimiento del método por parte de los estudiantes y de los docentes (Umba, 2019).

En este sentido, la constancia en la aplicación del método permite mejorar procesos como la cooperación y potenciar las habilidades de los estudiantes

para la solución de problemas (Kolmos, 2004). Es un método novedoso que le permite a los estudiantes observar sus debilidades y promover una evaluación más integral, desde el punto de vista de crecimiento (Font, 2004). Por medio de este método, ellos logran expresar de manera oral y escrita sus proyectos, lo cual les permite enfrentar sus temores en las exposiciones ante un auditorio (Perico, Sánchez, y Medina, 2015c).

Con base en la metodología analizada y en la aplicación de sus principios, y a partir de lo encontrado en las clases, se replantea la visión que se tiene de la manera de enseñar. Es necesario indagar sobre las actividades que se desarrollan en clase, porque no todos los estudiantes se apropian del conocimiento por medio de las clases tradicionales. Por lo tanto, se le debe dar un trato diferente al estudiante, para que éste promueva sus facultades, con el objetivo de que el contenido o la enseñanza le lleguen a cada uno, dejando de lado las debilidades de los estudiantes y promoviendo sus capacidades (Perico *et al.*, 2012). Entonces, se encontró que, con los estudiantes provenientes del sector rural que disponían de recursos muy bajos —casi el 90%—, se llevó a cabo una educación que permitió una mayor inclusión y un alto desarrollo de competencias humanas, lo cual está insertado en los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

- **Resultados de la educación estadística**

En un comienzo, se llevaron a cabo tres procesos para la recolección de información, aunque con dificultad, porque los estudiantes estaban acostumbrados a datos de libros descontextualizados y se vieron limitados para obtenerlos. Sin embargo, este proceso permitió que comprendieran la relevancia y pertinencia de obtener los datos para el proyecto investigativo a partir de su entorno. En segundo lugar, se tabuló la información, lo cual se ejecutó con más solvencia, con base en otros espacios académicos que lo facilitaron. El análisis de resultados fue inicialmente complicado, especialmente porque los estudiantes no habían desarrollado la habilidad de redactar y dudaban al transmitir sus ideas y al hacer el análisis por escrito. En este caso se observa que el 40% de las clases analizadas no usan el software Excel para familiarizar al estudiante con las gráficas estadísticas. Por último, se trabajaron las medi-

das de tendencia central, como una subcategoría, lo cual fue más sencillo para los estudiantes porque, al hacer el análisis cuantitativo, ya lo habían desarrollado con anterioridad (Umba, 2019).

En este sentido, se encontró que el método del ABP-OP es efectivo para el desarrollo de la estadística, dado que permite dejar de lado las clases magistrales y los ejemplos descontextualizados para que el estudiante genere sus propios datos y con ellos desarrolle el proyecto investigativo, con cercanía al contexto real y con base en los contenidos del plan de estudios (Vega, 2012; Perico y otros, 2021; Kolmos, 2004). Igualmente, el trabajo estadístico con este método propicia un ambiente en el aula que permite que el estudiante se arriesgue a dar sus ideas u opiniones y responda preguntas, aunque sea de manera incorrecta. En pocas palabras, el objetivo de desarrollar estos proyectos estadísticos de esta manera, desde inicios de la formación secundaria, es que el estudiante explique su razonamiento y justifique sus hipótesis en un espacio de confianza donde todos los puntos de vista son tenidos en cuenta (Cobb y McClain, 2006).

• **Resultados de la educación basada en principios**

En primer lugar, se abordó el principio del respeto, con estudiantes que lo identificaron como la base para que una actividad sea exitosa y las relaciones interpersonales sean óptimas. Sin embargo, en el diagnóstico se vio que el 80% de las clases observadas presentan constantes faltas de respeto entre los estudiantes y hacia el docente (Umba, 2019). El desarrollo de los proyectos permitió que los estudiantes interiorizaran el principio y se generó un ambiente de trabajo más agradable; de estos ambientes derivan la cordialidad y las actitudes fundamentales para las relaciones interpersonales (Hildebrand, 2004).

Igualmente, se observó el valor de *la resolución de conflictos de manera negociada*. Los estudiantes entendieron que tienen diferentes paradigmas y, por lo tanto, siempre van a tener diferencias de opinión. Sin embargo, si bien con dificultad, lograron establecer acuerdos, motivaron procesos, solucionaron conflictos y superaron las dificultades. El 100% de los estudiantes expresaron que el nivel de diálogo durante el proyecto fue alto, con un promedio de 8 en la calificación de este valor en el proyecto de investigación (Umba, 2019). A este respecto, es

necesario que, desde las aulas o espacios educativos, los estudiantes aprendan a resolver conflictos con base en el diálogo y una negociación justa (Cortina, 2001; Cortina, 2004; Perico y otros, 2021).

Así mismo, se trabajó la *honestidad*, valor esencial en la formación académica que, cuando se puso en práctica, dio excelentes resultados, pero, cuando esto no sucedió, retrasó en varias ocasiones los avances del proyecto. El 93% de los estudiantes reconocieron que es necesario no evadir la responsabilidad para cimentar este valor. Señalaron que el plagio es un acto de deshonestidad, a pesar de que en la formación no se evidencian espacios que permitan a los estudiantes comprender la importancia de la honestidad en la vida. Los estudiantes desarrollaron el valor de la honestidad con los demás y consigo mismos, gracias a la evaluación a la que se sometieron (Astorga, Flores, Ibarra, Mariscal y Vizcarra, 2015).

El valor de la *tolerancia activa* fue fundamental en los proyectos de investigación porque los estudiantes entendieron que la falta de dicho valor dificulta las actividades durante el desarrollo del proyecto. Al igual que para la honestidad, en los espacios académicos no se observó la vinculación de actividades para este propósito. Este valor tan básico está implícito en el ser humano, pero es fruto de ciertos procesos vivenciados por la persona (Cortés, 2003).

Por otro lado, en el diagnóstico, el valor de la *educación* se ubicó en un séptimo lugar, de ocho posibles, debido a que los estudiantes presentan una desconexión entre la educación y el contexto. Al aplicar el proyecto con una problemática real y de interés para los estudiantes, éstos comprendieron la relevancia de la educación como valor fundamental para dar soluciones a las problemáticas de su comunidad. La enseñanza debe abarcar más que sólo la enseñanza técnica, debe permitir que el estudiante se forme integralmente en ese camino (Covey, 2005).

Igualmente, el valor de la *responsabilidad* fue identificado, tanto por los estudiantes como por los docentes, como fundamental en las etapas del proyecto: con un promedio de 8, fue el valor que ocupó el cuarto lugar en la encuesta final. Por lo general, el estudiante acumula el trabajo, lo cual después afecta este valor en el momento de presentar avances del proyecto. En algunos ca-

sos, se observó la falta responsabilidad de los estudiantes en la entrega de trabajos, tareas, talleres y otras actividades (Umba, 2019). El método de proyectos incluye este valor para promover en los estudiantes su propio aprendizaje, para que respondan por sus proyectos y sean capaces de evaluarlos según los resultados obtenidos (Poot, 2013).

Por otra parte, el *trabajo en equipo* fue una de las competencias cuya aplicación presentó dificultad, a pesar de su importancia en los proyectos de investigación. Al adquirir experiencia en éstos, los estudiantes comprendieron que para un buen ambiente de trabajo escolar son necesarias la distribución equitativa y una gran colaboración por parte de todos los integrantes del equipo. Igualmente, reconocieron que la conformación del equipo de trabajo debía mejorar, dada la importancia del éxito de los resultados. Esta competencia o valor debería desarrollarse en un espacio de confianza, donde, con el método ABP-OP, el estudiante sea capaz de resolver conflictos y aceptar las críticas para poder aportar a su equipo de trabajo (Herrero y Antequera, 2011; Perico y otros, 2021).

Así mismo, la *autonomía* fue una competencia difícil de desarrollar que obtuvo la calificación de 7. Los inconvenientes fueron constantes, dada la heteronomía en la que se basa su formación. Sin embargo, los estudiantes entendieron la relevancia de esta competencia y avanzaron de manera significativa. Por último, se observó la relación *aprendizaje-servicio*, con lo cual se comprendió, tanto por parte de los estudiantes como de los docentes, el impacto de los proyectos en la comunidad (Umba, 2019). Por medio de los proyectos, los alumnos desarrollaron la habilidad de interesarse por su proceso formativo y por construir conocimiento, a partir del problema y las soluciones previstas, para alcanzar los objetivos del proyecto, como se ha encontrado en diferentes investigaciones (Olivares, 2017; Perico y otros, 2021).

Análisis comparativo

En ambas investigaciones los estudiantes expresaron que la aplicación del método del ABP-OP les permitió entender diferentes asignaturas y promovió la investigación. El tiempo que un estudiante usa para el desarrollo de sus proyectos, en el caso de los estudiantes universitarios, es del 51 %; es decir el

mismo tiempo que le dedicaría a las tutorías. Pero, en el método por proyectos, éste permite que los estudiantes asistan a ellas con preguntas específicas sobre lo que necesitan solucionar en su proyecto (Guzmán, 2019).

Por otro lado, el tiempo que le dedican los estudiantes de educación secundaria al proyecto es de 4 a 6 horas semanales, debido a que prefieren llevar el trabajo para solucionarlo en casa. A este respecto, el 69% de los estudiantes invirtió, fuera del aula, las mismas 5 horas en promedio durante la semana de trabajo. En este sentido, los tiempos que los estudiantes invirtieron en la ejecución de los proyectos son prácticamente equivalentes.

En lo que respecta a las competencias, en ambos casos, se trabajaron unas comunes, como el trabajo en equipo, la resolución de problemas o conflictos, la comunicación oral y escrita, el respeto y la autonomía. En la primera investigación analizada se observó que las competencias desarrolladas por medio del método de proyectos se encontraron, en su mayoría, en niveles medio, alto y muy alto (Guzmán, 2019). En la segunda investigación se definieron los valores que el estudiante desarrolla en el proyecto educativo. El respeto obtuvo una calificación promedio de 7,94, el trabajo en equipo ocupó el segundo lugar, con un 7,8, y los otros valores recibieron promedios inferiores (Umba, 2019).

Así es que la aplicación del método se enfoca principalmente en fortalecer competencias humanas como la autonomía, el trabajo en equipo, la solidaridad, el respeto, la responsabilidad, entre otras. Por otro lado, están las competencias profesionales, como el pensamiento crítico, el trabajo o las actividades pertinentes a la labor profesional y la comunicación técnica, escrita y oral (Perico y otros, 2021; Kolmos, 2004).

Al observar los resultados obtenidos en ambas investigaciones, se comprobó que las competencias más desarrolladas por los estudiantes fueron el trabajo en equipo, el respeto y el diálogo para la resolución de conflictos; similares a las encontradas en anteriores investigaciones (Perico y otros, 2017; Kolmos, 2004) (ver figuras 3 y 14).

Sobresale el respeto como valor o competencia trabajada en ambos proyectos. En la primera investigación, la cordialidad del docente fue fundamental para captar la

atención de los estudiantes mediante actividades dinámicas y ejercicios propios del área (Guzmán, 2019). En la segunda, los estudiantes identificaron este valor como primordial para que la realización de actividades fuera exitosa. Por otro lado, en el diagnóstico llevado a cabo con los docentes que no trabajaron el método, se encontró que, en el 80% de las clases, el nivel de este valor era muy bajo entre compañeros y entre estudiantes y docentes (Umba, 2019).

Se encontró que el valor del respeto es esencial para la construcción de la competencia de resolución de conflictos. A este respecto, en la primera investigación y con base en la convocatoria hecha por la docente, se promovió en los estudiantes el respeto entre ellos para disminuir la presencia de problemas en los espacios de aprendizaje. En la segunda, los estudiantes entendieron que lograr acuerdos mejora aún más los procesos de aprendizaje, lo cual les ayuda a solucionar sus conflictos y a superar las dificultades. En este sentido, el 100% de los estudiantes expresaron que el diálogo durante el desarrollo del proyecto fue alto, con una cifra promedio del 7,71 en el proyecto educativo. Esto es similar a lo encontrado en la asignatura Investigación de introducción a la ingeniería, de la Universidad Santo Tomás (Perico y otros, 2021).

A este tenor, el método del ABP-OP demuestra el desarrollo de competencias como la del trabajo en equipo. En la primera investigación se desarrolló esta competencia y se les propuso a los estudiantes que se desempeñaran de manera adecuada en los equipos de trabajo, —con habilidades como la identificación de las metas y responsabilidades individuales y colectivas, para actuar de acuerdo con ellas—, reconocieran y respetaran los puntos de vista y las opiniones de los otros miembros del grupo, y, por último, asumieran responsabilidades y roles dentro del equipo de trabajo (Plan Educativo de la Facultad de Ingeniería Civil; Guzmán, 2019). En la segunda fue más claro el desarrollo de la competencia, dadas las dificultades presentadas al iniciar los proyectos y los logros obtenidos en este aspecto. Esta competencia obtuvo una calificación de 7,8, con estudiantes que expresaron la necesidad de crear un buen ambiente de trabajo, con una distribución equitativa y la colaboración de los integrantes del equipo (Umba, 2019).

Por último, se observó la competencia de la autonomía que, gracias a la aplicación del método de proyectos, el 83% de los estudiantes dijeron haber crecido en esta competencia. De igual manera, se promovió la competencia de aprender de un modo continuo y autónomo para que el estudiante desarrolle habilidades, como reconocer la necesidad de un aprendizaje a lo largo de la vida y construir autonomía durante dicho aprendizaje (Guzmán, 2019). En la segunda, en cambio, fue la más difícil de desarrollar; obtuvo un promedio de 6,76. Fueron constantes los inconvenientes debido a que el docente tuvo que ejercer presión sobre los estudiantes para adelantar los proyectos estadísticos (Umba, 2019). En los estudiantes universitarios esta competencia es más fácil de identificar y desarrollar, porque los estudiantes están más familiarizados con el aprendizaje autónomo. En los proyectos, los estudiantes toman las decisiones para adelantar las tareas de manera autónoma (Perico y otros, 2021; Kolmos, 2004). Por lo tanto, los principios y valores, así como las competencias, contribuyen en el fortalecimiento del desarrollo de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Conclusiones

En las investigaciones se desarrollaron competencias disciplinares, en especial las humanas, como el respeto, el trabajo en equipo, la solución de conflictos por medio del diálogo, la responsabilidad, tolerancia, honestidad, solidaridad, la comunicación oral y escrita, el pensamiento crítico y la autonomía. Estas competencias se construyen porque los estudiantes son quienes desarrollan los proyectos y, con base en las vivencias, construyen su propio conocimiento.

El tiempo que los estudiantes invierten semanalmente en desarrollar sus proyectos de investigación es de 4 a 6 horas. Ellos, en la universidad, hacen uso de las tutorías como espacios para la solución de preguntas de sus proyectos de investigación. Los estudiantes de secundaria dedican un promedio de cinco a seis horas a la semana para trabajar en sus proyectos investigativos. Por consiguiente, es un tiempo muy bien utilizado, en el que optimizan la construcción de su conocimiento.

El 95% de los estudiantes estuvieron de acuerdo en que se debe aplicar el método de proyectos porque permite construir mejor el conocimiento y se promueve la investigación. Igualmente, opinaron que el nivel de aprendizaje logrado con

este método es del 83%. Entonces, para preparar mejor a los estudiantes, se necesita promover esta importante herramienta, con voluntad de la comunidad académica y mayor preparación en el método por parte de los docentes, quienes a su vez deben reflexionar sobre su práctica para avanzar en el proceso.

Persiste la desarticulación entre las asignaturas de ciencias básicas y los espacios académicos de ingeniería civil, debido a que los docentes se preocupan por que los estudiantes asimilen sus contenidos de enseñanza, sin relacionarlos con los contextos de la profesión. Los ejercicios prácticos que desarrollan los estudiantes son teóricos y demostrativos solamente de las matemáticas, sin vincular ejercicios cercanos a la ingeniería civil.

Los estudiantes demostraron su responsabilidad por medio del cumplimiento de las actividades propias del proyecto. Esta competencia obtuvo un valor promedio de 7,67 en la investigación realizada con el método de aprendizaje basado en proyectos y con jóvenes de educación básica. Igualmente, se encontró la optimización de sus habilidades para el trabajo autónomo.

Por medio de los proyectos de investigación desarrollados por los estudiantes de grado octavo, en el área de estadística, éstos construyeron conocimiento sobre la materia con datos reales encontrados por ellos mismos. Igualmente, aclararon dudas sobre los imaginarios de su entorno con respecto a las dimensiones ambiental, social y académica. Entonces, el método es una excelente herramienta para construir conocimiento en matemáticas.

Las competencias que se desarrollaron en las dos investigaciones son satisfactorias, a pesar del poco tiempo de práctica. Igualmente, la evaluación se hizo de manera progresiva y permanente. En consecuencia, los estudiantes están más preparados para exponer sus avances, lo cual conduce a que haya un mayor número de aprobados, sin flojera asistencialista. Al respecto, se necesita más tiempo y una mayor profundidad en más asignaturas para alcanzar un nivel de excelencia en el desarrollo de todas las competencias por medio del método de proyectos.

En ingeniería se aplica desde hace mucho tiempo este método, con la construcción del conocimiento disciplinar, pero sin aprovechar las potencialidades de construir conocimiento en competencias humanas. Así es que, se necesita

más preparación de los docentes, para que sus tutorías sean efectivas, y decisión por parte de la comunidad académica para que se aplique el método de manera óptima.

La inversión hecha por cada estudiante en los proyectos fue casi de un día de salario mínimo legal vigente para Colombia, cercano a los COP 30.000. Esta es una inversión realmente baja, comparada con el alto nivel de construcción de competencias disciplinares y humanas que se obtienen con el método.

Referencias

- Astorga, M. A., Flores, B., Ibarra, J. E., Mariscal, J. y Vizcarra, L. E. (2015). Impacto del aprendizaje basado en proyectos implementado en una empresa escolar de Base Tecnológica dedicada al desarrollo de Software. *ReCIBE*, 4(4). <https://www.redalyc.org/pdf/5122/512251504004.pdf>
- Bogoya, D. (2007). Del enfoque de contenidos al enfoque de competencias. *Cátedra Manuel Ancízar*. Universidad Nacional de Colombia, 1-13. <https://sites.google.com/a/unal.edu.co/danielbogoya/3-documentos-de-trabajo>
- Boned, S. (2015). *Aprendizaje por proyectos: Una alternativa al método tradicional de enseñanza-aprendizaje* [tesis de pregrado]. Universidad Internacional de La Roja. <http://reunir.unir.net/handle/123456789/2940>
- Bravo, M. y Mejía, A. (2010). Los retos de la educación superior en Colombia: una reflexión sobre el fenómeno de la deserción universitaria. *Revista Educación En Ingeniería*, (10), 85-98. <https://www.educacioneningeneria.org/index.php/edi/article/view/101>
- Carr, W. y Kemmis, S. (1988). *Teoría crítica de la enseñanza. La investigación-acción en la formación del profesorado*. Ediciones Martínez Roca S. A.
- Cobb, P. y McClain, K. (2006). Principles of Instructional Design for Supporting the Development of Students' Statistical Reasoning. En D. Ben-Zvi y J. Garfield (Eds.), *The Challenge of Developing Statistical Literacy, Reasoning and Thinking* (pp. 375-395). Luwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/1-4020-2278-6_16
- Consejo Federal de de Decanos de Ingeniería de Argentina, CONFEDI. (2016). *Competencias y perfil del ingeniero iberoamericano, formación de profesores y desarrollo tecnológico e innovación*. ASIBEI.
- Cortés, M. (2003). Formas de la tolerancia en México. *Republicana Política y Sociedad*, 2(2),

5158. <http://148.202.18.157/sitios/publicacionesite/pperiod/republicana/pdf/Acta-Rep02/articulos51.pdf>
- Cortina, A. (2001). *Ciudadanos del mundo. Hacia una teoría de la ciudadanía*. Alianza Editorial S.A.
- Cortina, A. (2004, 10 de febrero). Educar para una ciudadanía cosmopolita. El País. https://elpais.com/diario/2004/02/11/opinion/1076454006_850215.html
- Covey, S. R. (2003). *El liderazgo centrado en principios*. Ediciones Paidós.
- Covey, S. (2005). *Los 7 hábitos de la gente altamente efectiva*. Paidós. <https://www.colegiorudolfsteiner.edu.ec/pdf/Los-7-Habitos-de-las-Personas-Altamente-Efectivas.pdf>
- De Zubiría, J. (2013a). ¿Como diseñar un currículo por competencias? Fundamentos, lineamientos y estrategias. Editorial Magisterio Instituto Alberto Merani.
- De Zubiría, J. (2013b). El maestro y los desafíos a la educación en el siglo XXI. Revista Redipe, (825), 17. <https://gladyseduca.files.wordpress.com/2018/12/el-desafío-del-maestro-de-hoy.pdf>
- Dewey, J. (1998). *Cómo pensamos: nueva exposición de la relación entre pensamiento y proceso educativo*. Paidós.
- Díaz, M. (2002). *Flexibilidad y educación superior en Colombia*. Instituto Colombiano para el Fomento y Desarrollo de la Educación Superior (ICFES). http://acreditacion.unillanos.edu.co/CapDocentes/contenidos/dis_ambientes_metodos_pedagogicos/Memoria3/flexibilidad_educacion_colombia.PDF
- Elliot, J. (1993). *El cambio educativo desde la investigación-acción*. Ediciones Morata. http://repositorio.unellez.edu.ve/terepaima/blog/9388032_9a4d264aed.pdf
- Eslava, E. (2015). Educación en América Latina: retos y oportunidades para la filosofía de la región. *Universitas Philosophica*, 32(65), 223-244. <https://doi.org/10.11144/javeriana.uph32-65.efro>
- Facione, P. (2011). Critical Thinking: What It Is and Why It Counts. *Insight Assessment*. <https://www.insightassessment.com/Resources/Importance-of-Critical-Thinking/Critical-Thinking-What-It-Is-and-Why-It-Counts>
- Flórez, R. (1994). *Hacia una pedagogía del conocimiento*. McGrawHill.

- Font, A. (2004). Líneas maestras del aprendizaje por problemas. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 18(1), 79-95. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=27418106>
- Freire, P. (2002). *La educación como práctica de la libertad*. Siglo XXI Editores.
- Gil, R. (2018). El uso del aprendizaje basado en problemas en la enseñanza universitaria. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 23(76), 73-93. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-66662018000100073&lng=en&nrm=iso&tlng=en
- Giordano Lerena, R. y Cirimelo, S. (2014). Competencias en ingeniería y eficacia institucional. *Ingeniería Solidaria*, 9(16), 119-127. <https://doi.org/10.16925/in.v9i16.536>
- Guzmán, E. (2019). *Las ciencias básicas como cimentación y articulación a la Ingeniería Civil en la USTA, Tunja. Caso: las Matemáticas* [tesis de maestría]. Universidad Santo Tomás.
- Herrero, M. y Antequera, M. A. (2011). Metodología de aprendizaje basada en proyectos: aplicación a los primeros cursos de grado. *Univest*. <https://dugi-doc.udg.edu/bitstream/handle/10256/3793/201.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hildebrand, D. (2004). La importancia del respeto en la educación. *Educación y Educadores*, (7), 221-228. <http://www.redalyc.org/pdf/834/83400715.pdf%0Ahttp://www.redalyc.org/pdf/834/83400715.pdf%0Ahttp://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2041180>
- Kolmos, A. (2004). Estrategias para desarrollar currículos basados en la formulación de problemas y organizados en base a proyectos. *Revista Educar*, (33), 77-96.
- Labra, P., Kokaly, M. E., Iturra, C., Concha, A., Sasso, P. y Vergara, M. I. (2011). El enfoque ABP en la formación inicial docente de la Universidad de Atacama: el impacto en el quehacer docente. *Estudios Pedagógicos* (Valdivia), 37(1), 167-185. <https://doi.org/10.4067/s0718-07052011000100009>
- Latasa, I., Lozano, P. y Ocerinjauregi, N. (2012). Aprendizaje basado en problemas en currículos tradicionales: beneficios e inconvenientes. *Formacion Universitaria*, 5(5), 15-26. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062012000500003>
- Morles, V. (2011). Guía para la elaboración y evaluación de proyectos de investigación. *Revista de Pedagogía*, 32(1), 131-146. <http://www.redalyc.org/pdf/659/65926549008.pdf>
- Nusbaum, M. (2014). *Emociones políticas. ¿ Por qué el amor es importante para la justicia?* Editorial Paidós.

- Olivares, G. (2017). *Aprendizaje basado en proyectos en primaria en una escuela rural* [tesis de pregrado]. Universidad Internacional de la Rioja. <https://reunir.unir.net/bitstream/handle/123456789/57114/OLIVARES%20BUENO%2C%20GEMA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Perico, N., Guzmán, E., Vargas, H., Hernández, M., Sánchez, M., Torres, A., ... Talero, D. (2012). *Primeros pasos en la formación de docentes de Ingeniería Civil* (1.a ed.). Universidad de Santo Tomás Tunja. <http://www.ustatunja.edu.co/images/01-USTATunja/05-US-TA-Tunja>
- Perico, N., Caro, C. y Garavito, L. (2015a). El proyecto en la investigación formativa. *Vestigium Ire*, 9(1), 166-174. <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ivestigium/article/view/1156/1122>
- Perico, N. y Pachón, J. (2015b). Corrupción, pedagogía y ética. Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI), *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACOFI*, 8. <https://antiguo.acofipapers.org/index.php/eiei2015/2015/paper/viewFile/1361/467>
- Perico, N., Sánchez, H. y Medina, J. (2015c). Elementos para exposiciones orales en la formación profesional. *Quaestiones Disputatae: Temas en Debate*, 8(16), 1-12. <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/qdisputatae/article/view/954>
- Poot, C. (2013). Retos del aprendizaje basado en problemas. *Enseñanza e Investigación en Psicología*, 18(2), 307-314. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29228336007>
- Puig, J. y Martin, X. (2015). Para un currículo de educación en valores. *Revista Folios*, (41), 7-22. <http://www.scielo.org.co/pdf/folios/n41/n41a01.pdf>
- Restrepo, B. (2005). Aprendizaje basado en problemas (ABP): una innovación didáctica para la enseñanza universitaria. *Educación y Educadores*, (8), 9-20. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83400803>
- Rodríguez, E., Vargas, É. y Luna, J. (2010). Evaluación de la estrategia “aprendizaje basado en proyectos”. *Educación y Educadores*, 13(1), 13-25. <https://doi.org/ISSN 0123-1294>
- Sastoque, D., Ávila, J. y Olivares, S. (2019). Aprendizaje basado en problemas para la construcción de la competencia del pensamiento crítico. *Voces y Silencios. Revista Latinoamericana de Educación*, 7(1), 148-172. <https://doi.org/10.18175/vys7.1.2016.08>
- Schön, D. (1998). *El profesional reflexivo, cómo piensan los profesionales cuando actúan*. (1.a ed.). Paidós.

- Servicio de Innovación Educativa de la Universidad Politécnica de Madrid. (2008). Aprendizaje Basado en Problemas. Guías rápidas sobre nuevas metodologías. Universidad Politécnica de Madrid, UPM. https://innovacioneducativa.upm.es/sites/default/files/guias/Aprendizaje_basado_en_problemas.pdf
- Tobón, S. (2006). *Formación basada en competencias: pensamiento complejo, diseño curricular y didáctica*. Ecoe Ediciones.
- Torres, M. (2010). La enseñanza tradicional de las ciencias versus las nuevas tendencias educativas. *Revista Electrónica Educare*, 14(1), 131-142. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4780946>
- Umba, M. (2019). *Método de aprendizaje basado en proyectos: Experiencia con jóvenes de educación básica* [tesis de maestría]. Universidad Santo Tomás.
- Universidad Santo Tomás Tunja, USTA. (2010). *Proyecto Educativo de la Facultad*. Universidad Santo Tomás.
- Valero-García, M., y Navarro, J. J. (2008). La planificación del trabajo del estudiante y el desarrollo de su autonomía en el aprendizaje basado en proyectos. En J. García-Sevilla (Coord.), *El aprendizaje basado en problemas en la enseñanza universitaria* (pp. 171-190). <http://personals.ac.upc.edu/miguel/materiales/docencia/articulos/Capitulo9LibroPBL.pdf>
- Vega, L. R. (2015). La educación en ingeniería en el contexto global: propuesta para la formación de ingenieros en el primer cuarto del siglo XXI. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 14(2), 177-190. [https://doi.org/10.1016/s1405-7743\(13\)72235-2](https://doi.org/10.1016/s1405-7743(13)72235-2)
- Vega, M. (2012). *El aprendizaje estadístico en la educación secundaria obligatoria a través de una metodología por proyectos*. Estudio de caso en un aula inclusiva [tesis de maestría]. Universidad de Granada. <https://hera.ugr.es/tesisugr/21016847.pdf>

Esta publicación fue elaborada por el sello editorial de la
Universidad Piloto de Colombia en el año 2024, se hizo uso
de las tipografía Avenir Next y Roboto Condensed

