

Revista
ORINOQUIA
- CIENCIA Y SOCIEDAD -

Vol. 4 | 2020



Equipo Editorial

Director - Editor

José Alfredo Camargo Martínez. Ph.D.

jcamargo@unitropico.edu.co

revistaorinoquia@unitropico.edu.co

Comité Editorial

Lady J. Correa H. Ph.D. ladycorrea@unitropico.edu.co

Oscar A. Rodríguez F. Ph. D. direccioninvestigacion@unitropico.edu.co

Diana M. Medina Lara. Ph.D. dianamedina@unitropico.edu.co

Diseño y diagramación: José Alfredo Camargo Martínez. Ph. D.

Listado de Evaluadores Externos

Sandra Consuelo Díaz Bello. Ph.D. *Universidad Santo Tomas – Sede Tunja.*

Jimmy Yordany Ardila Muñoz. Ph.D. *Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia – UPTC.*

Marbiz Said Ducuara Amado *Empresa privada.*

Leonardo Alexis Alonso Gómez Ph.D. *Instituto Politécnico Nacional – México.*

Dario Alberto Pinto Medina *Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia – UPTC.*

Guillermo Iván González Pedreros Ph.D. *Universidad del Rosario de Colombia.*

Danny J. Martínez P. *Universidad Santo Tomas – Sede Tunja.*

Imágenes de la portada fueron cedidas por el Convenio interinstitucional Huella galápaga Parex resources – Unitrópico.

Tabla de contenido

Artículos de Investigación	Páginas
Propiedades geotécnicas de laterita y su comportamiento como sustituto del agregado grueso en mezclas de concreto Helberth I. Gómez Niño, Hernando Salcedo Caldas -----	1-6
Artículos de Revisión	
Turismo Religioso: Un camino hacia la espiritualidad y el crecimiento económico Nelsy Ortiz Alzamora	7-10
Identificación de eco-materiales implementados como materiales de uso común en Ingeniería Civil Yurley Viviana Salamanca Martínez -----	11-17
Artículos de Divulgación	
Historia de puentes y conexiones: Una introducción a la teoría de redes Diego Espitia	18-23
La importancia del Cloud Computing en la Educación Inés Rojas Villamil, Alith Arlenny Tovar Mariño, Cesar Dayan Martelo	24-29
De los desperdicios al tanque de tu auto, cómo aprovechar los desperdicios del plátano L.A. Alonso-Gómez, E. Heredia-Olea	30-33
Vida y proximidad, claves para abordar el impacto de la pandemia en la planeación de la ciudad informal post COVID-19 Reimi Vargas A. -----	33-39
Sección Unitrópico Investiga	
Avances de investigación Unitrópico 2019 Diana M. Medina L., José A. Camargo M.	40-41

Propiedades geotécnicas de laterita y su comportamiento como sustituto del agregado grueso en mezclas de concreto

Geotechnical properties of laterite and its behavior as a substitute for coarse aggregate in concrete mixes

Helberth I. Gómez Niño^{1*}, Hernando Salcedo Caldas¹

Resumen

La laterita se puede encontrar en diversos lugares del mundo, asociado principalmente a zonas tropicales con alta precipitación y altas temperaturas, es común encontrar manifestaciones de laterita en la Orinoquia colombiana, la cual es usada principalmente en la conformación de terraplenes y ocasionalmente como material de construcción. La determinación de las propiedades físicas de este material, es fundamental para evaluar el comportamiento mecánico y definir los posibles usos dentro de la ingeniería civil. El objetivo de la presente investigación fue determinar las propiedades geotécnicas de muestras recolectadas en campo de material laterítico del área de San Luis de Palenque - Casanare, y analizar el comportamiento mecánico del concreto a partir de la sustitución parcial y total del agregado grueso (grava) por laterita, teniendo como referencia la resistencia de una muestra de concreto convencional (100% de grava como agregado grueso). Como resultados importantes se obtuvo; el diagrama de fases de una muestra de laterita, con la cual se pudo determinar la porosidad (%n), humedad (%w), Peso específico (ρ), peso específico seco (ρ_d) y la relación de vacíos (e). Se resalta como resultado importante, que el material estudiado presenta una gravedad específica (Gs) alta. Con respecto a la resistencia de concreto realizada por el método ACI, y acorde a la dosificación de laterita como sustituto de la fracción gruesa, se demuestra que con la dosificación de concreto con un contenido del 100% de laterita como fracción gruesa, se obtiene una resistencia aproximada de 15.5 Mpa, la cual es inferior a la resistencia del concreto convencional, que está en el orden de 23 Mpa.

Palabras Claves: Concreto — Depósitos — Fracción gruesa — Laterita — propiedades geotécnicas — Resistencia mecánica — Ripio

Abstract

Laterite can be found in various parts of the world, mainly associated with tropical areas with high precipitation and high temperatures, it is common to find laterite manifestations in the Colombian Orinoquia, which is mainly used in the formation of embankments and occasionally as construction material. The determination of the physical properties of this material is essential to determine the mechanical behavior and define the possible uses within civil engineering. The objective of the present investigation was to determine the geotechnical properties of samples collected in the field of lateritic material from the San Luis de Palenque area, Casanare, and to analyze the mechanical behavior of concrete from the partial and total replacement of the coarse aggregate (Gravel) by laterite; taking as reference the resistance of a conventional concrete sample (100% gravel as coarse aggregate). As important results, he obtained the phase diagram of a laterite sample, with which the porosity (%n), humidity (%w), specific weight (ρ), dry specific weight (ρ_d) and ratio of empty (e). It is highlighted as an important result that the material studied has a high specific gravity (Gs). Regarding the resistance of concrete made by the ACI method, and according to the dosage of laterite as a substitute for the coarse fraction, it is shown that the dosage of concrete with a content of 100% of laterite as a coarse fraction, a resistance is obtained approximately 15.5 Mpa, which is less than the strength of conventional concrete, which is in the order of 23 Mpa.

Keywords: Concrete — Deposits — Coarse fraction — Laterite — Geotechnical properties — Mechanical resistance — Gravel

¹ Grupo de Estudios e Investigaciones de Ingeniería Civil en la Orinoquia – GEIICO, Unitrópico, Yopal, Colombia.

*Autor para correspondencia: helberthgomez@unitropico.edu.co

Introducción

Las lateritas son el producto de la meteorización intensa y duradera de suelos y rocas, que se intensifica por las altas precipitaciones y temperaturas (Budihal y Pujar, 2018). Estos agentes erosivos y de meteorización producen en un enriquecimiento de óxidos, hidróxidos de hierro y aluminio, en suelos que presenta un bajo contenido de sílice y ausencia de otros minerales comunes como (Ca, Mg, Na, K, etc.), para formar un material compacto poroso, cuya coloración varía de amarilla a roja y se forma en las áreas húmedas tropicales (Schellmann, 1986). Según menciona Suarez (2009), el movimiento cíclico de los niveles de agua conduce a la acumulación de óxidos de hierro formando una capa de suelos cementados, generalmente semipermeables. Estos materiales se van endureciendo en presencia del aire, formando suelos lateríticos, los cuales poseen una gradación que puede ir desde las gravas a las arcillas y una plasticidad de baja a intermedia. Hasta la fecha han sido diversos los lugares del mundo donde se han reportado lateritas. En muchos de ellos se explotan para extraer metales como el Fe, Al, Co y Ni. En la Figura 1, se presentan los principales depósitos lateríticos reconocidos en el mundo.



Figura 1. Distribución mundial de los principales afloramientos de lateritas. Nótese que los suelos residuales se concentra en el sector norte de América del Sur, Centroamérica, África, Australia, Oceanía y el sur de Asia. Los afloramientos principales están representados por los puntos amarillos. Modificado de Salinas (2016)

Se puede evidenciar que la mayoría de depósitos lateríticos, se encuentran en las zonas tropicales, lugar donde se dan las condiciones climáticas más apropiadas para la generación de estos suelos. Sin embargo, hay varios lugares en zonas más al norte o sur de los trópicos en donde también se han reportado depósitos lateríticos como en países del norte de Europa, Australia y la zona norte de Estados Unidos (Salinas, 2016).

Los depósitos de laterita, han sido investigados principalmente desde su composición mineralógica, debido a la alta concentración de minerales como el hierro, Níquel, Cobalto y Aluminio. Estos depósitos constituyen y representan reservas mundiales de minerales que son explotadas en la actualidad.

Al situarse Colombia en una región tropical; se presentan zonas con manifestaciones de afloramientos lateríticos de gran importancia económica, como las encontrados en Antioquia, Amazonia y en el departamento de Córdoba el cual presenta yacimientos

importantes en Cerro Matoso, Planeta Rica, y Uré; los cuales han sido estudiadas por Mejía y Durango (1981), debido a su potencial minero en Níquel. Existen otros depósitos de menor importancia; como los materiales que se extienden por la Orinoquia Colombiana, que han sido reportados por el Instituto Colombiano de Geología Y Minería (INGEOMINAS, 2009), hoy Servicio Geológico Colombiano S.G.C.

En Colombia las lateritas han sido mayormente estudiados para su uso en la minería, agronomía, agrología y la biología. Sin embargo, a través de estas investigaciones se han podido concluir algunas de las características más relevantes de ese tipo de materiales, como su composición y los factores que influyen en su proceso de formación, los cuales condicional su desempeño en las aplicaciones en la ingeniería.

La mayor parte de las teorías e investigaciones en el campo de la ingeniería civil, han tenido su origen en trabajos realizados sobre depósitos de suelos sedimentarios, especialmente en (arenas, gravas y arcillas), por lo tanto; estos materiales están condicionados al comportamiento mecánico de ese tipo de suelos. La aplicabilidad de las teorías y los criterios de diseño geotécnico que existen actualmente, podría no ser completamente válidos en el caso de suelos residuales de tipo lateríticos, debido a diferencias importantes que existen en su constitución, estructura y principalmente en las propiedades mecánicas, que dependen de factores como el clima, tipo de la roca parental y del grado de meteorización o laterización del suelo. Es común encontrar suelos residuales con baja resistencia mecánica hasta materiales con excelentes capacidades de soporte (Gidigasú, 1976).

La laterización por lo general actúa con fuerza en regiones planas sobre grandes llanuras, donde la disponibilidad de materiales para construcción tradicionalmente aceptados y estandarizados (obtenidos de canteras) es casi nula (Pérez, 2017). En países donde la presencia de materiales granulares con características óptimas para la construcción de estructuras de bases y subbases de pavimentos son escasos, se han visto en la necesidad de utilizar materiales provenientes de suelos tropicales y ajustar su aplicación para que cumplan con los parámetros de resistencia y durabilidad establecidos por los diseños.

A nivel de América del Sur, Brasil se destaca por realizar numerosos trabajos sobre la clasificación y uso de los suelos lateríticos, enfocando sus esfuerzos de investigación principalmente en el uso de este material para concretos (Cozzolino y Nogami, 1993).

El concreto es una mezcla de gravas, arena, agua y cemento que al solidificarse constituye uno de los materiales de construcción más resistentes para ser empleado en obras civiles. Para hacer uso del concreto; se debe tener en cuenta que la fracción gruesa (grava), juegan un papel importante en su producción, ya sea desde un punto de vista económico o técnico, pues la grava ocupa hasta el 80% del volumen del concreto, influyendo significativamente en su resistencia mecánica, estabilidad dimensional y durabilidad (Carvalho et al., 2011). Algunos investigadores han obtenido resultados que fomentan el uso de concretos lateríticos como un agregado grueso alternativo para su fabricación (Rodríguez y Souza, 2020).

En Colombia uno de los usos más frecuentes que se les ha dado a los depósitos lateríticos es el destinado a la construcción de vías, como material de préstamo para terraplenes, con resultados no muy buenos principalmente en los departamentos del Vichada y Meta (Pérez, 2017).

Teniendo en cuenta lo anterior, el estudio del comportamiento de los depósitos lateríticos requiere en primera instancia, del conocimiento geológico y composición mineralógica del material; puesto que este hereda propiedades y características importantes de los materiales parentales como son la relación de vacíos y la granulometría. Por otra parte, al realizar la estimación del comportamiento mecánico se debe tener en cuenta que éste es muy variable incluso para un mismo estrato, ya que las características importantes como la granulometría, cementación y propiedades geotécnicas pueden cambiar en apenas unos pocos centímetros.

El uso de laterita como material de interés ingenieril, en los departamentos de Casanare y Vichada, está condicionado por la ausencia de material tipo cantera principalmente en algunas zonas; así como su uso para disminuir los costos de transporte. La laterita o ripio se está utilizando ampliamente para el mejoramiento de carretables y vías, debido a la ausencia de material petreo en estas zonas con desarrollos viales importantes, alejados a veces hasta más de 800 Km de una cantera con material propicio para este uso (Rodríguez, 2017).

En Casanare es común encontrar suelos lateríticos altos en hierro y aluminio, que se conoce comúnmente como Ripio o Arrecife, los cuales se proponen como alternativa económica de uso ingenieril como insumo para la construcción.

El uso de materiales alternativos en la construcción civil solo es posible cuando tienen estudios científicos y ventajas económicas que respaldan su uso. En este sentido los objetivos de la investigación, son determinar las principales propiedades geotécnicas de una muestra de laterita de Casanare, y evaluar el comportamiento de la resistencia mecánica, al sustituir total y parcialmente el agregado grueso en una mezcla para concreto de uso estructural.

1. Materiales y Método

De acuerdo a las líneas de investigación en el área de suelos y materiales, del Grupo de Estudios e Investigaciones de Ingeniería Civil en la Orinoquia (GEIICO), se ha realizado un reconocimiento geológico preliminar a muestras extraídas, de diversas áreas de Casanare, y se estableció como muestra a analizar, el material laterítico extraído de la vereda Cabuyaro Municipio de San Luis De Palenque (Figura 2). La muestra fue extraída específicamente entre la siguiente coordenadas geográficas Latitud Norte 5°19'54.9", Longitud Oeste 71°45'38.43".

Las muestras fueron recolectadas en forma secuencial, de Techo a piso, mediante 4 apiques, con una profundidad de 0.80 m, distanciados entre sí 100 m. Se recolectó un total de 50 Kg de material para su posterior análisis. Las técnicas utilizadas para los análisis, corresponden a los métodos establecidos en las especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carreteras del Instituto Nacional de Vías (INVIAS).

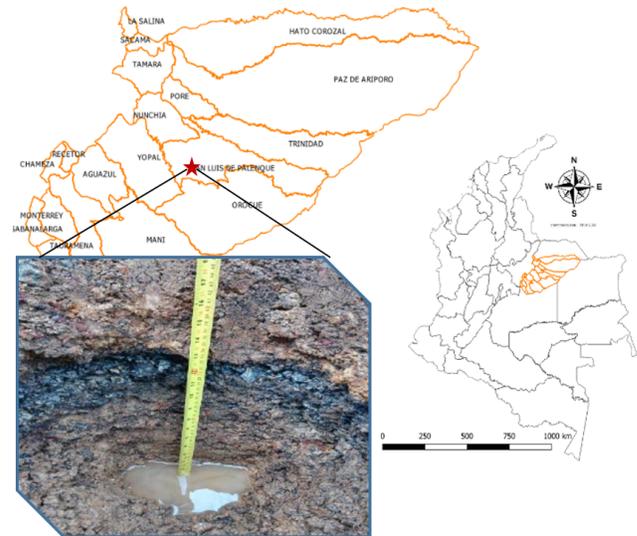


Figura 2. Localización geográfica del área de donde se extrajo la muestra de estudio. La estrella representa la localización sobre el río Guanapalo en el municipio de San Luis de Palenque. Nótese el afloramiento de una capa de laterita con alto contenido de hierro, que sobresale por su coloración oscura.

Para el análisis de propiedades físicas; Porosidad (n), humedad (w), relación de vacíos (n), Gravedad específica (G_s), peso específico (ρ), Peso específico seco (ρ_d), se realizó teniendo en cuenta los principios de las relaciones volumétricas y relaciones de fases, de la mecánica de suelos, a partir de una muestra cilíndrica de volumen y peso conocido, y de los resultados de laboratorio.

Para evaluar el comportamiento mecánico del concreto, se utilizó el material lateríticos en remplazo de agregado grueso (grava), el cual fue triturado y tamizado por el tamiz No 4, para alcanzar el tamaño de partículas como agregado grueso en una mezcla de concreto.

El concreto fue elaborado y dosificado de acuerdo al procedimiento establecido en la especificación técnica del Invías (I.N.V.E-402-13), y el método A.C.I (American Concrete Institute, por sus siglas en inglés). Para el análisis se elaboraron cuatro diferentes dosificaciones de mezcla de concreto, con la relación agua cemento en la misma cantidad para todas las muestras.

El porcentaje que se sustituye de grava por laterita en los ensayos fue seleccionado teniendo en cuenta el costo de los ensayos y debido a que es una investigación de desarrollo experimental, donde existe gran incertidumbre en el comportamiento de las variables independientes (Sampieri et al., 1991). Se tomó como rango extremo de comparación la mezcla correspondiente al remplazo del 100% de laterita como agregado grueso para el concreto. Se comparó la resistencia con una muestra de concreto convencional, los especímenes se evaluaron en periodos de tiempo correspondientes a 7, 14 y 28 días de fraguado. Las dosificaciones para el remplazo del agregado grueso se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Porcentajes de sustitución de la fracción gruesa (grava), por material laterítico. Como muestra patrón de la resistencia.

Muestras	% Grava	% Laterita
Concreto Convencional	100	0
Muestra 70-30	70	30
Muestra 50-50	50	50
Muestra 30-70	30	70
Concreto con laterita en un 100%	0	100

2. Resultados

Como resultado de la investigación que se ha adelantado en el departamento de Casanare acorde a las líneas de investigación de GEIICO. Se ha encontrado que el material lateríticos se halla principalmente en áreas de depósitos de planicies aluviales. Como resultados de la exploración y muestreo, se obtuvo muestras representativas de material lateríticos inalterado (Figura 3). El cual puede variar en su consistencia y coloración.

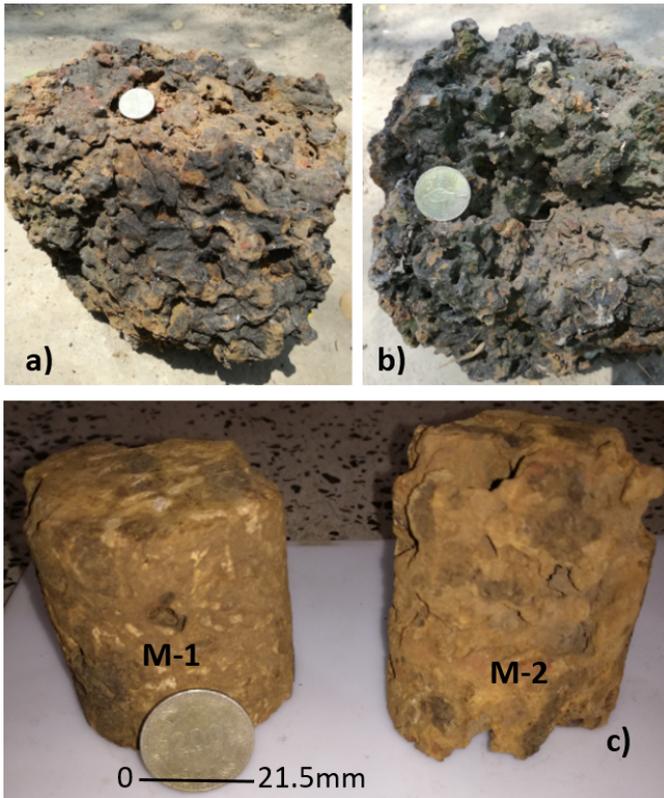


Figura 3. Se presenta 2 muestras inalteradas a) y b) de laterita; presentan coloración pardas amarillentas y colores rojizos oscuros, que indican presencia de óxidos de hierro. En la imagen c) se presentan 2 testigos cilíndricos (M-1, M-2) tomados de las muestras inalteradas para determinar propiedades geotécnicas. Nótese la escala referida.

En la Figura 4, se representan los resultados correspondientes a los datos obtenidos en laboratorio, para determinar las propiedades geotécnicas de las 2 muestras analizadas y mostradas en la Figura 3c.

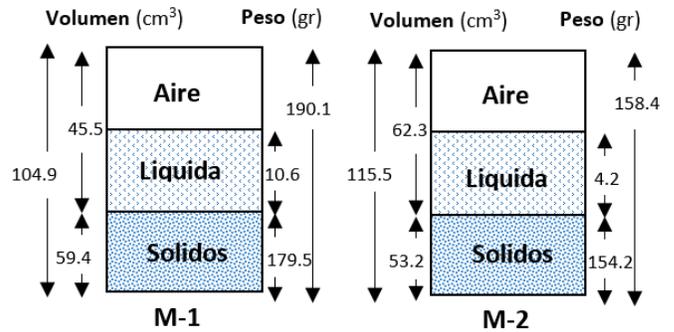


Figura 4. Propiedades geotécnicas, representadas mediante la relación de diagrama de fases volumétricas correspondientes a las muestras de lateritas M-1 y M-2.

En la Tabla 2, se presenta los resultados correspondientes a la solución de los diagramas de fases, que corresponden a las principales propiedades geotécnicas de las 2 muestras analizadas.

Tabla 2. Propiedades geotécnicas a partir del análisis de las relaciones de fases volumétricas correspondientes a las muestras M-1 y M-2.

Propiedades Físicas	M-1	M-2
Porosidad (% n)	43.4	54
Humedad (% w)	6	3
Peso específico (ρ) gr/cm ³	1.8	1.4
Peso específico seco (ρ_d) gr/cm ³	1.7	1.3
Gravedad específica (Gs)	3.2	2.9
Relación de Vacíos (e)	0.8	1.2

En la Figura 5, se presenta la comparación de resultados de la resistencia a la compresión axial de especímenes de concreto, según dosificaciones estudiadas. En donde se evidencia que el uso de laterita no aporta una resistencia igual a la que tiene un concreto de uso convencional fabricado con materiales pétreos de cantera. Se aprecia que que el aumento de porcentaje de mezcla de laterita disminuye la resistencia a la compresión del concreto.

Se resalta como resultado importante que el uso parcial en porcentajes del 30% de laterita como sustituto de fracción gruesa, presenta una resistencia en el orden de los 15 Mpa. Y para una sustitución total de fracción gruesa por laterita, su magnitud de resistencia es inferior, estando en el orden de 7 Mpa.

3. Discusión

La unidad de sedimentos asociados a costras y depósitos ferruginosos (lateritas), son depósitos que se han formado a partir de suelos de tipo residual, que se extiende sobre la superficie en forma constante a irregular. Este tipo de depósitos se encuentran aflorando en gran parte del territorio del departamento de Casanare, Arauca y Vichada.

Existen ambientes favorables para la mineralización de hierro laterítico, en las cordilleras Oriental los prospectos que por el momento presentan mayor interés corresponden a Sabanalarga en Casanare (SGC, 2019).

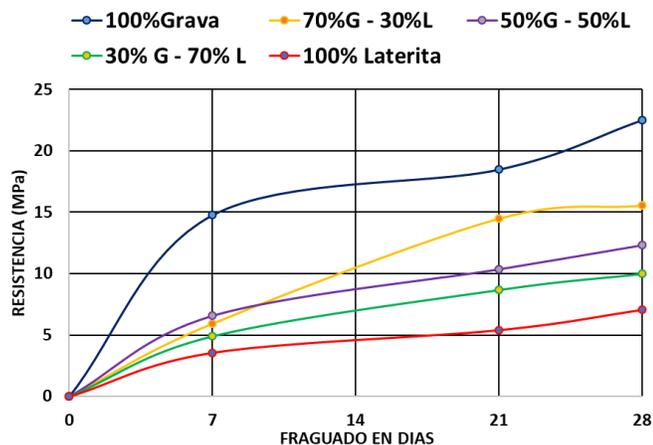


Figura 5. Comportamiento de la resistencia de concreto con fraguado a los 7, 21, 28 días. Cada curva presenta variación de dosificaciones en la fracción gruesa, la cual está indicada en la parte superior de la gráfica, el (%G), corresponde a Grava, (%L) corresponde a Laterita. La curva Azul corresponde a resistencia de concreto convencional es decir con 100% de grava.

De acuerdo a los resultados de las propiedades físicas, las muestras de laterita, presentan una porosidad alta, esto indica que la alteración en estos materiales ha sido intensa, y se asocia a procesos de desintegración química, principalmente por acción del agua, se ha detectado que en los suelos tropicales la humedad afecta sensiblemente su resistencia al corte (Voss, 2019).

El valor de relación de vacíos es alto, lo cual es asociado con zonas de alta precipitación, es un comportamiento similar a lo registrado en otras investigaciones donde se encontró que existe una dependencia directa de la relación de vacíos con la precipitación (Suárez, 1998). Al presentar una relación de vacíos alta, el material es más susceptible a proceso de consolidación.

Se evidencia valores altos en la Gravedad específica (Gs), lo cual concuerda con la presencia de óxidos de hierro y aluminio, emplazados como mineralizaciones en el material, además de actuar como agente cementante entre partículas.

De acuerdo al resultado de la Figura 5, se identifica un crecimiento en la resistencia con el tiempo de fraguado; pero no llega a la resistencia de diseño del concreto convencional (curva Azul %100 grava). De esta manera se podría suponer que al aumentar la dosificación en la cantidad de cemento pueda mejorar la resistencia del concreto. Sin embargo, es importante identificar que las resistencias bajas del concreto obtenidas a partir del remplazo de material laterítico, podrían orientar un posible uso en concretos no estructurales, como por ejemplo para pisos, andenes, sardineles y específicamente un uso alto para el mejoramiento de vías. Lo cual concuerda y confirman el buen desempeño que los concretos lateríticos presentan en edificios pequeños y tramos de vías utilizados por más de 30 años reportado por (Carvalho et al., 2011).

Vale la pena seguir investigando alternativas para mejorar la resistencia.

4. Conclusiones

Los suelos lateríticos de Casanare se presentan como depósito de origen residual, los cuales tienen coloración pardo amarillenta a rojizos y oscuros, lo cual es un indicador de la presencia de óxidos de hierro y aluminio.

El diagrama de fases, permite representar los cambios continuos en las magnitudes de las relaciones volumétricas de la laterita, y se puede definir cuantitativamente las propiedades físicas del material, como se observa en la Figura 5.

Las propiedades físicas de un mismo material, no necesariamente son iguales, debido a que esto es causado por diversos fenómenos geológicos y físicos posibles, mediante trayectorias de procesos diagenéticos de los suelos.

Los resultados referidos a las propiedades físicas, indican que el material no es homogéneo, y que puede variar en un mismo punto. Se presenta una alta Gravedad específica (Gs), debido al contenido de óxidos de hierro y aluminio, como agente cementante y como partículas mineralógicas, que constituyen la laterita.

La alta porosidad presente en los especímenes, se puede asociar a la hidrólisis, la cual consiste en la descomposición química de una sustancia por medio del agua, se produce como efecto de que el agua libre, de los climas tropicales de intensa pluviosidad, donde las rocas están formadas fundamentalmente de Silicatos y Óxidos de Fe y Al, el agua libre afloja la ligazón con estos elementos y provoca su descomposición.

Los resultados obtenidos de las muestras de concreto con los diferentes porcentajes (100% Triturado, 70% Triturado – 30% Laterita, 50% Laterita – 50% Triturado, 30% Triturado – 70% Laterita y 100% Laterita), y de acuerdo a la dosificación realizada por el método ACI, se demuestra que, a mayor contenido de fracción gruesa de laterita, es menor su resistencia. Esto también fue identificado en un estudio realizado en el Brasil donde se observó que el remplazo de la piedra triturada de basalto de agregado convencional por agregado de laterita en estado natural promovió una disminución en el valor de resistencia a la compresión simple (Rodríguez y Souza, 2020).

El concreto obtenido con laterita, no es viable usarlo en elementos estructurales tales como vigas y columnas; sin embargo, podría ser utilizado para pisos, andenes y sardineles entre otros usos.

Este trabajo contribuyó en la generación de nuevos aportes al conocimiento, sobre el comportamiento de laterita como insumos alternativos en usos de la ingeniería civil. Y servirá como aporte en futuras investigaciones que permitan establecer otros factores que inciden en el comportamiento de resistencia de los concretos con mayor precisión.

5. Agradecimientos

Los autores expresan el agradecimiento a los estudiantes que han estado vinculados al grupo de investigación GEIICO, en el área de suelos y materiales.

Referencias

- Budihal, R. y Pujar, G. (2018). Major and trace elements geochemistry of laterites from the swarnagadde plateau, uttar kannada district, karnataka, india. *Journal of Geosciences and Geomatics*, 1:12.
- Carvalho, D., Pompeu, B., Tetsuo, R., y Ferreira, M. (2011). Propriedades mecanicas de concreto laterítico com metacaulim. *Teoria e prática na Engenharia Civil*, 11:25.
- Cozzolino, M. y Nogami, S. (1993). Mct geotechnical classification for tropicals soils. *Soils and Rocks*, 16(4):77.
- Gidigasú, M. D. (1976). *Laterite Soil Engineering*. Oxford New York: Elsevier scientific Publishing.
- INGEOMINAS (2009). *Memoria explicativa de las planchas 162, 162 bis, 182 y 182 bis puerto Carreño, vichada*. Instituto Colombiano de Geología Y Minería - INGEOMINAS.
- Mejía, V. y Durango, J. (1981). Geología de las lateritas níquelíferas de cerro matoso s.a. *Boletín de Geología*, 15(29):99.
- Pérez, G. (2017). *Influencia de la succión en la deformación cortante de suelos lateríticos (Tesis de maestría)*. Universidad Nacional de Colombia. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/61103/1/9434478.2017.pdf>.
- Rodríguez, P. (2017). *Evaluación del potencial de suelos lateríticos (ripio) para obras de infraestructura vial en el Vichada (Tesis de maestría)*. Universidad Nacional, Bogotá, Colombia. Disponible en: <https://bit.ly/2J9VBrs>.
- Rodríguez, P. y Souza, M. (2020). Concreto produzido com agregado graúdo laterítico em santarém, Pará. *Revista eletrónica de Engenharia Civil*, 16(1):60.
- Salinas, S. (2016). *Formación de la laterita de Caiman, XIV región Chile (Tesis de pregrado)*. Universidad de Chile, Santiago de Chile. Disponible en: <https://bit.ly/3dnRLsA>.
- Sampieri, C., Fernández, C., y Baptista, P. (1991). *Metodología de la investigación*. MacGraw Hill: Naucalpan de Juárez, Mexico.
- Schellmann, W. (1986). A new definition of laterite. in: Lateritisation processes, igcp-127. *Geological Survey of India, Memoirs*, 120:1.
- SGC (2019). *Recursos minerales de Colombia*. Servicio Geológico Colombiano - SGS. Disponible en: <https://bit.ly/31AAMjd>.
- Suárez, J. (1998). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Bucaramanga: Ingeniería de Suelos Ltda.* Bucaramanga, Colombia: División de publicaciones UIS.
- Suárez, J. (2009). *Deslizamientos, Vol. I*. Bucaramanga: Ingeniería de Suelos Ltda. Bucaramanga, Colombia: División de publicaciones UIS.
- Voss, F. (2019). *Estabilidad de taludes en zonas tropicales: antecedentes, métodos de análisis y la aplicación de la bioingeniería para el control de inestabilidades (Tesina de Diplomado)*. Centro Geotecnico Internacional. Disponible en: <https://bit.ly/2VEq5bz>.

Turismo Religioso: Un camino hacia la espiritualidad y el crecimiento económico

Religious Tourism: A path to spirituality and economic growth

Nelsy Ortiz Alzamora^{1*}

Resumen

Las actividades comúnmente reconocidas alrededor de turismo son la recreación y los negocios, sin embargo, una actividad turística de gran demanda nacional e internacional es el denominado Turismo Religioso, el cual se centra en los intereses espirituales y culturales de los turistas. Dada su gran demanda, su potencial económico es evidente. En este trabajo se expone una pequeña recopilación y estudio de literatura científica enfocada en el Turismo Religioso, para lo cual se recopiló, organizó y estudio información reportada en artículos científicos publicados en revistas indexada que abordan el tema. Como resultado se evidencia la importancia del turismo religioso, el cual no ha sido explorado con detalle en nuestra región.

Palabras Claves: Turismo — Turismo religioso — peregrinación

Abstract

The commonly recognized activities around tourism are recreation and business, however, a tourist activity of great national and international demand is so-called Religious Tourism, which focuses on the spiritual and cultural interests of tourists. Given its high demand, its economic potential is evident. This work exhibits a small collection and study of scientific literature focused on Religious Tourism, for which information reported in scientific articles published in indexed journals addressing the subject was collected, organized and studied. As a result, the importance of religious tourism, which has not been explored in detail in our region, is evident.

Keywords: Tourism — Religious Tourism — Pilgrimage

¹Fundación Universitaria del Trópico Americano Unitropico - Programa Administración de Empresas. Yopal, Colombia.

*Autor para correspondencia: nelsyortiz97@gmail.com

Introducción

Si hay un fenómeno social claramente caracterizador de la sociedad occidental posterior a la Segunda Guerra Mundial es, sin duda, el turismo (Secall, 2009). El turismo al pasar de los años se ha convertido en un tema relevante de investigación y con mucha importancia para muchos turismólogos¹, ya que no solo es recreación, sino también, es motivo de desarrollo económico y social de una ciudad, región o nación. Según la OMT (Organización Mundial del Turismo), el turismo comprende las actividades que realizan las personas durante sus viajes y estancias en lugares distintos a su entorno habitual durante un período de tiempo inferior a un año, con fines de ocio, negocios u otros. Ahora bien, el turismo religioso es un concepto que se ha analizado, desde hace muy poco tiempo, sin embargo, hace referencia a la combinación de dos fenómenos con procesos evolutivos disímiles, como son la religión, la cual tiene raíces ancestrales, y el turismo con un

desarrollo más moderno (Tobón y Tobón, 2013).

Esta temática abarca distintas perspectivas, las cuales se han ido investigando y estas han sido muy diversas, desde el impacto económico y social (Tobón y Tobón, 2013), su vínculo con las peregrinaciones (Mora et al., 2017), turismo religioso como alternativa de preservación del patrimonio (Robles, 2001), búsqueda espiritual a través del turismo religioso (Albert, 2020) y las etapas del ciclo de vida del turismo religioso (Millan et al., 2012), entre otros. En este artículo se revisan algunas perspectivas teóricas que tiene el turismo religioso, desde el contexto social y económico, buscando exponer, en base a la revisión de la literatura sobre el tema, la evolución del concepto y la forma como dicho fenómeno ha impactado tanto los destinos religiosos como a la sociedad.

1. Metodología

El presente trabajo se desarrolló bajo un enfoque cualitativo con carácter no experimental. La metodología utilizada para la presente investigación fue la recopilación de información que

¹Investigadores que estudian el turismo desde el punto de vista científico (<https://www.arqhys.com>).

abordan la temática del turismo religioso reportada en artículos científicos publicados en revistas indexadas en las bases de datos de Publiindex y Scopus.

2. Sobre las Teorías del Turismo

La palabra turismo proviene del latín *turnus* que significa vuelta o movimiento, se refiere al desplazamiento de personas (turistas) con múltiples objetivos, entre estos la recreación. La historia del turismo se remonta a las primeras manifestaciones de los viajes, sobre lo cual se han consolidado un importante número de documentos (Saldívar, 2012). Se habla de turismo como actividad de descanso y recreación, y a la vez como un fenómeno social y un factor económico de una ciudad o un país (Francesch, 2004). Distintos investigadores, al abordar el turismo como un objeto de estudio, lo han condicionado a la aplicación de procesos sistemáticos en lo teórico y metodológico, con lo cual han limitado sus posibilidades de construcción y han demostrado no solo una falta de criticidad, sino un vacío argumentativo en la implicación que aquella tiene en la construcción del turismo, que va más allá de la mensurabilidad y objetividad de lo manifiesto Navas y Castillo (2017). El fenómeno turístico, pese a su importancia en el mundo contemporáneo, cuenta con herramientas conceptuales y métricas que presentan algunas carencias (Francesch, 2004). Autores como Hiernaux (2002) y Francesch (2004) tienen como objetivo principal para sus investigaciones analizar las distintas orientaciones que inducen a definir el turismo. Estos autores tratan de enseñar las múltiples facetas que aportan las diversas disciplinas que se dedican al estudio del turismo, entre esas encontramos Turismo a partir de aspectos legales que hace referencia a condiciones legales de acceso al tiempo libre, así como de recursos adecuados para ello. Estas condiciones necesarias para la operación del turismo, no se derivaron de una posible legislación turística, sino que, por el contrario, nacieron en el seno de la legislación laboral, es decir, tienen relación con las “vacaciones” que nacen en el marco de un acuerdo o convenio legalmente aceptada por el empleador y el empleado, acuerdo sancionado por una norma o una ley ya establecida. Como otra faceta se encuentra Turismo desde la perspectiva económica, donde se percibe el turismo como un factor de desarrollo capaz de impulsar una economía global y sobre todo la economía nacional y las economías locales y Turismo visto desde las ciencias administrativas, ya que este se ha tornado un verdadero campo profesional y por ende se ha transformado en una disciplina para la formación de profesionales en turismo. El fuerte crecimiento de las actividades turísticas ha demandado cada vez más profesionales con diversos niveles de preparación para suplir todas estas actividades. Es importante mencionar que en el campo del turismo se han realizado innumerables estudios que parten de disciplinas ya consolidadas, como la economía, la sociología y la antropología, pero es innegable que el turismo abarca en sí mismo a todas estas disciplinas y otras que se entrecruzan y entrelazan al momento de brindar una explicación científica (Campodónico y Chalar, 2011). Para Castillo (2011), la intención de hacer de las actividades, hechos y fenómenos vinculados con el turismo un instrumento de desarrollo de individuos, grupos y regiones descansará sobre el

conocimiento preciso que sobre él se tenga, más allá de las triviales discusiones de que si es una ciencia, de que si es producción teórica o conocimiento aplicado, etc.

El método para la búsqueda de información más utilizado por los autores fue el cualitativo (recopilación de datos no numéricos). No se puede pensar en el turismo solo como una actividad económica o social, ya que su definición debe abarcar sus multidimensiones (Panosso, 2007), por eso con base en la teoría de los paradigmas científicos de Kuhn se identificaron tres grupos básicos de autores que buscaron explicar a través de la recopilación de datos el turismo. Ahora bien, para De Oliveira (2007) la recolección de datos también fue importante para su investigación, ya que a partir de esta trabajó con once modelos teóricos que buscan representar y sistematizar elementos y relaciones características del fenómeno turístico, con el fin de reunir, presentar y discutir los principales modelos teóricos disponibles en la literatura especializada aplicados al turismo.

3. Turismo, Religión y Peregrinación

Se evidencian muchos estudios sobre Turismo Religioso, la cual hace referencia a un fenómeno que tiene sus antecedentes con las peregrinaciones en templos o lugares religiosos, práctica que se viene dando desde muchos años atrás (Tobón y Tobón, 2013). Actualmente existen muchas formas de viajar realizando diferentes tipos de turismo: turismo nacional e internacional; los cuales pueden ser de tipo tradicional como los paseos familiares, negocios, los campamentos, intercambios, cruceros, en fin todo lo que necesite el turista, y los de tipo alternativo tales como las actividades que se realizan en contacto directo con la naturaleza: senderismo, montañismo, rapel, cabalgatas, espeleísmo, ciclismo de montaña, los maratones; la convivencia en zonas indígenas, etc., pero una nueva forma de viajar es realizar el turismo religioso que anteriormente se incluía en paquetes turísticos, y que hoy mediante la planeación turística se busca que el visitante religioso pueda desarrollar el papel de turista y forme parte de una nueva tendencia del turismo: de peregrinación, religioso por sí mismo y secular, para ellos la cultura es determinante, representan una búsqueda y una experiencia de lo sagrado (García et al., 2017). El turismo religioso es una opción estratégica de desarrollo para muchos destinos. Requiere orientación al turismo, importante inversión de capital privado y público, y predisposición de las autoridades eclesiásticas para adaptarse a las necesidades del visitante (Millan et al., 2012). La Organización Mundial del Turismo (2008) estima que anualmente entre 300 y 330 millones de personas se desplazan por motivos religiosos (Millan y Pérez, 2017). La razón por la cual las personas practican este tipo de turismo es netamente religiosa. Además, se muestra al turismo religioso como una expresión más de la comercialización de la cultura y la religión. Este turismo ha sido un factor de desarrollo económico para muchas ciudades que se caracterizan por tener sitios turísticos religiosos. La relación entre turismo y religión ha sido estudiada como un fenómeno de búsqueda del equilibrio. La peregrinación ha sido definida como “un viaje, por causas religiosas, externamente a un lugar santo e internamente con propósitos espirituales y de auto-conocimiento”. Estos viajes de

peregrinación que, desde la antigüedad, se han realizado como proceso de sacrificio individual en honor a las santidades, se fueron consolidando alrededor de santuarios construidos sobre ruinas de antiguos templos o mitos religiosos en función de santos o deidades a las que se les atribuía algún milagro o aparición y alrededor de la cual se fueron conformando ciudades y más recientemente toda una infraestructura turística y comercial que ha significado un motor de desarrollo de ciudades y pueblos en todo el mundo (Tobón y Tobón, 2013). Si bien es cierto, el turismo religioso también tiene distintas percepciones y por esa razón La Motivación es una variable que analizan los investigadores. Uno de ellos es viajar por motivos netamente religiosos, es decir, estrictamente ir a un lugar santo con propósitos espirituales; otro contexto para practicar el turismo religioso es para intercambiar culturas y crecimiento espiritual (Tobón y Tobón, 2013) (decisión propia de la persona, no quiere decir que esta haga parte de una religión en particular), entre otras. Por otra parte, es importante hablar de la variable Económica. En todas las investigaciones realizadas la economía es una variable latente ya que se ha evidenciado que el turismo produce un efecto positivo y de crecimiento en las ciudades o países, en este caso en las que tienen contenido religioso, debido al gran flujo de visitantes que atrae y por ende reactiva los otros sectores de la economía como restaurantes, hoteles, transporte, ventas, etc (Tobón y Tobón, 2013). Este impacto económico genera nuevas oportunidades de negocios y fuentes de ingresos y empleo para las comunidades aledañas y adicionalmente una fuente de recursos que permiten la conservación y preservación del patrimonio material e inmaterial que representan los lugares de culto o peregrinación que aglomeran a tantos visitantes en determinadas épocas del año.

El principal objetivo de las investigaciones sobre el Turismo religioso se enfoca en analizar los factores que lo favorecen. Como principales factores que determinan el turismo hacia destinos religiosos destacan: la expansión de ciertas religiones, la diversificación de las motivaciones de los turistas, el desarrollo e interés de los medios de comunicación por los lugares o eventos religiosos, y el papel dinámico y coordinado de todas las autoridades y eclesiásticas (Millan y Pérez, 2017). Sin embargo, para Mora et al. (2017), el objetivo es analizar las principales publicaciones que abordan el vínculo turismo-peregrinación, para reconocer sus tendencias disciplinarias y metodológicas. Ahora bien, ambos trabajos proponen factores importantes a investigar, ya que cada uno de ellos se complementan para llegar a una conclusión más ampliada sobre el turismo religioso.

En la mayoría de los casos, el diseño de investigación es de carácter no experimental, siendo un estudio descriptivo en el que se utilizan distintos instrumentos de recolección de información, como entrevistas semi-estructuradas con informantes clave y cuestionarios a turistas, a fin de realizar un análisis comparativo de destinos de diferentes religiones y países, con especial referencia a destinos católicos (Millan y Pérez, 2017), pero también se utiliza el método de enfoque cualitativa con carácter no experimental, de tipo explicativa, por tener como objetivo primario el facilitar la comprensión de la importancia del turismo religioso, así mismo, se utiliza un método histórico mediante el cual se examinó la

evolución del turismo religioso y cultural (García et al., 2017).

4. Principales sitios religiosos en Colombia

Es importante hablar de los sitios turísticos, que se caracterizan por ser religiosos. Colombia cuenta con 21 sitios religiosos propios de la religión católica, pero cabe resaltar que Boyacá está catalogada como uno de los destinos de turismo religioso más concurrido en épocas de festividades tradicionales religiosas de la iglesia Católica en Colombia (Tobón y Tobón, 2013), como consecuencia de su gran flujo religioso, herencia de la cultura española. Dentro de todas las festividades religiosas que celebra la iglesia católica, las que más reúnen feligreses y/o visitante son: semana santa, ceremonias propias del credo cristiano y que se constituyen en parte del patrimonio cultural de las comunidades que las practican.

A continuación, se describen los principales centros religiosos en el Departamento de Boyacá (FMCB, 2020):

- Templo y convento de Santo Domingo: ubicado en la ciudad de Tunja, es un monumento de tres naves en estilo romántico y con arte colonial, construida a finales del siglo XXVII. Se venera principalmente la imagen de la virgen traída de España por Félix del castillo.
- Templo y monasterio de El Topo: se construyó en Tunja a mediados del siglo XVI por ermitaños de San Agustín, en honor a la virgen de El Topo. En su capilla se encuentran cuadros y esculturas de Baltasar de Figueroa.
- Convento monasterio La Candelaria: es un centro de retiro espiritual y meditación ubicado en Ráquira, fundado en 1604 por Fray Mateo Delgado de los Ángeles, guarda en su interior piezas de arte religioso, arte pictórico y arquitectura colonial del siglo XVI.
- Convento museo de Santo Ecce Homo: fundado por padres dominicos en el año de 1620, en honor a la imagen que le da su nombre, la cual fue saqueada de Roma por el ejército español en cabeza del Emperador Carlos V. Está ubicado en el municipio de Sutamarchán.
- Basílica de la Virgen de Chiquinquirá Nuestra Señora del Rosario: su construcción se inició en 1976 y terminó en 1812 por Fray Domingo de Petrés. Alberga esculturas de tamaño natural de santos y de la virgen del rosario traído de España. Fue visitada por el papa Juan Pablo II, en 1986.
- Convento y Basílica de Monguít: construida en cal y canto, talla en piedra, madera y dorados, cuya construcción inició en 1694 y finalizó en 1794. Se venera la imagen de la sagrada familia, cuadro donado por el rey Felipe de España en 1558. El convento alberga una colección de pinturas de arte colonial, compuesta por 130 cuadros de autores como Gregorio de Arce y Ceballos (Tobón y Tobón, 2013).

Por otro lado, el Departamento de Casanare no reporta reconocimiento nacional asociado con el turismo religioso, siendo

unicamente el Santuario de Nuestra Señora de la Virgen de Manare, en el municipio de Paz de Ariporo, el lugar de mayor reconocido local.

5. Consideraciones finales

De acuerdo a la literatura recopilada y su análisis, se evidencia que el turismo religioso merece una atención detallada por parte de todos los investigadores en turismo, el turismo religioso es una expresión más del turismo cultural y entronca con la diversificación del fenómeno turístico en nuestro país y el mundo. El turismo religioso se relaciona con bienes patrimoniales, tangibles e intangibles como son la tradición, la memoria cultural y los sentimientos (Cánoves y Blanco, 2011), pero por otra parte, para Tobón y Tobón (2013) en Colombia el estudio del turismo religioso es incipiente y aunque algunas entidades promotoras del turismo en el país han intentado formular planes con destinos religiosos, no se ha estudiado a fondo cuál es su potencial económico real, ni cuáles son las necesidades de los visitantes a estos sitios religiosos emblemáticos. El sector de turismo religioso actualmente se encuentra en auge, debido a la fidelización de los turistas que van a este tipo de destinos turísticos, congrega aproximadamente entre 220 hasta 300 millones de fieles, que vienen en grupos de diversas partes del mundo para visitar santuarios. Sus manifestaciones fundamentales son el peregrinaje, visita a santuarios, lugares sagrados, tumbas de santos o asistencia y participación en celebraciones religiosas (García et al., 2017). Ahora bien, es importante seguir promoviendo e investigando todo acerca este tipo de turismo, que se vienen presentando tipos atrás, es una actividad que promueve la cultura y el aprendizaje, además, no solamente lo pueden practicar feligreses, sino también todas las personas que deseen conocer mucho más acerca de una cultura y llenarse de conocimiento y aprendizaje a través de esta.

Referencias

- Albert, M. (2020). La búsqueda espiritual a través del turismo. *Cuadernos del Turismo*, 45:13–32.
- Campodónico, R. y Chalar, L. (2011). Hacia la construcción del conocimiento en turismo. *Estudios y Perspectivas en Turismo*, 20(6):1307–1323.
- Castillo, M. and Panosso, A. (2011). Implicaciones epistemológicas en la investigación turística. *Estudios y Perspectivas en Turismo*, 20(2):384–403.
- Cánoves, G. y Blanco, R. (2011). Turismo religioso en España: ¿la gallina de los huevos de oro? una vieja tradición, versus un turismo emergente. *Cuadernos de Turismo*, 27:115–131.
- De Oliveira, G. (2007). Modelos teóricos aplicados al turismo. *Estudios y Perspectivas en Turismo*, 16(1):96–108.
- FMCB (2020). Fondo Mixto de Cultura de Boyaca. En <https://www.fondocultura.org/>.
- Francesch, A. (2004). Los conceptos del turismo. una revisión y una respuesta. *Gazeta de Antropologia*, 20:1–16.
- García, A., Perez, B., y Navarrete, M. (2017). La importancia del turismo religioso en México. *International Journal of Scientific Management and Tourism*, 3(1):131–143.
- Hiernaux, D. (2002). ¿cómo definir el turismo?. un repaso disciplinario. *Aportes y Transferencias*, 6(2):11–27.
- Millan, G. y Pérez, L. (2017). El turismo religioso en distintas zonas geográficas de España: características de los turistas. *Boletín De La Asociación De Geógrafos Españoles*, 75:29–54.
- Millan, G., Pérez, L., y Martínez, R. (2012). Etapas del ciclo de vida en el desarrollo del turismo religioso: una comparación de estudios de caso. *Cuadernos De Turismo*, 30:241–266.
- Mora, V., Serrano, R., y Osorio, M. (2017). El vínculo turismo-peregrinación. un acercamiento desde la producción científica en inglés y en español. *Estudios y Perspectivas en Turismo*, 26(1):86–106.
- Navas, C. y Castillo, M. (2017). Actualidad de la teoría crítica en los estudios del turismo. *Turismo y Sociedad*, 20:49–74.
- Panosso, A. (2007). Filosofía del turismo. una propuesta epistemológica. *Estudios y Perspectivas en Turismo*, 16(4):389–400.
- Robles, J. (2001). Turismo religioso. alternativa de apoyo a la preservación del patrimonio y desarrollo. *Revista bibliográfica de geografía y ciencias sociales*, 6:1–6.
- Saldívar, J. (2012). El desarrollo del turismo religioso translocal: el caso de la santería afrocubana en Lima, Perú. *Reflexiones*, 91(1):139–155.
- Secall, R. (2009). *Turismo y religión. Aproximación histórica y evaluación del impacto económico del turismo religioso*. episcopal española, Madrid-España.
- Tobón, S. y Tobón, N. (2013). Turismo religioso: fenómeno social y económico. *Turismo Y Sociedad*, 14:237–249.

Identificación de eco-materiales implementados como materiales de uso común en Ingeniería Civil

Identification of eco-materials implemented as commonly used materials in civil engineering

Yurley Viviana Salamanca Martínez^{1*}

Resumen

Los ecosistemas naturales se han visto gravemente afectados a causa de factores antrópicos, siendo el sector de la construcción uno de los causantes de este deterioro debido a su estrecha relación con el medio ambiente. El desarrollo de esta revisión de literatura tuvo como objetivo identificar los materiales eco-sostenibles más relevantes en el ámbito de la construcción y que han permitido generar una nueva visión en dicho sector para la fabricación o rediseño de los ya existentes. Se pudo establecer que elementos orgánicos, elementos renovables y/o reutilizables como el vidrio, el caucho, el plástico e incluso los elementos de residuos de construcción y demolición (RCD) han sido los de mayor estudio hasta el momento.

Palabras Claves: Desarrollo sostenible — Materiales — Sector constructivo — Infraestructura

Abstract

Natural ecosystems have been severely affected by anthropic factors, with the construction sector being one of the causes of this deterioration due to its close relationship with the environment. The development of this literature review aimed to identify the most relevant eco-sustainable materials in the field of construction that have allowed to generate a new vision in this sector for the manufacture or redesign of existing ones. It could be established that organic, renewable, and/or reusable elements such as glass, rubber, plastic, and even building and demolition waste (RCD) elements have been the most studied so far.

Keywords: Sustainable development — Materials — Construction sector — Infrastructure

¹ *Fundación Universitaria del Trópico Americano Unitropico - Programa Ingeniería Civil. Yopal, Colombia.*

* **Autor para correspondencia:** vivissalamanca@hotmail.com

Introducción

El número de obras de construcción, remodelación y demolición en las ciudades aumenta de manera constante como consecuencia del crecimiento y desarrollo socioeconómico de la población; sin embargo, aquello ha generado una serie de afectaciones e impactos ambientales que con el paso del tiempo se han visto mayormente reflejadas (Robayo et al., 2015). Por ello es de vital importancia implementar alternativas de solución enfocadas en el desarrollo sostenible, el cual ha venido tomando impulso en el proceso de innovación y evolución desde finales del siglo anterior. Pero, ¿qué es el desarrollo sostenible? Desarrollo se denomina al proceso de satisfacción de las necesidades y el término sostenible indica que aquella satisfacción de las necesidades se genera colocando en primer lugar el bienestar del medio ambiente, sin provocar alteración alguna al medio natural como lo indica el Protocolo de Kyoto, 1997. Con esto se busca alcanzar homogeneidad y coherencia entre el crecimiento económico de la

población, los recursos naturales y la sociedad; evitando poner en riesgo la biodiversidad y la calidad de vida de la humanidad, tanto en el presente como en el futuro (Inarquía, 2019). Por ello mismo, el desarrollo sostenible se ha convertido en uno de los principales retos del siglo XXI, presentándose, como una solución a los problemas antrópicos, que han afectado significativamente al medio ambiente (Eguzki, 2011).

El sector de la construcción mantiene una relación muy estrecha con el medio ambiente, puesto que presenta una doble vertiente: Por una parte, la relación es positiva, ya que la industria de la construcción crea edificaciones e infraestructuras que bien contribuyen a mejorar el desarrollo social y económico de los países o bien proporcionan los medios físicos para mejorar o proteger el medio ambiente. Por otra parte, la relación es negativa puesto que supone un importante consumo de recursos, muchos de los cuales son no renovables, generando una gran cantidad de residuos, que son una fuente de contaminación del aire, el agua y la tierra, causando afectaciones, no sólo a los ecosistemas, sino

también generando patologías en los seres humanos (Cabezas, 2009; Piñeiro y García, 2009). Es así que, en búsqueda de disminuir los impactos negativos, se han desarrollado investigaciones que proponen nuevas alternativas de desarrollo sostenible en el ámbito constructivo, estas comprenden desde la planificación de las estructuras, el desarrollo de materiales ecológicos, hasta la finalización del ciclo de vida del mismo (Pertuz et al., 2020; Mnasri et al., 2017; Bressi et al., 2018). También se ha determinado que, al finalizar la vida útil de ciertos materiales implementados en infraestructuras, se puede aportar a la evolución del desarrollo sostenible mediante el aprovechamiento con métodos como el reúso (volver a utilizar algo, bien con la función que desempeñaba anteriormente o con otros fines), el reciclaje (someter a un material usado a un proceso para que se pueda volver a utilizar) y la re-fabricación. Por lo anterior, el objetivo de esta revisión de literatura fue identificar los principales materiales eco-sostenibles implementados en el sector constructivo.

1. Metodología

La presente revisión de literatura se realizó con base en artículos científicos publicados en revistas presentes en las bases de datos Publindex y Scimago, delimitando la temática a la identificación de materiales eco-sostenibles aplicados en el sector constructivo y desarrollo sostenible. La búsqueda y análisis de la información estuvo conformada por cuatro secciones (Fig. 1)

1. Definición del objetivo de la revisión
2. Realización de la búsqueda bibliográfica: Identificación y recolección de los artículos referentes a la temática. La búsqueda de literatura se basó en la revisión de artículos publicados en revistas indexadas en su mayoría nivel de clasificación nacional A y B según Publindex, e internacional de Q1 de acuerdo con Scimago; de igual manera se estableció un periodo de publicación correspondiente a los años 2012-2020.
3. Organización de la información: Los artículos fueron organizados en tres grandes grupos de acuerdo con el enfoque de las investigaciones: i) impactos medioambientales causados por el sector constructivo, ii) pre-diseño y diseño de materiales de construcción con elementos orgánicos, renovables y/o reutilizables y iii) fin de vida útil de estructuras. Posteriormente se realizó la lectura crítica y el análisis de la información a través de organización, identificando variables, metodología, resultados, aspectos relevantes, entre otros.
4. Redacción del artículo de revisión de literatura.

2. Impactos medioambientales causados por el sector constructivo

La industria de la construcción ha comprendido el impacto positivo que puede causar en el mejoramiento del comportamiento medioambiental, ha venido desarrollando conocimiento sobre

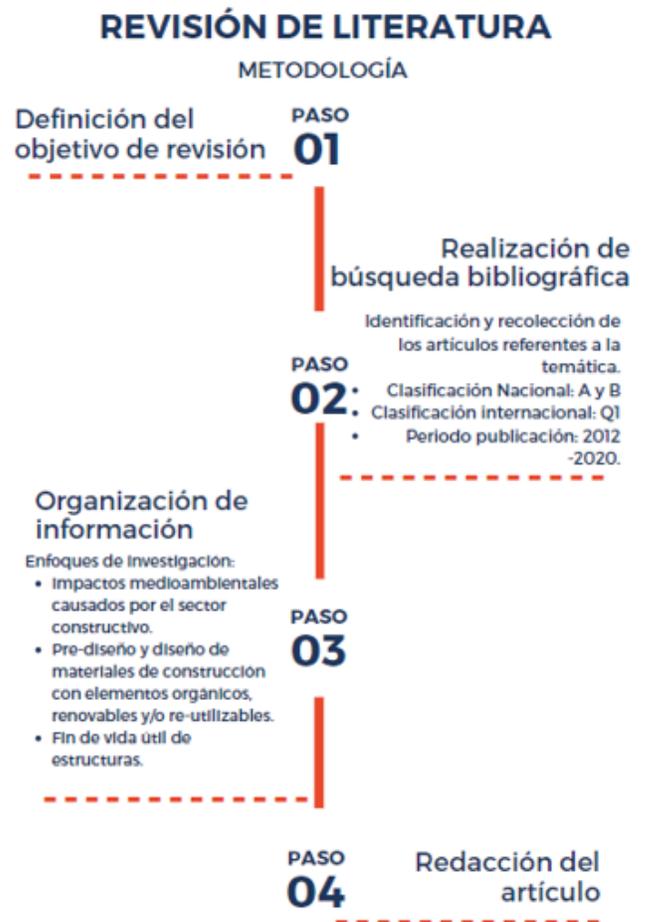


Figura 1. Etapas de la metodología implementada para el artículo de revisión de literatura

nuevas tecnologías, componentes y materiales, que generan progreso económico y ambiental. Además, el desarrollo sostenible genera una mayor evolución para estar cerca del cumplimiento de los retos de desarrollo de infraestructuras, desarrollo económico sustentable, entre otros, establecidos en la ODS (Landeta et al., 2016; Vargas et al., 2008; Alvarez, 2016; Moyano y Rivera, 2016).

Los impactos medioambientales generados por el sector constructivo, a pesar de ser mayormente significativos en la fase de uso y mantenimiento de la infraestructura, también se presentan en las otras fases del proceso. Es por esto debido a conseguir un adecuado proceso de planeación, puesto que allí se condicionan todos los impactos que se van a producir en las siguientes fases del proceso constructivo (Piñeiro y García, 2009). Se han establecido diferentes alternativas que permiten la mitigación de dichos impactos, un ejemplo son los Sistemas de Gestión Ambiental y la utilización de nuevos materiales de construcción amigables con el medio ambiente. A través de ellos se busca fomentar una economía ecológica en el sector de la construcción, enfocándose en procesos de manufactura ya sea de materiales elaborados o mediante la implementación de elementos renovables y/o reutilizables, teniendo en cuenta que el desarrollo de materiales de construcción sostenibles es esencial para cumplir con los requisi-

tos mundiales de la economía verde y sostenible (Shanmugavel et al., 2020).

3. Pre-diseño y diseño de materiales de construcción con elementos orgánicos, renovables y/o reutilizables

El proceso de producción de materiales ecológicos en el sector de la construcción últimamente ha tomado gran importancia, estableciendo varias alternativas entre las cuales destacan la implementación de caucho, vidrio y elementos orgánicos (Tabla 1). Entre las alternativas de manufactura que incluyen elementos orgánicos, se han desarrollado materiales tanto aglomerantes como aglomerados que pueden ser empleados en obras estructurales, para el diseño y elaboración de concreto, por ejemplo; el concreto elaborado a base de cáscara de coco con fibras de plástico reciclado, el cual fue utilizado como reemplazo parcial del cemento; este material además de ser amigable con el medio ambiente, presenta parámetros de elasticidad y resistencia aptas para ser implementado como concreto estructural debido a las características que poseen las fibras de polipropileno presentes en él (Prakash et al., 2020). Otra alternativa sostenible es el concreto con extracto de cactus, el cual presenta una mejora en la fase de fraguado puesto que evita el secado rápido y por tanto se reducen significativamente las grietas de contracción lo que permite extender la durabilidad del concreto (Shanmugavel et al., 2020).

Se identificaron también innovaciones en la elaboración de materiales tipo mortero, en este aspecto se reporta la adición de cascarrilla de arroz; el material obtenido se caracterizó porque a pesar de no ser apto para utilizar como elemento estructural por poseer baja densidad y alta porosidad (baja resistencia mecánica), se pudo establecer como material acelerante de fraguado (Payá.J. et al., 2012). De igual manera, se ha propuesto el diseño de un mortero de alta resistencia debido a la adición de micro-sílice extraída de cenizas de cáscara de arroz (EMS) en porcentajes de 5%, 10% y 15%; como resultado este material presentó una mejora en la densidad (Khan et al., 2020). Entre otros materiales eco-prometedores, se han identificado diversas fibras vegetales, entre las cuales se encuentran fibras de cáñamo, fibras de madera, guata de celulosa, paneles de textiles reciclados y virutas de paneles de madera, los cuales pueden ser implementados en materiales constructivos (Mnasri et al., 2017). Entre las alternativas, también se han elaborado espumas de geo-polímero reutilizando los desechos sólidos resultantes del tratamiento de agua potable (PTAP), este geo-polímero presentó parámetros adecuados, entre los cuales resaltan los valores de resistencia mecánica y densidad (Ji et al., 2020).

Ahora, teniendo en cuenta que anualmente se producen aproximadamente 17 millones de toneladas de llantas y que entre el 65%-70% de sus componentes corresponde a caucho o sus derivados, se puede establecer que actualmente nos encontramos con una gran problemática, puesto que estos residuos y desechos traen efectos nocivos tanto en la salud humana como en el medio ambiente, debido a que la mala disposición genera contaminación

del suelo, agua y aire (Peláez et al., 2017). Por lo anterior, se han realizado grandes avances al desarrollar materiales sostenibles a base de caucho reciclado; es el caso de la implementación de áridos de desechos de caucho, generando mortero de goma el cual mejora sus propiedades y abre posibilidades para el desarrollo y la aplicación de este material (Moreno et al., 2020). En este sentido, el hormigón ligero a base de caucho y arcilla compactados es un buen ejemplo, este material presentó alta fluidez y cohesión, baja densidad y resistencia mecánica; sin embargo, al no lograr el cumplimiento de todos los parámetros requeridos en el sector de la construcción, se debe analizar las cantidades de caucho para adicionar (Angelin et al., 2020). Otro aporte al desarrollo sostenible es la elaboración de asfaltos con caucho reciclado desmenuzado, en el cual se pudieron observar parámetros aptos para ser implementado comercialmente, destacando entre estos la deformación (Bressi et al., 2018).

Además, la reutilización de residuos de caucho puede derivar en nuevas líneas de negocio para las empresas o incluso en nuevos emprendimientos, por los beneficios que éste tiene: economía, mayor resistencia, liviandad, ductilidad, y genera mayor empleo. Se puede proponer un uso más allá de morteros, concreto y asfalto, también puede ser utilizado como componente de materiales para pisos de áreas recreativas y deportivas, aisladores sísmicos y aisladores acústicos (Peláez et al., 2017).

Desde otro punto de vista, siendo los residuos plásticos otro desafío ambiental, éstos se han implementado en la fabricación de materiales de construcción. En este caso, la elaboración de concreto con este material permite sustituir los agregados tanto gruesos como finos, produciendo un concreto que cumple propiedades mecánicas y de aislamiento acústico (Moreno et al., 2020). Otro claro ejemplo que aparte de eficiente es bastante satisfactorio, es el desarrollo de viviendas eco-sostenibles para sectores vulnerables, en donde se implementan sistemas eco-eficientes (panel fotovoltaico, y colector solar) para suplir demandas energéticas eléctrica y térmica respectivamente (Salazar et al., 2014). En su sistema estructural, los muros y columnas fueron realizados con desechos de bolsas y botellas plásticas recicladas. Como resultado de los estudios de laboratorio se concluyó que posee características óptimas para uso residencial, con propiedades importantes de aislamiento térmico y acústico así como resistencia climática y relativa (Salazar et al., 2014).

En este mismo sentido, el vidrio también se ha utilizado en la fabricación de concreto y se ha establecido que de acuerdo con el tamaño de sus partículas y al porcentaje dosificación, puede mejorar la permeabilidad y la resistencia a la congelación y descongelación de este material (Park et al., 2020). Otro material para construcción que se ha desarrollado con adición de vidrio es el ladrillo; el cual está catalogado como una alternativa innovadora puesto que cumple con los parámetros de capacidad de deformación y mejora su resistencia (Bustos et al., 2019). Es importante resaltar que, en busca de la construcción sostenible, se ha establecido que los materiales reciclados se utilizan cada vez más en aplicaciones de obras viales, especialmente como materiales base; la adición de vidrio no modifica el comportamiento mecánico de los materiales viales a los cuales se les ha

Tabla 1. Pre-diseño y diseño de materiales de construcción con materiales orgánicos, renovables y/o reutilizables.

Material implementado	Referencia
Mortero	
Mortero con cascara de arroz	Payá.J. et al., 2012; Khan et al., 2020
Mortero con fibras de vidrio	Bustos et al., 2019
Mortero con lecho de tierra	Duriez et al., 2020
Mortero con caucho reciclado	Moreno et al., 2020
Hormigón o concreto	
Concreto con cascara de coco	Prakash et al., 2020
Concreto con residuos de vidrio	Guo et al., 2020
Hormigón con caucho	Angelin et al., 2020
Concreto con extracto de cactus	Shanmugavel et al., 2020
Hormigón con residuos plásticos	Belmokaddem et al., 2020
Mampostería (ladrillos y bloques)	
Ladrillos con aceite de palma	Shakir et al., 2020
Infraestructura vial	
Pavimento con vidrio reciclado	Mohsenian et al., 2018
Asfalto con caucho desmenuzado	Bressi et al., 2018
Espumas de geopolímero (mejorar suelo) de residuos de PTAP	Ji et al., 2020
Asfalto con fibra de vidrio	Park et al., 2020

adicionado (Mohsenian et al., 2018)

4. Fin de vida útil de estructuras (demolición, reuso, reciclaje, refabricación)

El proceso constructivo de una estructura está definido por las fases de planificación, ejecución, operación, mantenimiento y la finalización de vida útil, siendo, la fase de utilización y mantenimiento, donde se producen los mayores impactos ambientales, sin desconocer, los producidos durante la fase de finalización de vida útil, puesto que se prosigue al derribo o demolición y en estos casos, habitualmente no hay un adecuado proceso de despoje de los residuos (Piñeiro y García, 2009)

La implementación de agregados de concreto fino reciclado (RFA) es una alternativa eco-sostenible en la fabricación de mortero, en el que, a medida que se disminuye la relación de w/c en la elaboración, mejoran significativamente sus propiedades mecánicas llegando al punto de cumplir los estándares de calidad del mortero, esto se debe a que se alcanza un grado de saturación que permite una mejor adherencia entre los agregados y la matriz de cemento (Bouarroudj et al., 2019). La eficiencia de los materiales RCD depende de diversas variables. Por ejemplo, el estudio de reciclaje de los componentes textiles del hormigón (TRC), demostró que al contener fibras de carbono e impregnaciones de polímeros se presenta una disminución pronunciada en la resistencia a la flexión y por lo tanto no logra cumplir con los parámetros mínimos requeridos; en otro caso se pudo observar que al establecer una dosificación inadecuada para generar hormigón con agregados reciclados (RAC), tampoco se cumple con la totalidad de estándares de calidad puesto que falla en el parámetro de deformación por contracción del RAC (Tošić et al., 2018). Sin

embargo, el reciclaje de los hormigones viejos puede contribuir a reducir la extracción de los nuevos recursos naturales (grava, arena) y a disminuir las áreas de depósito de residuos. Ahora bien, el uso de RAC indudablemente va en aumento, generando otras alternativas como es el caso de concretos a partir de agregados reciclados (Anike et al., 2020).

Específicamente, refiriéndonos a concretos a base de áridos reciclados, se ha reportado que un procedimiento de desgaste a los agregados finos, es necesario para disminuir la cantidad de mortero adherido (?); de igual manera, se reemplazó hasta en un 30% la cantidad de agregados lo que permitió obtener concretos de propiedades mecánicas óptimas, incluso con mejores resultados en resistencia que el concreto convencional (Etxeberria y Gonzalez, 2018). Además de los materiales nombrados anteriormente, se han generado elementos de mampostería, tal es el caso de la alternativa de fabricación de bloques de tierra comprimida con adición de materiales RCD, reemplazando el agregado pétreo convencional, los mejores resultados se presentan al adicionar el 70% de agregado reciclado (Vásquez et al., 2015). También se estableció una alternativa para la elaboración de ladrillos reemplazando hasta el 20% su composición con residuos industriales sólidos (Luna et al., 2014); así como una placa suelo-cemento con hasta 95% de RCD (Chica y Beltrán, 2018). Los productos obtenidos como resultado de la implementación de estos materiales en los trabajos anteriores cumplen con los parámetros mecánicos y estándares de calidad, e incluso, los bloques alternativos obtuvieron mejores resultados en sus propiedades mecánicas que los bloques fabricados con agregado convencional. Los RCD también han sido contemplados para la producción de materiales de infraestructura vial, es el caso del uso de elementos RCD como agregado para pavimentos de bajo tráfico pesado y de alto

Tabla 2. Elementos elaborados con materiales Residuos de Construcción y Demolición (RCD)

Material implementado	Referencia
Mortero	
Mortero con agregado fino reciclado	Mohsenian et al., 2018
Hormigón o concreto	
Hormigón con áridos reciclados	Leal et al., 2012; Etxeberria y Gonzalez, 2018; Tošić et al., 2018
Hormigón con fibras de carbono y polímeros reciclados	Anike et al., 2020; Le y Bui, 2020 Kimm et al., 2018
Mampostería	
Ladrillo con residuos sólidos agroindustriales	Luna et al., 2014
Bloques con RCD	Vásquez et al., 2015
Infraestructura vial	
Placa suelo cemento con RCD	Chica y Beltrán, 2018
Mezcla asfáltica con concreto reciclado	Pasandín et al., 2018
Sub-base de pavimento con RCD	Beja et al., 2020

volumen (Beja et al., 2020). Por otra parte, la fabricación de mezcla asfáltica semi-cálida con uso de agregado de concreto reciclado con una dosificación de 55% (Pasandín et al., 2018), genera resultados favorables respecto a los estándares de calidad.

A nivel nacional se ha emprendido en la gestión, manejo y aprovechamiento de materiales de RCD, generando un proceso cíclico mediante la identificación y aprovechamiento de materiales para reciclaje, re-uso y reutilización, aumentando la vida útil de los mismos en ciudades como Cali y Bogotá (Robayo et al., 2015; Chávez et al., 2013). Otro claro ejemplo de la innovación nacional basado en el desarrollo sostenible es el hotel Waya Guajira, el cual aparte de ser eco-sostenible impulsa el turismo y por lo tanto la economía regional, demostrando que al implementar el desarrollo sostenible se favorece y se va en pro del medio ambiente, la salud y la economía (Contreras et al., 2017).

5. Conclusiones

Debido a que el manejo y los procedimientos del sector constructivo tradicional, no favorecen la protección del medio ambiente, se han venido desarrollando varias alternativas para emplear el desarrollo sostenible en esta área, mediante diversos aspectos como lo son el diseño de materiales de construcción con elementos orgánicos, renovables y/o reutilizables, destacando la implementación de elementos reciclables como el vidrio, el caucho, el plástico e incluso los elementos de residuos de construcción y demolición.

Es importante resaltar que muchos materiales eco-sostenibles han demostrado resultados óptimos en cuanto al desempeño de sus propiedades físicas y mecánicas, de tal manera que se puede establecer una nueva visión acerca de la fabricación de los materiales constructivos, teniendo en cuenta que al implementarse de manera industrial y comercial el uso de RCD, aparte de generar un proceso de innovación y evolución, se favorece al medio ambiente y se genera un crecimiento en el desarrollo socioeconómico.

Referencias

- Alvarez, A. (2016). Retos de américa latina: agenda para el desarrollo sostenible y negociaciones del siglo xxi. *Problemas Del Desarrollo. Revista Latinoamericana De Economía*, 47(186):31–45.
- Angelin, A., Cecche, R., Osório, W., y Gachet, L. (2020). Evaluación del factor de eficiencia de un hormigón ligero autocompactante con contenido de caucho y arcilla expandida. *Construcción y materiales de construcción*, 257:1–10.
- Anike, E., Saidani, M., Ganjian, E., Tyrer, M., y Olubanwo, A. (2020). Evaluación de métodos de diseño de mezcla de volumen de mortero convencionales y equivalentes para concreto agregado reciclado. *Materiales y estructuras*, 53(1):1–15.
- Beja, I., Motta, R., y Bernucci, L. (2020). Aplicación de áridos reciclados de residuos de construcción y demolición con cemento portland y cal hidratada como subbase de pavimento en brasil. *Materiales de construcción y construcción*, 258:1–7.
- Belmokaddem, M., Mahi, A., y Senhadji, Y. andPekmezci, B. (2020). Propiedades mecánicas y físicas y morfología del hormigón que contiene residuos plásticos como agregado. *Materiales de construcción y construcción*, 257:1–11.
- Bouarroudj, M., Remond, S., Michel, F., Zhao, Z., Bulteel, D., y Courard, L. (2019). Uso de un agregado fino de piedra caliza de referencia para estudiar el comportamiento fresco y duro del mortero hecho con agregado fino reciclado. *Materiales y estructuras*, 52(1):1–14.
- Bressi, S., Colinas, N., y Di Mino, G. (2018). Enfoque analítico para la optimización del diseño de mezclas de mezclas bituminosas con caucho desmenuzado. *Materiales y estructuras*, 51(1):1–14.

- Bustos, A., Moreno, E., Zavalis, R., y Valivonis, J. (2019). Pruebas de compresión diagonal en carteras de mampostería recubiertas con morteros reforzados con fibras de vidrio. *Materiales y estructuras*, 52(3):1–13.
- Cabezas, A. (2009). La evaluación de los riesgos ambientales y su aplicación a los proyectos de desarrollo limpio. *Cuadernos de Economía*, 32(90):73–136.
- Chica, L. y Beltrán, J. (2018). Caracterización de residuos de demolición y construcción para la identificación de su potencial de reúso. *DYNA*, 85(206):338–347.
- Chávez, ., Palacio, ., y Guarín, N. (2013). Unidad logística de recuperación de residuos de construcción y demolición: Estudio de caso bogotá d.c. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 23(2):95–108.
- Contreras, O., Pedraza, A., y Martínez, M. (2017). La inversión de impacto como medio de impulso al desarrollo sostenible: una aproximación multicaso a nivel de empresa en colombia. *Estudios Gerenciales*, 33(142):13–23.
- Duriez, M., Vieux-Champagne, F., Trad, R. and Maillard, P., y Aubert, J. (2020). Una metodología para el diseño de mezcla de mortero de lecho de tierra. *materiales y estructuras*. *Materiales y estructuras*, 53(1):1–14.
- Eguzki, U. (2011). Las teorías alternativas del desarrollo sostenible. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 55:113–126.
- Ettxeberria, M. y Gonzalez, A. (2018). La evaluación de áridos reciclados mixtos y cerámicos para hormigones de alta resistencia y baja contracción. *Materiales y estructuras*, 51(5):1–21.
- Guo, P., Meng, W., Nassif, H., Gou, H., y Bao, Y. (2020). Nuevas perspectivas sobre el reciclaje de residuos de vidrio en la fabricación de concreto para infraestructura civil sostenible. *Materiales de construcción y construcción*, 257:1–15.
- Ji, Z., Li, M., Su, L., y Pei, Y. (2020). Porosidad, resistencia mecánica y estructura de espumas de geopolímero a base de residuos por diferentes agentes estabilizantes. *Materiales de construcción y construcción*, 258:1–10.
- Khan, K., Ullah, M., Shahzada, K., Amin, M., Bibi, T., Wahab, N., y Aljaafari, A. (2020). Uso efectivo de micro-sílice extraída de cenizas de cáscara de arroz para la producción de mortero de cemento de alto rendimiento y sostenible. *Materiales de construcción y construcción*, 258:1–12.
- Kimm, M., Gerstein, N., Schmitz, P., Simons, M., y Gries, T. (2018). Sobre el comportamiento de separación y reciclaje del hormigón textil reforzado: un estudio experimental. *Materiales y estructuras*, 51(5):1–13.
- Landeta, B., Arana, G., Ruiz, P., y Diaz, P. (2016). Adopción de sistemas de gestión de diseño ecológico en el sector de la construcción. análisis desde la perspectiva de los grupos de interés. *DYNA*, 83(196):124–133.
- Le, H. y Bui, Q. (2020). Hormigones agregados reciclados: un estado de la técnica desde la microestructura hasta el rendimiento estructural. *Materiales de construcción y construcción*, 257:1–15.
- Leal, M., Osses, R., Valdes, G., y Letelier, V. (2012). Utilización de áridos reciclados para la evaluación de las propiedades de resistencia mecánica, permeabilidad y contenido de aire en hormigones de grado estructural h-30. *Revista Ingeniería De Obras Civiles*, 2:99 – 112.
- Luna, L., Ríos, C., y Quintero, L. (2014). Reciclaje de residuos sólidos agroindustriales como aditivos en la fabricación de ladrillos para el desarrollo de materiales de construcción sostenibles. *DYNA*, 81(188):34–41.
- Mnasri, F., El Ganaoui, M., Khelifa, M., y Gabsi, S. (2017). Un ejemplo de estudio de viabilidad de la cadena de producción de materiales ecológicos y productos de base biológica para la construcción ecológica / renovación en la región más grande nombrada (bélgica, francia, luxemburgo). *Energy Procedia*, 139:167–172.
- Mohsenian, S., Vaillancourt, M., Carter, A., y Bilodeau, J. (2018). Módulo resiliente de pavimento de materiales granulares no unidos que contienen agregado de vidrio reciclado. *Materiales y estructuras*, 51(4):1–12.
- Moreno, D., Ribeiro, S., y Saron, C. (2020). Compatibilización de áridos de caucho reciclado en mortero. *Materiales y estructuras*, 53(2):1–12.
- Moyano, M. y Rivera, J. (2016). El enfoque de sostenibilidad en los planes de salud de las comunidades autónomas: el desarrollo sostenible como oportunidad. *Gaceta Sanitaria*, 30(3):172–177.
- Park, K., Shoukat, T., Yoo, P., y Lee, S. (2020). Fortalecimiento de mezclas de asfalto híbrido reciclado reforzado con fibra de vidrio híbrido. *Materiales de construcción y construcción*, 258:1–10.
- Pasandín, A., Pérez, I., Caamaño, L., Pérez, N., y Gómez, B. (2018). Viabilidad del uso de agregados de concreto reciclado para mezcla asfáltica semicálida. *Materiales y estructuras*, 51(4):1–13.
- Payá, J., Serrano, T., Borrachero, M., y Monzó, J. (2012). Morteros aligerados con cascarilla de arroz: diseño de mezclas y evaluación de propiedades. *DYNA*, 79(175):128–136.
- Peláez, G., Velásquez, S., y Giraldo, D. (2017). Aplicaciones de caucho reciclado: Una revisión de la literatura. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 27(2):27–50.
- Pertuz, A., González, O., y Graciano, C. (2020). Investigación en ingeniería en colombia. *Revista UIS Ing*, 19(1):7–14.

- Piñeiro, P. y García, A. (2009). Prácticas ambientales en el sector de la construcción. el caso de las empresas constructoras españolas. *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de La Empresa*, 15(2):183–200.
- Prakash, R., Thenmozhi, R., Raman, N., y Subramanian, C. (2020). Interacción de un biopolímero viscoso del extracto de cactus con pasta de cemento para producir concreto sostenible. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 94:33–42.
- Robayo, S., Matthey, P., Silva, Y., Burgos, D., y Delvasto, S. (2015). Los residuos de la construcción y demolición en la ciudad de cali: un análisis hacia su gestión, manejo y aprovechamiento. *Revista Tecnura*, 19(44):157–170.
- Salazar, E., Arroyave, J., y Moreno, I. (2014). Desarrollo de vivienda ecosostenible para sectores vulnerables. *Ingeniería y Competitividad*, 16(1):249–259.
- Shakir, A., Wan, M., Othman, N., Ahmed, A., y Burhanudin, M. (2020). Producción de bloques híbridos ecológicos. *Materiales de construcción y construcción*, 257:1–12.
- Shanmugavel, D., Selvaraj, T., Ramadoss, R., y Raneri, S. (2020). Interacción de un biopolímero viscoso del extracto de cactus con pasta de cemento para producir concreto sostenible. *Materiales de construcción y construcción*, 257:1–8.
- Tošić, N., de la Fuente, A., y Marinković, S. (2018). Contracción del hormigón agregado reciclado: base de datos experimental y aplicación del código modelo 2010 de fib. *Materiales y estructuras*, 51(5):1–16.
- Vargas, S., Onatra, W., Osorno, L., Páiz, E., y Sáenz, O. (2008). Contaminación atmosférica y efectos respiratorios en niños, en mujeres embarazadas y en adultos mayores. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 11(1):31–45.
- Vásquez, A., Botero, L., y Carvajal, D. (2015). Fabricación de bloques de tierra comprimida con adición de residuos de construcción y demolición como reemplazo del agregado pétreo convencional. *Ingeniería y Ciencia*, 11(21):197–220.

Historia de puentes y conexiones: Una introducción a la teoría de redes

History of bridges and connections: An introduction to network theory

Diego Espitia^{1*}

Resumen

En este artículo haremos una breve introducción a la teoría de redes. Hablaremos de cómo recorrer puentes en una antigua ciudad prusiana dio origen a una de las más interesantes ramas de la matemática: la teoría de grafos. Ésta, permite estudiar propiedades importantes de las redes, las cuales se han convertido en herramienta indispensable para estudiar: células, animales, seres humanos, etc. La teoría de redes, se encuentra en el centro del estudio de los sistemas complejos; una nueva disciplina que en los últimos años ha permeado todos los campos del ámbito científico, convirtiéndose en una pieza fundamental para estudiar el mundo desde una perspectiva multidisciplinaria.

Palabras Claves: Grafos — Redes — Sistemas Complejos

Abstract

In this article, network theory is going to be briefly introduced. We will talk about how to walk by the bridges of an old Prussian city, gave rise to graph theory: one of the foremost fields in mathematics. This theory allows us to study important properties of networks, which have become an indispensable tool to study: cells, animals, humans, etc. The network theory is at the core of the study of complex systems; a new discipline that in the last years has permeated all of the scientific fields, becoming a key element to study the world from a multidisciplinary perspective.

Keywords: Graphs — Networks — Complex Systems

¹ Instituto de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

* Autor para correspondencia: taraldarion6@gmail.com

Introducción: Los siete puentes de Königsberg

¿Por qué los alcaldes son casi siempre abogados? ¿Por qué sería importante que el alcalde de una ciudad tenga conocimiento científico? La respuesta a la primera pregunta quizá jamás se obtendrá. La respuesta a la segunda pregunta por el contrario, nos llevará a conocer un poco sobre cómo la curiosidad de un hombre, llevó a la formulación de uno de los problemas más interesantes en la historia de las matemáticas, y cuya solución se encuentra en el núcleo del estudio de los sistemas complejos, un campo muy relevante en la actualidad.

Esta historia comienza en el año de 1735, cuando el alcalde de la ciudad prusiana¹ de Königsberg, Carl Gottlieb Ehler, se preguntó sobre cómo los ciudadanos recorrían los puentes de la ciudad. Veamos, la ciudad de Königsberg estaba atravesada por el río Pregolia, y en medio del río había dos islas, conectadas por

un puente, y a su vez, otros 6 puentes conectaban a las islas con tierra firme (ver Figura 1).

Cuando un visitante llegaba, los ciudadanos de Königsberg siempre hacían la siguiente pregunta: ¿Qué ruta le permitiría a alguien cruzar los siete puentes, atravesando cada uno de ellos una sola vez? Imaginate que eres un visitante de Königsberg y tómate un momento para encontrar la respuesta a éste interrogante.

Seguro habrás podido notar que la respuesta es **NO**, dicha ruta no existe. Eso lo sabían todos los ciudadanos de Königsberg, y los que visitaban la ciudad lo aprendían al recorrer los puentes, y ahora lo sabes tú.

Sin embargo, lo que intrigaba al alcalde Carl, era el porqué no existía dicho camino. ¿Qué misteriosa configuración se escondía en los puentes, que hacía imposible recorrerlos todos pasando solo una vez por cada uno de ellos? Esta duda motivó a Carl Gottlieb Ehler a escribirle a Leonard Euler, el matemático más famoso y respetado de su tiempo.

Euler, al que le apodaban el cíclope porque era ciego de un ojo (y del otro casi que también), al oír de su secretario la carta del alcalde Carl, le pidió que le respondiera lo siguiente:

¹ Prusia es la denominación de un antiguo territorio, que corresponde aproximadamente a la actual Alemania.

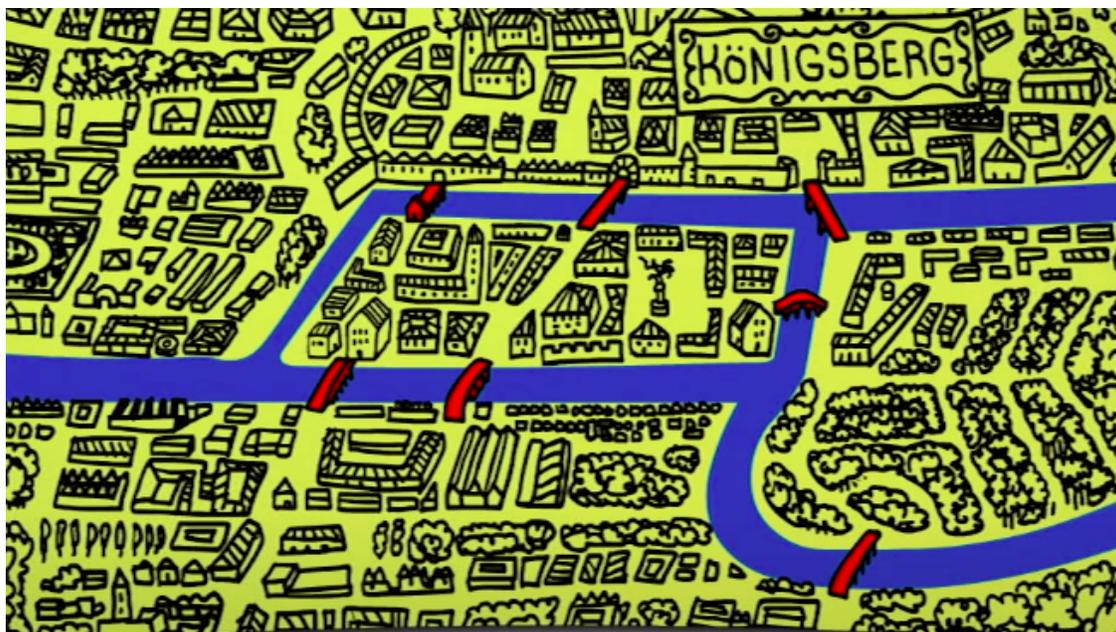


Figura 1. Distribución de los puentes de Königsberg en el siglo XVIII. ¿Qué ruta le permitiría a alguien cruzar los siete puentes, atravesando cada uno de ellos una sola vez? Imagen tomada de (Van der Vieren, 2016)

—Oigan a mi tía, que dizque yo siendo matemático, haciéndole la tarea de resolver ¡un problema tan tonto! Hermano, cualquier persona con lápiz, papel, y tres guaros encima podría responder a su pregunta, que nada tiene que ver con matemáticas. Suerte es que le deseo, agonía.

—Pero, Don Leonardo — le respondió el secretario — no podemos escribir eso—.

—¿No?, bueno entonces escriba: Por lo tanto, noble señor, verá usted, que este tipo de cuestiones tiene poca relación con las matemáticas y no entiendo por qué espera usted que un matemático las responda en lugar de cualquier otra persona, ya que la solución se basa solo en la razón, y su descubrimiento no depende de ningún principio matemático (Hopkins y Wilson, 2004). Suerte es que le deseo, agonía.

Al día de hoy, no se sabe a ciencia cierta cuánta cantidad de alcohol ingirió Leonard Euler, lo que se sabe es que tiempo después, fue fuerte su curiosidad y decidió responder el interrogante que el alcalde Carl había planteado sobre los puentes de Königsberg, lo que dio origen a una nueva rama de las matemáticas: la teoría de grafos.

1. Y los puentes se convirtieron en grafos

Para resolver el enigma de los puentes de Königsberg, Euler inventó una nueva rama de las matemáticas: la teoría de grafos. Primero, Euler dibujó la disposición espacial de los puentes de manera más simple (Ver Figura 2).

Cada una de las porciones de tierra, es decir: las dos orillas y las dos islas, las representó como puntos. A estos puntos los

llamó nodos. Dichos nodos estaban conectados entre sí por los siete puentes, que representó como líneas, a las que llamó aristas. Este conjunto de nodos y aristas recibe ahora el nombre de grafo, y es la pieza central de la teoría matemática inventada por Euler.

Es muy importante recalcar que el grafo no es una representación “a escala” de la ciudad de Königsberg. Las distancias que separan a los puentes, o la posición de estos en cada una de las porciones de tierra no son importantes, lo único que importa es cómo se conectan los nodos y las aristas.

Recordemos la pregunta del alcalde Carl: ¿Por qué no existe un camino que le permita a alguien cruzar los siete puentes, atravesando cada uno una sola vez? La respuesta de Euler fue que el camino que alguien tomaba para entrar o salir de una isla, o una orilla, no importaba para nada, lo realmente importante era el número de entradas o salidas que tenía cada una de las porciones de tierra. Veamos, la isla del centro (Figura 1, o nodo cuatro de la Figura 2) tiene cinco puentes o aristas para entrar (o salir). De manera análoga los otros nodos, tienen 3 aristas cada uno.

Para responder a la pregunta de Carl lo importante es contar el número de aristas que tiene cada uno de los nodos. A éste número se le conoce como el **grado** de un nodo, y estudiar los grados de un nodo es una de las tareas importantes en la teoría de grafos.

Ahora bien, ¿por qué el grado importa? Bueno, de acuerdo al reto, una vez que los viajeros lleguen a una isla o una orilla (por algún puente), tendrán que salir obligatoriamente por otro puente (para no repetir); es decir, el número de puentes (el grado) que conducen desde y hacia cada nodo, en cualquier ruta, debe ser un número par para que se pueda entrar o salir de alguna porción de tierra sin repetir puente. Para esto se necesita que los nodos tengan grados pares. Viendo el grafo de la Figura 2, se observa que los cuatro nodos tienen grados impares. Entonces,

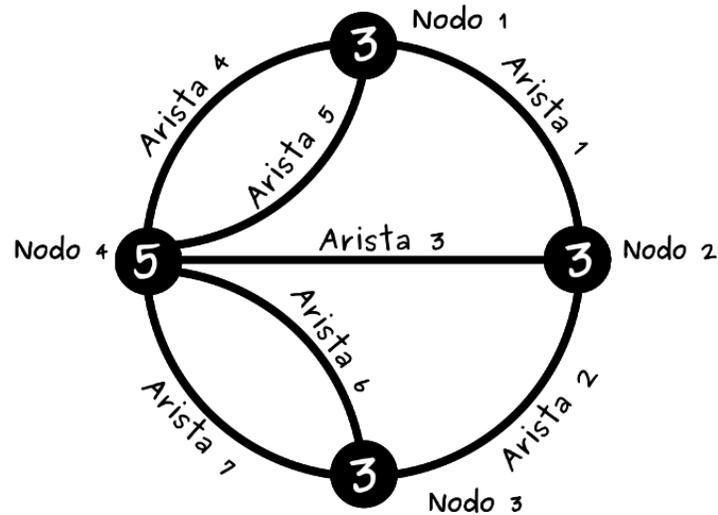


Figura 2. Distribución de los puentes de Königsberg según Euler. Cada nodo es representado por un punto, y dentro de éste, con tipografía color blanco, se indica el grado (número de puentes) del nodo.

sin importar cuál camino se tome, en algún punto se necesitará cruzar un puente dos veces.

Euler usó esta prueba para formular una teoría general para cualquier grafo de dos o más nodos. Un camino que visita cada arista (puente) una sola vez es solamente posible en dos casos:

1. Si el grafo tiene **únicamente** dos nodos de grado impar, siendo el resto pares. No obstante, el recorrido debe comenzar y terminar en los nodos de grado impar.
2. Todos los nodos **deben** tener grado par. De esta forma, cada camino empezará y terminará en el mismo nodo. Esto se conoce como un ciclo euleriano.

Dadas estas condiciones, podemos preguntarnos si existe alguna configuración de puentes que cumpla alguno de los casos anteriormente mencionados. La respuesta a esta pregunta es afirmativa, pero triste. Sí existe tal configuración pero para conseguirla, se necesita una guerra; y no cualquier guerra: se necesita la segunda guerra mundial.

En 1944, los soviéticos bombardearon la ciudad de Königsberg, destruyendo dos de los puentes y permitiendo así recorrer los puentes bajo la premisa original.

Tras el final de la segunda guerra mundial, la ciudad pasó a manos de los soviéticos, quienes la cambiaron de nombre. Ahora la ciudad se llama Kaliningrado y hace parte de la Federación Rusa. A la fecha, solo 2 de los puentes originales permanecen, y puentes nuevos han sido construidos, cambiando la configuración original del problema de los puentes de Königsberg.

2. De grafos a redes

Probablemente todos tenemos una idea al menos intuitiva de lo que es una red. Pues bien, los grafos y las redes están relaciona-

dos y comparten ciertas propiedades. De hecho, la diferencia esencial entre un grafo y una red es que el grafo tiene unos cuantos nodos, y una red puede estar compuesta de ¡millones de nodos! Veamos dos ejemplos: Instagram y Facebook, éstas son redes que permiten conectarnos con diferentes personas al rededor del mundo. Podemos pensar que cada miembro de Instagram o Facebook es un nodo, y ser seguidor o amigo de alguien, es una arista.

Sin embargo, dichas redes sociales son solo la representación virtual de algo que existe desde el origen de la humanidad. Los seres humanos somos primates que formamos redes sociales, con conexiones de amistad o de sangre entre nosotros. Dichas conexiones, han sido claves para dar forma a procesos evolutivos muy importantes. Y no solo los primates formamos redes sociales: las hormigas, las abejas, las ballenas, por mencionar algunos ejemplos, son animales que también tienen estructuras sociales muy complejas e interesantes; por eso, aprender teoría de redes nos permite estudiar tanto a estos animales como a nosotros mismos.

Ahora bien, los seres humanos no solo intercambiamos chismes, fotos y *likes*; también intercambiamos, entre otras muchas cosas, enfermedades ¿Te suena el covid 19 de algo? Como podrás adivinar, para entender cómo se propaga una enfermedad en una comunidad es **muy** importante conocer cómo dicha comunidad está conectada. El estudio de las redes permite identificar que grupos presentan mayores riesgos y, de esa manera, diseñar, políticas de salud pública que pueden ayudar a mitigar las consecuencias de las enfermedades.

Una de las propiedades que tiene un papel muy importante en la teoría de redes es la distribución de los grados de un nodo, que identificaremos como $p(k)$; siendo k , la letra con la que nombraremos al grado de un nodo. Entonces, $p(k)$ será la probabilidad de que un nodo, seleccionado al azar en una red tenga un grado k .

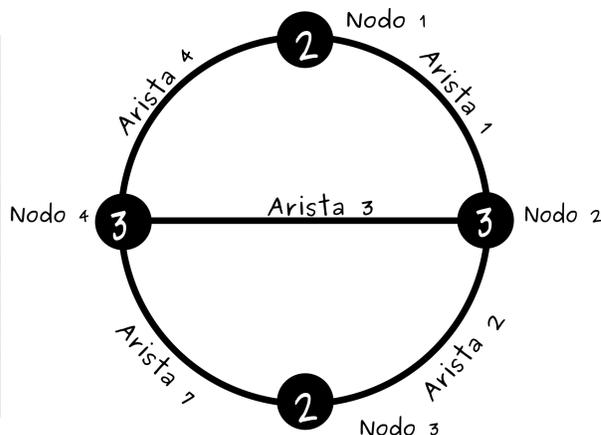
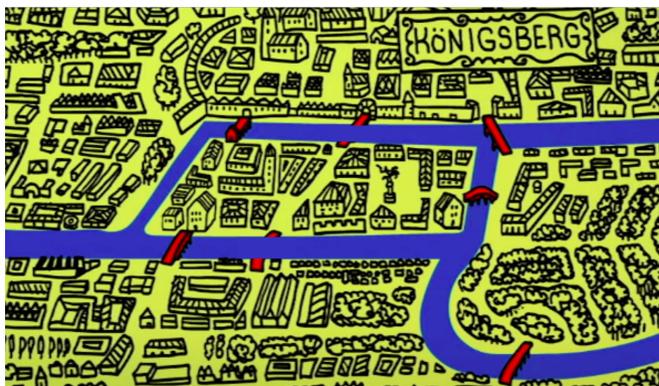


Figura 3. Distribución de los puentes de Königsberg tras la segunda guerra mundial. Ahora es fácil hacer el recorrido de la pregunta original. Nótese que solo es posible hacerlo si empezamos desde uno de los nodos de grado impar.

Para obtener $p(k)$ (Barabási, 2016), usamos la expresión:

$$p(k) = \frac{N_k}{N}, \tag{1}$$

donde N_k es el número de nodos con un k dado, y N es el número total de nodos. Para mayor claridad veamos algunos ejemplos.

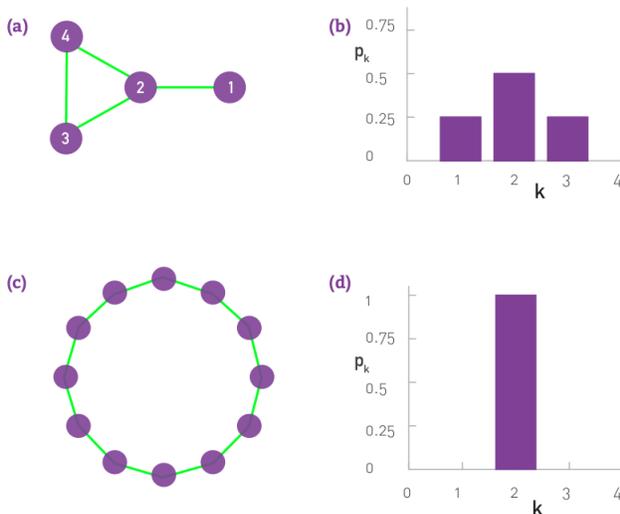


Figura 4. Ejemplos de grafos simples y sus distribuciones de grados. Imagen tomada de (Barabási, 2016).

En la Figura 4 tenemos dos ejemplos de grafos sencillos. El grafo(a) consta de 4 nodos, es decir, $N = 4$; el nodo que etiquetamos con el número 1 tiene un grado $k = 1$. El nodo 2 tiene grado $k = 3$; los nodos 3 y 4 tienen ambos grados $k = 2$. Si aplicamos la ecuación (1) es fácil ver que:

$$\begin{aligned} p(1) &= \frac{1}{4} = 0.25 \\ p(2) &= \frac{2}{4} = 0.50 \\ p(3) &= \frac{1}{4} = 0.25 \end{aligned} \tag{2}$$

Aquellos que hayan estudiado algo de probabilidad reconocerán en la Figura 4(b) el histograma del grafo de la Figura 4(a). Un histograma es una representación gráfica de la frecuencia (normalizada) de cantidades de interés, en este caso son los grados de los nodos del grafo. De la Figura 4(b) es fácil ver que la probabilidad de que un nodo elegido al azar en el grafo tenga grado $k = 2$ es de 0.5.

El grafo representado en la Figura 4(c), tiene una estructura (que en el argot de la teoría de redes se le llama *topología*) bastante simple. Todos los nodos tienen grado $k = 2$, y la probabilidad de elegir al azar un nodo de grado $k = 2$ es de 1. De igual manera, de la Figura 4(d) se puede inferir que la probabilidad de elegir un nodo con grado $k \neq 2$ es de 0.

Vamos ahora a hacer las cosas un poco más interesantes. En la Figura anterior, un vistazo rápido bastaba para decir si el grafo tenía todos los nodos con $k = 2$ o, por el contrario, los nodos del grafo tenían diferentes valores de k . Si aumentamos los nodos del grafo, convertimos a éste en una red, tal como se ve en la Figura 5.

En la Figura 5, tenemos representaciones gráficas de dos redes distintas. Aquí el número de nodos es de $N = 545$, para las dos redes. Sin embargo, ahora es difícil decir cómo es la topología de las redes. A simple vista lo único que parece poder apreciarse es que la red verde tiene menos aristas que la red azul².

Podemos ahora preguntarnos por las diferencias entre la red azul y la verde. Para ello, usamos nuevamente la ecuación (1), que es, como ya dijimos, la distribución de grados de la red. Dicha distribución permite clasificar las redes de acuerdo con su topología en dos tipos: las **redes libres de escala** y las **redes aleatorias**.

En la Figura 6(a) vemos la distribución de grados para una red libre de escala. En este caso no hemos hecho otra cosa que aplicar la ecuación (1), solo que usamos un computador para contar k en cada nodo de la red (en lugar de hacerlo a mano); con esta información hacemos el histograma, usando puntos en lugar de barras y usando una escala logarítmica en los ejes x y y (Un truco

²De hecho la red verde tiene 9564 aristas, mientras que la red azul tiene 136825 aristas.

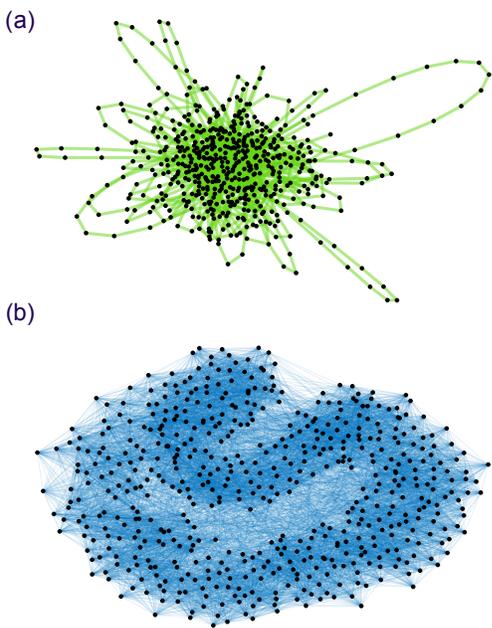


Figura 5. Representación gráfica de dos redes. Las dos redes tienen 545 nodos, pero la cantidad de aristas es diferente para cada una.

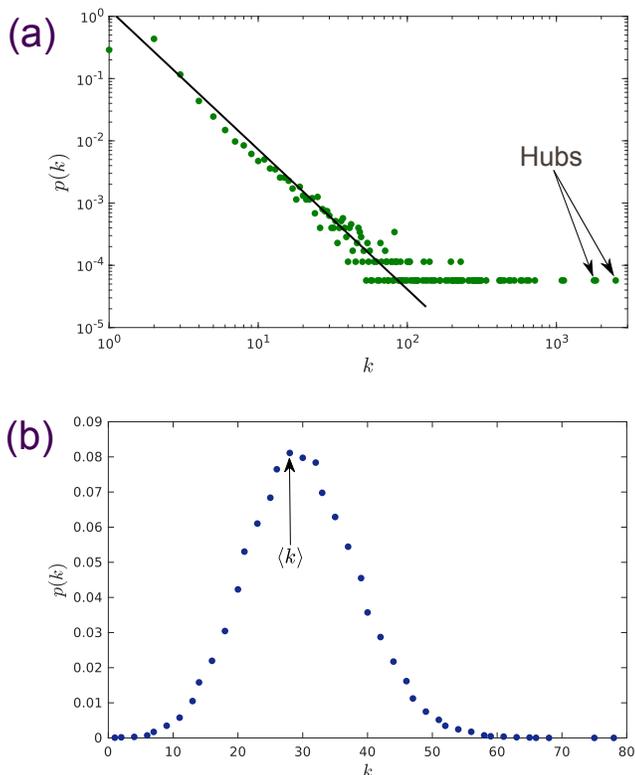


Figura 6. (a) Distribución de grados de una red libre de escala. (b) Distribución de grados de una red aleatoria.

bastante común, que solamente re-escala los datos cuando estos abarcan varios ordenes de magnitud). Adicionalmente usamos un método estadístico apropiado para estimar los parámetros de

$p(k)$.³ Las redes libres de escala, tienen una distribución de grados que sigue una *ley de potencias* de la forma:

$$p(k) = Ck^{-\alpha}, \tag{3}$$

donde C es una constante que depende de la red y α es la pendiente de la línea recta de la Figura 6(a).

En la Figura 6(b) vemos la distribución de grados para una red aleatoria. En este caso $p(k)$ es de la forma

$$p(k) = e^{-\langle k \rangle} \frac{\langle k \rangle^k}{k!}, \tag{4}$$

donde $\langle k \rangle$ es el grado promedio de la red y $k!$ es el factorial del grado. La distribución de probabilidad de la ecuación (4) se conoce como *distribución de Poisson*.

Si comparamos las ecuaciones (3) y (4), es claro que la red verde y azul tienen estructuras o topologías muy diferentes. Esta diferencia radica en la forma como se conectan los nodos de la red. En la red azul, los nodos se conectan entre sí aleatoriamente, sin preferencia alguna (esto es lo que significa la ecuación (4)), teniendo la gran mayoría de ellos un $k \approx 29$, esto es el $\langle k \rangle$. Dicho de otra manera, si elegimos al azar alguno de los nodos de la red azul, lo más probable es que obtenga un nodo con un grado cercano a 29.

Por otro lado, para la red verde, si elijo al azar alguno de los nodos de la red, lo más probable es que obtenga un nodo con $k = 2$. Lo importante aquí es que los nodos de esta red sí tienen preferencias en las conexiones con otros nodos. De la Figura 6(a) podemos ver que en la red libre de escala existe un nodo que tiene ¡cerca de 2500 conexiones, y otro con casi 2000! Por el contrario, aunque en la red aleatoria (azul) hay muchas más conexiones que en la red verde, prácticamente todos los nodos tienen el mismo grado; (cerca a 29), siendo el k mínimo igual a 1, y el k máximo igual a 78.

Estos nodos con k muy grande reciben el nombre de *hubs*. Y son extremadamente importantes en el estudio de las redes libres de escala. Por ejemplo, en Instagram y Facebook la persona con más seguidores es Cristiano Ronaldo, con 228 millones y 126 millones de seguidores respectivamente. Es decir, para estas redes sociales, CR7 es un *hub*. Conocer a los *hubs* de la red es información muy valiosa para las empresas, que a través de estas personas pueden publicitar sus marcas y tener el potencial de llegar a millones de clientes; es decir, volverse “virales”.

Es importante notar lo siguiente: para que una publicación se haga “viral”, debe pasar por alguno de los *hubs* de la red. Es muy poco probable que alguna de nuestras fotos o videos se vuelva viral por sí sola (a menos que seamos famosos).

Pensemos ahora en redes sociales de verdad, las que establecemos cada día con otras personas. Pensemos, por ejemplo, que somos, cada uno, un nodo en la red, y que hablar con alguien, cara

³Es importante notar que estos datos representan distribuciones de probabilidad; por lo tanto, una regresión lineal NO ES el método correcto para ajustar los datos. Para estos casos se deben estimar los parámetros de la distribución de probabilidad, y para ello se usa un método estadístico conocido como *Maximum Likelihood Estimation* (MLE). Para el lector interesado en (Clauset et al., 2009), puede encontrar información sobre el MLE.

a cara, sería una arista, es decir, una conexión o interacción en la red. Tomando en cuenta lo que hemos aprendido hasta ahora, si la red es libre de escala, entonces habrá personas que podrán interactuar con cientos (o incluso miles) de individuos en un día (los *hubs* de la red); éstas personas son fundamentales para hacer algo “viral”, enfermedades por ejemplo. En epidemiología, a estas personas se les denomina como *superpropagadores*.

De este análisis es importante recalcar que una red es una herramienta importantísima para estudiar las interacciones entre nodos. Dado que, dichos nodos pueden representar prácticamente cualquier cosa que podamos imaginar, la teoría de redes es una parte central en el estudio de los sistemas complejos.

Un sistema complejo es aquel formado por muchas partes que interactúan entre sí y con su entorno. Dichas interacciones pueden dar lugar a comportamientos colectivos muy interesantes, que no poseen, de manera individual, los componentes del sistema. Pensemos como ejemplo de un sistema complejo a los idiomas. Cada palabra por sí sola tiene un significado, pero para comunicar algo efectivamente es necesario juntar a las palabras de manera coherente y así poder escribir los versos más tristes esta noche. Escribir, por ejemplo: “La noche está estrellada, y tiritan, azules, los astros, a lo lejos”⁴.

3. Conclusiones

En este artículo hemos visto como la teoría de redes nos puede ayudar a entender mejor el mundo en que vivimos. Aunque hemos hecho énfasis en redes sociales, no solo los humanos formamos redes: la internet en sí misma, es una red; las telecomunicaciones son también redes, los aeropuertos, las hormigas, las organizaciones criminales, son todos ejemplos de redes.

En biología por ejemplo, estudiar la interacción entre genes (redes genéticas) o las reacciones químicas que ocurren en las células de los seres vivos (redes metabólicas), requiere conocer la distribución de grados que hemos descrito aquí.

Las palabras en un texto pueden usarse también como nodos, y se puede usar la teoría de redes para identificar patrones estadísticos que permiten determinar propiedades de los lenguajes, que difícilmente se obtienen desde el estudio de la lingüística solamente.

Aunque aquí hemos hablado de la distribución de grados de una red, existen muchas otras propiedades muy importantes que aportan información clave para entender las interacciones entre los nodos de una red. Y es justamente en el estudio de las interacciones donde los sistemas complejos adquieren relevancia en muchos de los campos de investigación de la actualidad. Al estudiar sistemas complejos, a menudo se encuentra que aunque los sistemas pueden parecer diferentes, la descripción matemática se vuelve igual para muchos de ellos, y por lo tanto se dice que los sistemas complejos tienen propiedades universales; siendo éste el origen de la multidisciplinariedad, que parece ser el sello de esta nueva disciplina.

Referencias

- Barabási, A. (2016). *Network Science*. Cambridge University Press.
- Clauset, A., Shalizi, C. R., y Newman, M. E. J. (2009). Power-law distributions in empirical data. *SIAM Review*, 51(4):661.
- Hopkins, B. y Wilson, R. (2004). The truth about Königsberg. *The College Mathematics Journal*, 35(2):198.
- Van der Vieren, D. (2016). *How the Königsberg bridge problem changed mathematics*. [Archivo de video] Disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=nZwSo4vfw6c>.

⁴Poema 20 de Pablo Neruda.

La importancia del Cloud Computing en la Educación

The importance of Cloud Computing in Education

Inés Rojas Villamil^{1*}, Alith Arlenny Tovar Mariño², César Dayán Martelo¹

Resumen

El presente artículo de divulgación busca proporcionar una visión general de la historia, inicios, ventajas e importancia del uso de herramientas en la Nube (*Cloud Computing*), con el objetivo de acercar al lector, a sus conceptos fundamentales especialmente a los relacionados con el ámbito educativo. El Cloud Computing ha fortalecido significativamente a los procesos industriales, académicos, investigativos e informáticos en el mundo, por esta razón damos a conocer algunos casos de éxito en la educación nacional e internacional reportados en artículos científicos, portales, repositorios y sitios web especializados en el tema. También se presente un breve balance del uso de estas tecnologías en la Fundación Universitaria Unitrópico en los últimos años.

Palabras Claves: Cloud computing — Educación en la Nube — Red Ubicuo — Tecnología multitenencia — Ambiente virtual educativo

Abstract

This divulgation paper seeks to provide an overview of the history, beginnings, advantages, and importance of the use of Cloud Computing tools, with the aim of bringing the reader closer to their fundamental concepts, especially those related to the educational field. Cloud Computing has strengthened the industrial, academic, research, and computer processes in the world, for this reason, we present some success stories in national and international education reported in scientific articles, portals, repositories, and specialized websites in this subject. A brief assessment of the use of these technologies in Fundación Universitaria Unitrópico in recent years is also presented.

Keywords: Cloud computing — Education in the Cloud — Ubiquitous Network — Multitenancy technology — Virtual educational environment

¹ Facultad de Ingenierías, Programa Ingeniería de Sistemas, Unitrópico, Yopal, Colombia.

² Dirección Académica, Unitrópico, Yopal, Colombia.

*Autor para correspondencia: ingsistemas@unitropico.edu.co

Introducción

La historia de la Internet es la historia de millones de personas que contribuyeron con sus investigaciones y descubrimientos en campos como la matemática, la física, la química y la electrónica, además de muchas otras áreas que aportaron para el desarrollo de la red de redes como la conocemos hoy en día, sin embargo, hubo momentos en la historia de la humanidad que impulsaron el desarrollo de Internet, el primero de estos es, como lo considera Guazmáyan (2004) fue el lanzamiento del satélite artificial *Sputnik* en octubre de 1957. Este suceso sin precedentes alarmó a los organismos de defensa de los Estados Unidos debido a que las tecnologías que se requerían para mantener un satélite en órbita eran mucho más avanzadas que las usadas en el lanzamiento de una bomba nuclear. Este acontecimiento provocó que el gobierno de la potencia norteamericana creara la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada (ARPA, por sus siglas en inglés), cuyo objetivo era el diseño de un sistema de comunicaciones capaz de sobrevivir a un ataque nuclear.

Para el año de 1961 nace el término *Cloud* que se atribuye al científico cognitivo John McCarthy quien a través de la inteligencia artificial busco construir una nube global. Fue el primero en sugerir públicamente en un discurso de la celebración del centenario del Instituto Tecnológico de Massachusetts, planteando “que la tecnología de tiempo compartido (Time-Sharing) de las computadoras podría conducir a un futuro donde el poder del cómputo e incluso aplicaciones específicas podrían ofrecerse como un servicio (tal como el agua o la electricidad)” (DeL Vecchio et al., 2015). Esta idea tomo aún más auge en 1962, cuando el psicólogo y científico informático Joseph Carl Robnett Licklider propuso el concepto de una red capaz de comunicar usuarios en distintas computadoras a través de sus notas, las cuales hablaban de una “Red Galáctica”, una red interconectada globalmente a través de la que cada uno pudiera acceder desde cualquier lugar a datos y programas (Tecayehuatl, 2012).

Entre 1962 y 1964, Paul Baran de la Rand Corporation elaboró una serie de informes en los que sugirió la creación de una

estructura de comunicación en forma de tela de araña con el fin de impedir la selección de objetivos para cualquier forma de ataque (Guazmayan, 2004). Los inmensos recursos y el esfuerzo de cientos de investigadores, tanto militares como civiles, permitieron el avance tecnológico de las comunicaciones y el desarrollo de nuevas técnicas para transmitir e interpretar correctamente la información.

Posteriormente esta tecnología se trasladaría al ámbito académico siendo el 29 de octubre de 1969 cuando, según Leithner (2018), el equipo del profesor Leonard Kleinrock de la Universidad de California-Los Ángeles (UCLA) envió a través de ARPANET un breve mensaje; «LOGIN» a sus colegas del Stanford Research Institute (SRI). Debido a esto el aumento de centros de cómputo interconectados reveló la importancia de reglas comunes o “protocolos” para las transmisiones entre sistemas diferentes.

Es así, como lo señala López (2002), en 1982 el protocolo TCP e IP (Internet Protocol), son adoptados oficialmente por ARPANET como protocolos TCP/IP que permiten la comunicación entre los ordenadores pertenecientes a una red. Desde entonces son muchos los avances en hardware y software que han aportado investigadores y entusiastas de todo el mundo para el crecimiento de la Internet en forma exponencial y su papel protagónico en todos los escenarios de la sociedad humana tal como le conocemos hoy en día.

El presente artículo tiene por objetivo exponer las ventajas que ofrecen las herramientas Tecnológicas de Información y Comunicación (TIC), en entornos de trabajo colaborativo y aprendizaje de métodos de enseñanza basados en la web con los siguientes elementos:

- Acercar al lector en conceptos fundamentales del cloud computing.
- Identificar las ventajas de cloud computing en la educación.
- Conocer casos de éxito de universidades nacionales e internacionales con herramientas de educación en la nube.

1. La Nube y la Educación

El ser humano se ha servido de la tecnología para mejorar sus actividades productivas, también es así en la educación pero con algún retraso significativo. Los avances tecnológicos llegan un poco más tarde a docentes y estudiantes, como lo afirma García-Aretio (1999): “la comunidad educativa es generalmente conservadora de sus hábitos metodológicos e históricamente le ha costado mucho incorporar los avances tecnológicos. A pesar de ello, y dentro del mundo de la educación, la modalidad a distancia ha sido más receptiva ante estos avances que están revolucionando a la sociedad en todos sus ámbitos”.

En la educación superior a distancia, las instituciones encuentran en la computación en la nube un aliado inestimable por la reducción de costos que esto implica para las Instituciones de Educación Superior (IES), los departamentos de sistemas de las IES deben proporcionar a todas las áreas del centro educativo

importantes cantidades de recursos tecnológicos y de talento humano no solo en el apartado académico, sino también en las áreas financieras y administrativas. De no ser por la computación en la nube, el departamento de sistemas tendría que implementar servidores, enrutadores, racks, sistemas de cableado y conexión inalámbrica para redes externas e internas así como enlaces y conexiones de Internet para satisfacer las demandas de red de la totalidad de la comunidad educativa. En cuanto a software los costos de aplicaciones, paquetes de software, sistemas operativos y sistemas de seguridad serían muy altos. Como solución a este sobre-costo aparecen los llamados servicios *Cloud* donde numerosas instituciones a nivel nacional e internacional han hallado soluciones óptimas en cuanto a Infraestructura como servicio encontramos:

1.1 Infraestructura como Servicio (IaaS, *Infrastructure as a Service*)

Con esta modalidad un proveedor ofrece a sus clientes el acceso a redes de comunicaciones, medios de almacenamiento, servidores y respaldos de información. De esta manera las instituciones no necesitan hacer grandes inversiones en el montaje físico de servidores en cuartos refrigerados, unidades de protección y respaldo eléctrico (UPS), armarios de comunicaciones y complejos sistemas de cableado ya que a través de IaaS, las instituciones solo necesitarán de acceso a Internet para acceder a su propia infraestructura de equipos de cómputo y comunicaciones, respaldado por una empresa especializada con equipos diseñados para este ejercicio tecnológico (IBM, 2018).

1.2 Plataformas y sistemas operativos como servicio (PaaS, *Platforms as a Service*)

Así como el IaaS, el PaaS ofrece equipos de cómputo y de comunicaciones pero también incluye herramientas de desarrollo, servicios de inteligencia empresarial, sistemas de administración de bases de datos, permitiendo sustentar el ciclo de vida, la actualización y administración de las aplicaciones web de las instituciones, evitando los costos y gastos de mantener una plataforma tecnológica propia y licencias de sistemas operativos especializados para servidores y bases de datos (Microsoft Azufre, 2020).

La posibilidad de externalizar estos requerimientos de las instituciones educativas permiten a los rectores y departamentos administrativos considerar alternativas al montaje y adquisición de equipos de cómputo necesarios y concentrar sus esfuerzos de recurso humano y capital financiero al mejoramiento de la calidad de la educación impartida y el alcance de su oferta formativa.

1.3 Software como Servicio (SaaS, *Software as a Service*)

Consiste en ofrecer aplicaciones de software como procesadores de texto, hoja electrónica, plantillas de presentaciones, software de edición digital o software especializado según los requerimientos de las instituciones que solicitan este servicio. Esta modalidad, el SaaS, es muy utilizada por las instituciones educativas para dotar a su comunidad de estudiantes y docentes de las herramientas de software que requieren para sus asignaturas, es así, como planteles educativos de todo el mundo adquieren paquetes de

servicios de software por un tiempo limitado y para la cantidad de alumnos y docentes necesarios sin incurrir en costosas licencias de software que tendrían que adquirir si se deseará hacer una instalación de las mismas en equipos locales. Ejemplo de SaaS, se encuentran “gigantes de la tecnología como Google que ofrece una disponibilidad de 99.9% para su conjunto de aplicaciones educativas” como lo afirman Mejía y Ballesteros (2014).

1.4 Ventajas del Cloud Computing en la Educación

Con la computación en la nube los centros educativos han encontrado nuevas estrategias para llegar a comunidades muy alejadas de los planteles físicos, de esta forma las instituciones brindan cobertura a un número mayor de personas que podrán formarse sin que la distancia constituya un problema considerable. Los directivos de instituciones educativas como colegios y universidades, han encontrado en la nube soluciones a las necesidades de equipos y aplicaciones así como talento humano calificado para el mantenimiento de estos recursos con un costo significativamente menor de lo que sería un centro de cómputo adecuado *in situ*.

Permitiendo ser implementados en modelos de nube comunitaria (sirve a un grupo de consumidores), nube pública (los recursos informáticos se ponen a disposición del público en general), nube privada (una sola organización tiene acceso exclusivo) o nubes híbridas (composición de dos o más nubes). La educación a través de la nube ofrece nuevos recursos que abren un amplio abanico de posibilidades enriqueciendo los procesos de enseñanza y comunicación tal como lo señala Podolsky (2015):

- Con la creación de contenido online (blogs, apps, redes sociales corporativas, etc.) se producen ahorros de tiempo e impresión de materiales innecesarios.
- Mejora la eficiencia en el uso del tiempo ya que los docentes pueden gestionar muchos más alumnos.
- Facilita una forma de comunicación más dinámica e interactiva.
- Promueve la innovación y la incorporación de nuevos contenidos.

Es claro que la computación en la nube ofrece grandes ventajas para las comunidades educativas pero también implican importantes desafíos para las regiones con problemas de infraestructura en comunicaciones, falencia en equipos de cómputo, deficiencia o ausencia total de proveedores de internet e incluso fallas o inexistencia de redes eléctricas. Por lo tanto una adecuada educación a distancia mediada por las TIC y aprovechando los extensos recursos que ofrece *Cloud Computing* requiere de una política de mejoramiento de las condiciones en materia de infraestructura en las regiones y una alfabetización en TIC efectiva.

En efecto, a pesar de las inmensas ventajas de la educación a través del *Cloud Computing* y el *E-learning*, su implementación debe planearse cuidadosamente como lo afirma Agreda (2015), cuando nos resalta que: Las aplicaciones propias de la educación a distancia permiten pensar que es la panacea de la educación pero hay que tener en cuenta que hay que formar formadores, definir

competencias y hacer una revisión método – pedagógica para que *E-learning* llegue a cumplir con los objetivos esperados (Agreda, 2015).

2. Casos de éxito con Cloud Computing

En el mundo las instituciones de educación superior han comenzado a trasladar sus programas al campo de la educación virtual y para ello se han servido de la computación en la nube. A continuación se relacionan instituciones de educación superior con éxito en *Cloud Computing*. El Centro Universitario Internacional de Barcelona (UNIBA), implementó la solución *blackboard Open LMS* basada en Moodle que permite dar servicio a 70.000 estudiantes y a cerca de 5.000 profesores (Computing.es, 2019). Con 500 años de historia y más de 64.900 estudiantes a la fecha, de los cuales 45.336 cursan pregrado y programas por ciclos, 4.791 en maestrías, 7.697 en posgrados, 1.726 en extensión universitaria y 5.378 investigadores. En su actividad internacional UNIBA acoge en su comunidad estudiantil a 1.736 estudiantes extranjeros y ha enviado a diferentes lugares del mundo a 1.197 de sus matriculados. Ofrece 67 programas de pregrado, 142 maestrías, 48 doctorados y 618 cursos de posgrado. Ocupando el puesto 165 en el ranking mundial, según el *University Rankings* (2020).

La Fundación Universitaria Iberoamericana (FUNIBER) tiene presencia en 30 países y 20 años de experiencia ofrece 7 programas de Doctorado, 6 programas de maestría y 17 programas de especialización. La Universidad Internacional de la Rioja (UNIR), Universidad a distancia y de educación en línea, con presencia en México, Colombia, Ecuador y Perú. Ofrece 3 programas de doctorado y 19 programas de maestría. La Universitat Oberta de Catalunya (UOC) cuenta con 25 años de experiencia y 31.744 estudiantes matriculados a 2019 en 134 países.

En Latinoamérica la Universidad Científica del Sur en Perú, que ha estado en el Top 10 en Ranking América Economía 2017, Top 3 en Ranking Sunedu 2018, Top 9 en Webometrics 2018, Top 4 en SCImago Research Group (Universidad Científica del Sur, 2020), cuenta con sus servicios en la nube a través de Microsoft Azure, para satisfacer las necesidades en cuanto a plataforma y acceso a la información en 24 programas profesionales.

Colombia se viene destacando en el uso de recursos en la nube con numerosas instituciones educativas que han incorporado nuevas herramientas de proveedores como Google, Amazon, Microsoft, IBM y Oracle. Empresas de tecnología con un sólido respaldo en seguridad de la información, soporte y disponibilidad para los usuarios. En el presente documento se relacionan algunas instituciones que hacen uso del *Cloud Computing* en Colombia.

La Universidad Santo Tomás, primer claustro universitario del país con 460 años de experiencia, utiliza servicios en la nube suministrados por Amazon en su división AWS Educate, servicio que le permite interactuar con más de 1.500 universidades en el mundo y acceder a más de 9.000 aplicaciones orientadas a la educación, ofreciendo a los estudiantes recursos integrales para desarrollar habilidades vinculadas con *Cloud Computing* (AWS Amazon, 2020).

La Universidad de los Andes y la Universidad del Rosario, cuentan con los servicios de *Microsoft Azure*, que permite al-

macenamiento de la información en centros de datos globales, copias de seguridad cifradas, sistema de recuperación de datos, máquinas virtuales en Windows y Linux, aplicaciones en la Nube, aplicaciones web, aplicaciones móvil y almacenamiento en la Nube (ver <https://customers.microsoft.com/>).

3. Colombia en la era de *Cloud Computing*

Según el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST), la computación en la Nube “es un modelo que permite el acceso ubicuo, adaptable, y por demanda en red a un conjunto comparativo de recursos computacionales configurables (por ejemplo: redes, servidores, almacenamiento, aplicaciones y servicios) que se pueden aprovisionar y liberar rápidamente con un mínimo de esfuerzo de gestión o interacción del proveedor de servicios” (Mell y Grance, 2011).

En Colombia la legislación a través del decreto 1078 de 2017 artículo 2.2.9.1.1.1 de la estrategia de Gobierno en Línea (GEL), plantea: “el Estado garantizará la libre adopción de tecnologías, teniendo en cuenta recomendaciones, conceptos y normativas de los organismos internacionales competentes e idóneos en la materia, que permitan fomentar la eficiente prestación de servicios, contenidos y aplicaciones que usen Tecnologías de la Información y las Comunicaciones y garantizar la libre y leal competencia, y que su adopción sea armónica con el desarrollo ambiental sostenible”, en donde el objetivo de la estrategia 5.4.3 del Plan TIC 2018 – 2022 es: Fomentar el desarrollo de habilidades en el talento humano requerido por la industria digital incrementando el número de personas con conocimientos y fortalecimiento en habilidades digitales y buscando formar y capacitar a diferentes grupos poblacionales del país (niños, jóvenes y adultos), que incluye, además, la formación de profesores de colegios públicos, docentes universitarios, estudiantes de básica, media, universitarios y demás personas interesadas en aprender de las áreas digitales, dónde se desarrollen espacios para el fortalecimiento de habilidades técnicas de personas para la generación de contenidos, aplicaciones y negocios digitales.

A través del Plan Estratégico 2019 - 2022 del Ministerio de Tecnologías de Información y Comunicación (MINTIC), Colombia viene reflejando grandes avances en términos de conectividad en hogares con conexión suscrita a internet en un 50% para el año 2018 y se espera contar con un 70% para el año 2022. Además de iniciativas que han cobrado fuerza y se vienen implementando desde la creación del Ministerio de las TIC en 2010 y la creación de los puntos Vive Digital y laboratorios Vivelabs en 2012 que a corte de 2017 se tienen 37 laboratorios y 1390 computadores activos, según datos de MINTIC (ver <https://www.mintic.gov.co/>).

En el departamento de Casanare, dentro de las fichas departamentales y oferta institucional Sector Tecnologías de Información y Comunicación, se visualizan los porcentajes de cobertura de velocidad de descarga, acceso y porcentaje de hogares con internet, con un índice creciente en conectividad que permite que un número mayor de hogares puedan acceder a herramientas educativas como servidores web, plataformas Moodle, blackboard Academics, Google Academics, bases de datos e infraestructura, lo que permite la ampliación del conocimiento en:

Objetos Virtuales de Aprendizaje - OVAS

Como herramientas digitales que se utilizan en educación virtual, compuestas de audios, videos, elementos interactivos e incluso videojuegos didácticos. Los OVAS contienen un objetivo, un contenido, una actividad de aprendizaje y un mecanismo de evaluación. Este recurso didáctico es independiente, es decir, es creado para ser reutilizable en variados contextos educativos y en distintos dispositivos, se pueden desarrollar en diversos formatos (*E-learning Masters*, 2019).

Ambientes Virtuales de Aprendizaje - AVAS

Para trabajar con instrumentos y ayudas didácticas (guías, libros, materiales impresos e hipertextuales, esquemas, videos, imágenes) destinados a apoyar las estrategias formativas y de aprendizaje, que responda a las necesidades y los intereses de estudiantes y docentes con el fin de propiciar la construcción colectiva de conocimiento y fomentar la investigación, la experimentación y la aplicación de conocimientos en los contextos significativos de los discentes.

Además de los indicadores que benefician a la población casanareña en términos y características que ofrece *Cloud computing* establecidas por el NIST, referente a:

1. Autoservicio bajo demanda (*On-demand self-service*): Un consumidor puede unilateralmente aprovisionar capacidades o recursos de computación, tales como tiempo de servidor y almacenamiento en red, según sea necesario y de manera automática sin necesidad de interacción humana con cada proveedor de servicios.
2. Acceso amplio a la red (*Broad network access*): Los servicios proporcionados deben poder ser accesibles sobre la red y a través de mecanismos estándares que promuevan el uso desde plataformas heterogéneas del cliente (por ejemplo: computadores, teléfonos móviles o tabletas).
3. Conjunto común de recursos (*Resource pooling*): Donde los recursos computacionales son puestos a disposición de los consumidores, compartiendo diferentes recursos físicos y virtuales asignados dinámicamente y por demanda a través de la tecnología multitenencia, que es un tipo de arquitectura de software en el cual una sola aplicación da servicio a múltiples empresas clientes ofreciendo una visión de datos particionados en donde cada empresa solo ve sus datos y no los de otra, así todos los datos convivan en una misma base de datos (Carrillo y Franky, 1986).
4. Rápida elasticidad (*Rapid elasticity*): Los recursos proporcionados deben poder crecer o decrecer en cualquier momento, en algunos casos automáticamente, con el fin de escalar rápidamente y responder a la demanda de los usuarios.
5. Servicio medible (*Measured service*): Los sistemas en la nube automáticamente controlan y optimizan el uso de los recursos dotándose de capacidades para medir su rendimiento en un nivel de abstracción suficiente para la

naturaleza del servicio proporcionado. Además, dicho control debe permitir ser monitoreado y reportado de manera transparente tanto al proveedor del servicio como al consumidor del mismo.

Tabla 1. Principales indicadores en TIC del Departamento de Casanare, tomado de fichas departamentales y oferta institucional Sector Tecnologías de Información y Comunicación (MinTIC, 2019).

Ítem	Valor
Velocidad de descarga promedio de los suscriptores a internet fijo (mbps)	9.1
Acceso a internet fijo por cada 100 habitantes	9.3
Acceso a internet fijo con velocidad de descarga 20 mbps por cada 1000 habitantes	8.3
Acceso a internet fijo	35.450
Porcentaje de hogares con internet	47.2
Porcentaje de hogares con teléfono fijo	3.1
Porcentaje de personas con teléfono celular	72.4
Porcentaje de hogares con computador de escritorio, portátil o tableta	30.5
Porcentaje de hogares con televisión convencional a color, LCD, plasma o LED	84.4

4. Cloud Computing en Unitrópico

La Fundación Universitaria Internacional del Trópico Americano - Unitrópico cuenta actualmente con servicios en la nube adquiridos para el manejo de información académica y administrativa gracias a la migración que se viene realizando durante el primer semestre del año 2020, adoptando las modalidades de SaaS e IaaS para procesamiento de información y manejo de aplicaciones. Implementando la plataforma de sistema Q10 como aplicación de gestión, programación y registro académico en la nube, además de los servicios de Google+ con una disponibilidad 7 por 24 los 365 días del año y convenio en paquetes de software con Microsoft. A través de conexión a Internet de un enlace dedicado y una conexión ADSL como contingencia con conexiones WiFi para estudiantes, docentes y funcionarios.

Unitrópico, presta sus servicios de modalidad presencial, sin embargo, con la emergencia mundial generada por la pandemia de SARS-CoV-2 (Covid-19), el gobierno local, gobierno nacional y el Ministerio de Educación Nacional establecieron normas que impiden la presencialidad en todas las instituciones de educación en el territorio nacional, primero hasta el 30 de mayo de 2020 y luego extendida en el tiempo debido al comportamiento virulento de la enfermedad, razón por la cual Unitrópico dispuso para su comunidad educativa sus recursos en la nube como lo son las herramientas de Google+ y Q10 *academics* lo que ha permitido que docentes y estudiantes continuaran con sus actividades a través de plataformas como Classroom de google y Q10 *academics*.

La Figura 1 se presentan los niveles de acceso de las diferentes áreas de Unitrópico.

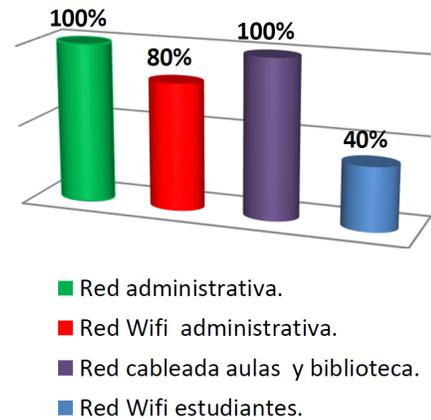


Figura 1. Conectividad en Unitrópico. Datos suministrados por el Departamento de Sistemas de Unitrópico (Mayo 2020).

En la Tabla 2 se presenta uso de herramientas digitales en Unitrópico.

Tabla 2. Cantidades de uso de herramientas digitales en Unitrópico. Datos suministrados por el Departamento de Sistemas de Unitrópico (Julio 2020).

Ítem	Cantidad
Cuentas e-mail activas en Unitrópico	5.620
Usuarios activos por semana en aplicaciones de gmail, drive, hangouts, calendar, classroom	2.000
Espacio de almacenamiento utilizado	17,61 TB

En cuanto a la formación de sus profesionales, Unitrópico ha adelantado capacitación a su planta docente en herramientas TIC y recursos en la nube con el fin de cumplir la directriz del Gobierno Nacional - Directiva Ministerial N° 4 del 22 de marzo de 2020, donde se “autoriza el uso de tecnologías en el desarrollo de programas académicos presenciales bajo la modalidad de clases virtuales en educación superior, inicialmente hasta el 30 de mayo del 2020 o hasta que el Ministerio de Salud y Protección Social decida prorrogar el estado de emergencia sanitaria, las orientaciones contenidas en esta Directiva podrán seguir siendo ejecutadas por las Instituciones de Educación Superior hasta que el Gobierno Nacional decreta que la emergencia sanitaria ha terminado”.

5. Conclusiones

El *Cloud Computing* es una estrategia valiosa tanto para las instituciones educativas como para los estudiantes adscritos a ellas, para aprender con menos desplazamientos, con acceso sincrónico y asincrónico a los recursos resulta ventajoso para la cobertura de comunidades más grandes.

Es de vital importancia la inversión, por parte de los entes gubernamentales a nivel nacional, en mejoramiento de los sistemas de comunicación y acceso de estos a las comunidades menos favorecidas, ya que La educación a través de los servicios de la computación en la nube está tomando un papel protagónico

en la actual emergencia que vive el mundo entero acelerando un proceso que venía en crecimiento en los últimos años. Las instituciones se han dado cuenta de la importancia de contar con estos servicios especializados que anteriormente tenían que ser implementados en los planteles resultando muy costosos. Las soluciones en la nube son un factor a tener en cuenta por parte de las directivas de colegios y universidades, desconocerlas hacen perder la oportunidad de realizar una mejor inversión y destinar los recursos económicos y de talento humano para otras necesidades que deben cumplir las instituciones.

Referencias

- Agreda, M. (2015). *Aplicación Educativa de Entornos de Aprendizaje en la Nube (C-Learning) en la Universidad Pública Española: Análisis de la Formación del Profesorado que Imparte Docencia en las Facultades de Ciencias de la Educación (Tesis Doctoral)*. Universidad de Granada, España.
- AWS Amazon (2020). Instituciones miembro de la Academy Amazon Web Service (AWS). Recuperado de: <https://aws.amazon.com/es/training/awsacademy/member-list/>.
- Carrillo, M. y Franky, C. (1986). Scloudpy: Sistema informático web de multi-tenencia para el procesamiento en la nube de pedidos de pymes. *Inf. Tecnol*, 27(1):181.
- Computing.es (2019). La Universitat de Barcelona realiza la mayor migración de servicios a la nube. Recuperado de: <https://www.computing.es/cloud/noticias/1115132046301/universitat-de-barcelona-realiza-mayor-migracion-de-servicios-nube.1.html>.
- Del Vecchio, J., Paternina, F., y Henríquez-Miranda, C. (2015). La computación en la nube: un modelo para el desarrollo de las empresas. *Prospectiva*, 13(2):81.
- E-learning Masters (2019). Herramientas para desarrollar Objetos Virtuales de Aprendizaje. Recuperado de: <http://elearningmasters.galileo.edu/2019/02/01/objetos-virtuales-de-aprendizaje/>.
- García-Aretio, L. (1999). Historia de la educación a distancia. *Revista Iberoamericana de educación a distancia*, 2:11.
- Guazmayan, C. (2004). *Internet y la Evolución Científica, El Uso de los Medios y las Nuevas Tecnologías en Educación*. Bogotá D.C. Colombia. Cooperativa Editorial Magisterio.
- IBM (2018). Definiciones de IaaS, PaaS y SaaS. Modelos de servicios IaaS, PaaS y SaaS de IBM Cloud. Recuperado de <https://www.ibm.com/ar-es/cloud/learn/iaas-paas-saas>.
- Leithner, R. (2018). Primer mensaje de ARPANET. Asociación de docentes de informática y computación de la República de Argentina. Recuperado de: <http://adicra.org.ar/29-oct-1969-primer-mensaje-arpamet/>.
- López, G. (2002). Tecnologías de internet, (de arpanet a 3g). *BARATARIA, Revista Castellano-Manchega de Ciencias Sociales*, 5:13.
- Mejía, I. y Ballesteros, J. (2014). *Cloud Computing, Trend Importance and Relevance for Higher Education*. Universidad Tecnológica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia.
- Mell, P. y Grance, T. (2011). *The NIST Definition of Cloud Computing*. U.S., National Institute of Standards and Technology, U.S. Department of Commerce.
- Microsoft Azure (2020). Veamos las cosas increíbles que están haciendo otros con Azure. Recuperado de: <https://azure.microsoft.com/es-es/case-studies/?industry=higher-education&country=colombia>.
- MinTIC (2019). Indicadores TIC Casanare. Recuperado de: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrijoizm0mjdijetngm4my00yzcxlwe0njqtnwzhotg1mwq0ztrkiiwidci6ijfhmdy3m2m2lti0ztetndc2zc1iyjrklwjhnme5mwezyzu4ocisimmiojr9>.
- Podolsky, R. (2015). Lo que nos ha dado el Cloud Computing en educación. Blog de tecnología en la gestión administrativa en la educación. Recuperado de: <https://comunidad.iebschool.com/gestioneducativa/2015/11/24/lo-que-nos-ha-dado-el-cloud-computing-en-la-educacion/>.
- Tecayehuatl, E. (2012). El origen de: El computo en la nube. Recuperado de: <http://www.fayerwayer.com/2012/01/el-origen-de-el-computo-en-la-nube/>.
- Universidad Científica del Sur (2020). ¿Por qué la científica? recuperado de <https://www.cientifica.edu.pe/la-universidad/porque-la-cientifica>.
- University Rankings (2020). Casos de éxito con Cloud Computing. University Rankings. Recuperado de: <https://www.topuniversities.com/university-rankings/world-university-rankings/2020>.

De los desperdicios al tanque de tu auto, cómo aprovechar los desperdicios del plátano

From waste to your car fuel tank, how to take advantage of banana waste

L.A. Alonso-Gomez^{1*}, E. Heredia-Olea²

Resumen

El uso de residuos de los procesos agrícolas y residuos agroindustriales para la producción de diferentes materiales de valor agregado es un área de estudio que se está incrementando en los últimos años. El centro de biotecnología FEMSA del Tecnológico de Monterrey, junto con investigadores del Instituto Politécnico Nacional de México, junto con la Universidad Tecnológica de Pereira y la Universidad Nacional de Colombia (sede Manizales), vienen adelantando desarrollos importantes en cuanto a la producción de bioetanol y otros materiales de alto valor agregado, a partir de harinas con alto contenido de almidón y otros metabolitos de interés. Las etapas iniciales del desarrollo de un proceso biotecnológico involucran un análisis, técnico (a nivel de laboratorio con su posterior escalamiento) y económico y para que el proceso llegue a la sostenibilidad, es importante ir más allá mediante la determinación de los posibles impactos ambientales y sociales de dicho proceso biotecnológico. Los avances de dicho proyecto se presentan en este documento

Palabras Claves: Etanol — biocombustible — harina entera de plátano

Abstract

The use of residues from agricultural processes and agro-industrial residues for the production of different value-added materials is an area of study that has been increasing in recent years. The FEMSA biotechnology center of the Tecnológico de Monterrey, together with researchers from the National Polytechnic Institute of Mexico, together with the Technological University of Pereira and the National University of Colombia (Manizales headquarters), are advancing important developments regarding the production of bioethanol and other material with high added value, from flours with a high content of starch and other metabolites of interest. The initial stages of the development of a biotechnological process involve a technical analysis (laboratory level with its subsequent scaling), and economics and for the process to reach sustainability, it is important to go further by determining possible environmental problems and social aspects of the said biotechnological process. The progress of this project is presented in this document.

Keywords: Ethanol — biofuel — whole unripe plantain flour.

¹ Universidad Tecnológica de Pereira. Grupo Ciencia Tecnología e Innovación Agroindustrial. Pereira, Colombia.

² Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Centro de Biotecnología-FEMSA. Monterrey, México.

*Autor para correspondencia: lalonso@unillanos.edu.co.

Introducción

No todos los alimentos que se cosechan llegan al consumidor final, a través de la cadena de producción de alimentos se genera una gran cantidad de desperdicios, tanto en la cosecha, su distribución, en las plantas de procesamiento o durante su venta en las tiendas. Estos residuos son ricos en carbohidratos que pueden ser fácilmente procesados para producir energía o extraer moléculas de alto valor agregado. La gestión y tratamiento de estos residuos es un reto global hoy en día, sin embargo, muchos de los residuos son abandonados en los campos hasta que estos se

descomponen generando enfermedades y proliferación de plagas. Usualmente se utilizan rellenos sanitarios para depositar los residuos orgánicos, pero esto más que ser una solución trae problema como la contaminación de aguas subterráneas y del subsuelo.

Este problema ha puesto sobre la mesa la búsqueda de métodos alternativos para gestionar un buen uso de los residuos orgánicos. Una de las principales ventajas de utilizar los residuos orgánicos como materia prima es el logro de dos objetivos fundamentales: la gestión de residuos y obtener valor agregado ya que su costo es tan bajo que abarata el proceso de transformación significativamente.

1. El bioetanol

El etanol es un solvente orgánico que tiene la capacidad de ser utilizado en bebidas, combustibles, como disolvente, anticongelante o desinfectante. Las materias primas provenientes de las plantas (biomasa) pueden ser procesadas para la obtención de carbohidratos fermentables y su transformación en combustibles alternativos como el etanol. Este compuesto puede ser mezclado con la gasolina y ser usado como alternativa en los vehículos de transporte o bien su más reciente uso como ingrediente principal del gel desinfectante. La fermentación de azúcares como la glucosa y la fructosa utilizando levadura hace de esta una tecnología viable y altamente redituable, en tan solo 24 horas se logra un alto rendimiento de bioconversión. En varios países se está estudiando la viabilidad del etanol carburante a partir de residuos de sorgo, trigo, maíz, arroz, soja, cebada, colza, caña de azúcar y remolacha azucarera para producir este combustible y productos de alto valor derivados de los residuos de la fermentación.

2. Los residuos del plátano como alternativa para producir etanol carburante

En países tropicales como México y Colombia, uno de los cultivos preponderantes es el plátano, el cual genera gran cantidad de residuos orgánicos. El plátano es el cultivo de fruta más importante en el mundo, en términos de toneladas cosechadas. Tan solo en 2014 su producción alcanzó los 114 millones de toneladas, con un 26% de su producción concentrada en Latinoamérica. Este cultivo produce una gran cantidad de residuos porque cada planta produce únicamente un racimo de plátano en su vida. Así mismo, en las etapas de selección y empaque, se presentan rechazos en las operaciones de desgaje y desmane, esto por inspección de las dimensiones del fruto y condiciones estéticas de la cáscara. Este rechazo puede representar el 20% del total de la producción anual. Se busca que el plátano rechazado ingrese a mercados locales, pero la perecibilidad del producto, en muchas ocasiones, no da tiempo para su distribución y en consecuencia se debe utilizar para alimentación animal o compostaje. Varios desechos de la agroindustria del plátano, como pseudotallo, pulpa y cáscaras, se han utilizado para generar productos fermentados de valor agregado como por ejemplo el ácido láctico debido a la cantidad de azúcares simples que contienen. O también, debido al alto contenido de azúcares simples y de almidones es posible fermentar estos residuos en etanol. Se ha demostrado que se puede obtener un máximo rendimiento de producción de etanol con pulpa de plátanos verdes inmediatamente después de cosechar. El rendimiento de etanol de plátanos maduros fue 23% menor que el de los inmaduros, lo que se atribuyó a la disminución de carbohidratos en base seca debida principalmente al consumo de glucosa por la actividad metabólica durante la maduración. Por tal motivo, en este estudio se tomó la recomendación de otros autores de utilizar plátano verde descartado para su venta y generar etanol. Un inconveniente técnico del plátano verde es el pelado del fruto, debido a la forma de los plátanos dificulta la automatización del proceso; además, la cáscara está muy adherida a la pulpa por el estado fisiológico del fruto. Para mejorar el rendimiento se evitó

el pelado teniendo en cuenta que, la cáscara al igual que la pulpa del plátano tienen alto contenido de carbohidratos (almidón y lignocelulosa) que una vez hidrolizados, son fermentables. Por lo tanto, es posible la obtención de etanol a partir de plátanos verdes con cáscara que son rechazados en la cadena productiva sin procesos extras de preparación. En este sentido, el uso de pulpa y cáscara juntas añade polisacáridos más complejos que el almidón, estos polisacáridos complejos pertenecientes a la pared celular vegetal, celulosa y hemicelulosa, que pueden ser procesados con ayuda de enzimas específicas para convertirlos en azúcares simples con el objetivo de mejorar los rendimientos de fermentación. Para analizar la factibilidad técnica de este fruto como materia prima para la producción de etanol, investigadores mexicanos del TEC de Monterrey y del Instituto Politécnico Nacional (IPN) y colombianos de la Universidad Tecnológica de Pereira y la Universidad Nacional Colombia (sede Manizales), buscan comparar los rendimientos en producción de azúcares fermentables y etanol en las harinas de plátano con cáscara y sin cáscara. Además de su viabilidad técnica, económica, ambiental y social.

3. Trabajo experimental

El trabajo de los grupos de investigación partió de plátano verde de rechazo, el cual fue procesado hasta la obtención de harina.

La caracterización de la harina de plátano demostró un alto contenido de almidón, tanto en la cáscara como en la pulpa del plátano verde, lo cual es ventajoso para la investigación pues este es un polímero que fácilmente se puede convertir en glucosa. Estas harinas fueron hidrolizadas enzimáticamente, donde se buscó prioritariamente el desdoblamiento de largas cadenas de amilosa y amilopectina que conforman los gránulos de almidón, y en segundo lugar dividir estas cadenas en moléculas de maltosa y glucosa, dos sustratos fundamentales para ser aprovechados por las levaduras como alimento y fuente de carbono en el proceso fermentativo. Las hidrólisis de pulpa de plátano con cáscara tuvieron rendimientos de azúcares notables. Es importante resaltar que del rendimiento de la hidrólisis enzimática depende el rendimiento de todas las etapas posteriores. Por lo que se observó, que el uso de enzimas fibrolíticas en conjunto con las amilasas mejoraron en un 23% la liberación de azúcares fermentables con respecto al uso de solo enzimas que hidrolizan almidón. Así mismo, es muy importante anotar que se alcanzaron concentraciones de etanol después de la fermentación hasta de 45.5 mL/L, muy similar a las concentraciones de etanol obtenidas con pulpa de plátano de 58.6 mL/L. Los menores rendimientos obtenidos con la muestra de harina completa, es decir con cáscara, se atribuyeron a que los azúcares fermentables se mezclan con el otro material soluble del mosto, como por ejemplo ramnosa, fucosa, xilosas y polifenoles (Agama-Acevedo et al., 2016), liberados de la cáscara en la etapa de sacarificación, además de la glucosa, esta diferencia determina cómo el metabolismo de la levadura se modula debido a cambios en la composición del mosto, dando como resultado un menor rendimiento en la producción de bioetanol, en presencia de otras moléculas liberadas por la cáscara.

4. Escalamiento y simulación de la destilación y la deshidratación

Se hizo un escalamiento de la producción a un flujo de materia prima de 5.5 Ton/h. Para la simulación se utilizó la caracterización química de la harina integral del plátano mexicano reportada por Alonso-Gómez et al. (2019). La simulación del caso colombiano se realizó utilizando la caracterización reportada por Duque et al. (2015). Como datos de entrada para realizar las simulaciones se utilizaron los rendimientos experimentales y las conversiones obtenidas en la fase de sacarificación reportadas por Alonso-Gómez et al. (2019) y Parra-Ramírez et al. (2020). Por último, la producción de bioetanol y etapas posteriores (destilación y deshidratación) se simuló utilizando los modelos Aspen Plus y el enfoque de diseño conceptual propuesto por Cardona Alzate et al. (2019). En la simulación se obtuvieron los balances de materia y energía del proceso, y estos fueron los datos de insumo para llevar a cabo la evaluación económica. Esta investigación ha demostrado el potencial técnico de la producción de bioetanol y harina utilizando frutos de plátano verdes rechazados (*Musa paradisiaca* L.) como materia prima en Colombia y México. La simulación del proceso demostró que la producción de bioetanol y harina son económicamente viables a escalas bajas 5.5 Ton/h.

5. Análisis económico

Los escenarios fueron evaluados económicamente utilizando el software comercial Aspen Process Economic Analyzer® (APEA) v9.0. Este software se usó para realizar el dimensionamiento de los equipos de acuerdo con las entradas y los flujos másicos para cada operación unitaria usada en la simulación. Además, el análisis económico se llevó a cabo siguiendo el enfoque metodológico reportado por Peters y Timmerhaus (1991). Los gastos de capital (CAPEX) del proceso se calcularon a través del dimensionamiento de los equipos teniendo en cuenta los balances de materia y energía de la simulación. Se tuvo en cuenta el costo asociado a la instalación de los equipos, como por ejemplo las tuberías y los accesorios. Además, los gastos operativos (OPEX) se calcularon teniendo en cuenta varios factores como los costos de las materias primas, los costos de mano de obra de los operarios, los costos de mantenimiento, los costos generales y los administrativos, así como la depreciación. El análisis económico se evaluó teniendo en cuenta una vida útil del proyecto de 10 años, una jornada laboral anual de 8000 h teniendo en cuenta una operación continua (24/7) y tres turnos por día (GreenDelta, 2016). Finalmente, se evaluaron los escenarios propuestos considerando los contextos colombiano y mexicano para analizar el efecto de las condiciones económicas en la rentabilidad del proceso. El análisis económico demostró que la producción de harina y bioetanol tiene el potencial de generar beneficios en menos de diez años en ambos contextos. Sin embargo, México tiene más posibilidades de implementar los procesos propuestos debido a los menores costos de operación en este país (mano de obra operativa y materia prima). Por el contrario, el mayor costo de operación en Colombia es la principal causa de la baja viabilidad económica de este proyecto.

Además, el uso de plátano entero (cáscara + pulpa) da mejores indicadores másicos, de energía y económicos que el uso de la cáscara y la pulpa por separado. El plátano rechazado tiene el potencial de ser utilizado como materia prima para la producción de bioetanol a pesar de la baja conversión de almidón alcanzada en los datos experimentales. Por último, la composición química de plátano verde permite proponer diferentes productos de valor agregado y vectores energéticos que se obtengan aplicando el concepto de biorrefinería.

Perspectivas

La perspectiva futura del equipo multidisciplinario internacional es desarrollar sistemas y tecnologías para extraer productos químicos de valor agregado de los residuos orgánicos del cultivo del plátano. La idea de utilizarlos como materia prima en los procesos de biorrefinería es muy interesante desde la perspectiva de la sostenibilidad ambiental. La conceptualización de las biorrefinerías que usan desechos agroindustriales es análoga a las refinerías de petróleo que usan petróleo crudo como materia prima. En este caso la biomasa que es el componente principal de los residuos agroindustriales, se consideraría como un análogo del petróleo crudo en el ámbito de la Biorrefinería.

Esta propuesta podría impulsar tanto el campo mexicano, como el sector rural colombiano generando empleos desde los cultivos rurales, incrementando los ingresos de los agricultores, y la mejora de las economías locales al construir biorrefinerías que demanden personal calificado y, por consiguiente, el bienestar de las familias involucradas directa o indirectamente.

Agradecimientos

A nuestros asesores Dr. Luis Arturo Bello Pérez y Dr. Sergio Serna Saldivar

Referencias

- Agama-Acevedo, E., Sañudo-Barajas, J., Vélez-De La Rocha, R., González-Aguilar, G., y Bello-Peréz, L. (2016). Potential of plantain peels flour (*musa paradisiaca* l.) as a source of dietary fiber and antioxidant compound. *CyTA-Journal Food*, 14:117.
- Alonso-Gómez, L., Heredia-Olea, E., Serna-Saldivar, S., y Bello-Pérez, L. (2019). Whole unripe plantain (*musa paradisiaca* l.) as raw material for bioethanol production. *J. Sci. Food Agric.*, 99:5784.
- Cardona Alzate, C., Solarte Toro, J., y Peña, G. (2019). Fermentation, thermochemical and catalytic processes in the transformation of biomass through efficient biorefineries. *Catal. Today*, 302:61.
- Duque, S., Cardona, C., y Moncada, J. (2015). Techno-economic and environmental analysis of ethanol production from 10 agroindustrial residues in Colombia. *Energy and Fuels*, 775:29.
- GreenDelta (2016). *PSILCA – A Product Social Impact Life Cycle Assessment database. Database version 1.0. Documentation 1–99.*

Parra-Ramírez, D., Solarte-Toro, J., y Cardona-Alzate, C. (2020). Techno-economic and environmental analysis of biogas production from plantain pseudostem waste in colombia. *Waste and Biomass Valorization*, 11:3161.

Peters, M. y Timmerhaus, K. (1991). *Plant design and economics for chemical engineers 4th edition*. McGraw-Hill Publishing Company.

Vida y proximidad, claves para abordar el impacto de la pandemia en la planeación de la ciudad informal post COVID-19

Life and proximity, keys to addressing the impact of the pandemic on post COVID-19 informal city planning

Reimi Vargas A.^{1*}

Resumen

La crisis epidemiológica desatada por la enfermedad COVID - 19 ha evidenciado que aspectos como la desigualdad social, el crecimiento no planificado y la crisis ambiental precedente inciden en la propagación del virus dentro de los segmentos poblacionales localizados en áreas urbanas. En este orden de idea, se busca hacer una aproximación general de los factores sociales, urbanos y ambientales que deben ser analizados para el manejo de la crisis epidemiológica en sectores vulnerables y para la formulación posterior de estrategias de mejoramiento en asentamientos humanos de origen informal.

Palabras Claves: Ciudad — Riesgo — Informalidad Urbana — Planeación — Medio Ambiente — COVID-19

Abstract

The epidemiological crisis unleashed by the COVID - 19 disease has shown that aspects such as social inequality, unplanned growth and the preceding environmental crisis affect the spread of the virus within population segments located in urban areas. In this order of idea, the aim is to make a general approach to the social, urban and environmental factors that must be analyzed for the management of the epidemiological crisis in vulnerable sectors and for the subsequent formulation of improvement strategies in human settlements of informal origin.

Keywords: City — Risk — Urban Informality — Planning — environment — COVID-19

¹ *Fundación Universitaria Internacional del Trópico Americano. Facultad de Arquitectura. Yopal, Colombia.*

***Autor para correspondencia:** reimivargas@unitropico.edu.co

Introducción

Uno de los aspectos más relevantes respecto a la actual pandemia es la inmediatez en el flujo de la información, que permite consultar y analizar la evolución en tiempo real de la crisis epidemiológica generada por la propagación de la denominada Corona Virus Disease 2019 o enfermedad COVID -19, por sus siglas en inglés. Una enfermedad ocasionada según la Organización Panamericana de la Salud (OPS) por el brote del coronavirus tipo 2 causante del síndrome respiratorio agudo severo (SRAS-CoV-2).

En este proceso, la población del planeta se ha informado de la evolución del número de contagios, del riesgo que conlleva la exposición social de grupos poblacionales con algún grado de vulnerabilidad asociada a la enfermedad, así como los protocolos de cuidado y distanciamiento para la reactivación de las actividades sociales y económicas en áreas urbanas y rurales. Sin embargo, pareciera que la reflexión del impacto posterior de la

enfermedad de la COVID -19 en las ciudades no parece fluir con la misma velocidad que las noticias, debido principalmente al direccionamiento del manejo de la información hacia los aspectos relacionados con la prevención y manejo epidemiológico de la enfermedad; y sobre todo al desconocimiento real de aspectos como el origen, comportamiento y trazabilidad del virus del cual conocemos realmente poco dada su reciente aparición.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2020) “el virus del SRAS-CoV-2 puede propagarse de manera directa de un individuo a otro, por secreciones respiratorias, y de manera indirecta, cuando los fluidos caen sobre alguna superficie y otra persona entra en contacto con estos, llevando sus manos a la boca, ojos o nariz” de ahí, que las medidas como el lavado de manos y el distanciamiento social sean acciones efectivas para la prevención del contagio de la enfermedad de la COVID - 19. Así mismo, los protocolos de bioseguridad establecidos por la OMS, incluyen contar con el acceso a servicios de saneamiento básico, vivienda y

empleo, a pesar de ello, un gran porcentaje de hogares localizados en asentamientos informales en países en desarrollo, como el caso de Colombia, presentan déficit en la cobertura en la prestación de servicios públicos domiciliarios en zonas urbanas y rurales (Vera et al., 2020), y un déficit habitacional, compuesto por el déficit cuantitativo y cualitativo, que identifica, según reporte del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) a los hogares que habitan en viviendas con deficiencias estructurales y hogares que requieren de nuevos espacios habitacionales cercano al 37% del total de la población actual del país (DANE, 2020) en cuya ausencia se favorece el incremento de los factores de transmisión del virus entre las personas dadas las desigualdades y deficiencias no resueltas y acumuladas.

1. Materiales y Métodos

El interés de la presente disertación tiene como objetivo contribuir a ampliar la reflexión sobre el tema de la COVID – 19 y su impacto en las áreas urbanas informales desde una perspectiva interdisciplinar, con la finalidad de aportar al entendimiento de la actual crisis epidemiológica generada por el virus del SRAS-CoV-2 en ciudades densamente pobladas. Para lo cual, se toma como base argumentativa ideas, abordajes e investigaciones desarrolladas por diferentes disciplinas, entre los que encontramos los estudios elaborados por autores como: Vera et al. (2020); Burke (2020); Wu et al. (2020) y Leight et al. (2018) desde, el campo de las investigaciones en salud pública, medio ambiente y ciudad. Blaikie et al. (1994); Alkire et al. (2015); Giddens (2007) y Schenck y Louw (1995), en relación al tema del riesgo, la pobreza multidimensional y vulnerabilidad urbana. Así como, Gouverneur (2015) y Glaeser (2011) a partir del análisis de la ciudad y el fenómeno de la informalidad urbana.

Los cuales, entre otros autores representativos, aportan a ampliar la discusión y el entendimiento sobre la actual emergencia epidemiológica en las ciudades y a identificar su repercusión en el ámbito urbano, arquitectónico y ambiental.

En este orden de ideas, se busca hacer una aproximación general al objeto de estudio fundamentado en la consulta previa de bibliografía especializada, a partir de tres categorías o ejes de análisis interrelacionadas, que en su orden incluyen: 1) La delimitación del concepto de riesgo, pobreza multidimensional e informalidad urbana. 2) Las interrelaciones de los desequilibrios sociales, espaciales y ambientales de la pandemia Covid-19 en la ciudad informal. 3) Así como algunos datos complementarios, aportados recientemente por investigaciones en materia de salud pública, realizados en áreas urbanas afectadas por la propagación de la Covid-19.

Por último, la disertación expone algunas ideas a modo de conclusiones, orientadas a entender y mitigar los efectos negativos de la pandemia en la vida urbana, desde aspectos ambientales y su importancia en la planeación de asentamientos urbanos informales con lo cual se busca dejar abierto el debate a la reflexión y participación del lector en torno al fenómeno abordado.

2. Resultados

Desde el ámbito de la sociología el riesgo se define como la probabilidad de que una amenaza se convierta en un desastre inminente, que por su localización, magnitud y escala logre afectar a un número considerable de individuos pertenecientes a una o varias comunidades. Según Giddens (2007), “se pueden identificar dos tipos de riesgos fundamentales que ayudan a entender el alcance del concepto de riesgo en la actualidad: a) los riesgos de tipo externo, originados por causas naturales, como el caso de las inundaciones o el surgimiento de un virus; y b) los riesgos de tipo manufacturado, creados a partir de las acciones o decisiones humanas, como conflictos armados o la propagación de pandemias a causa de una enfermedad entre un determinado grupo de individuos”.

Desde otro ángulo, Blaikie et al. (1994) afirma que los desastres naturales, como sequías, terremotos o epidemias no son la mayor amenaza para las comunidades humanas. Según el autor, “a pesar de la letalidad de este tipo de eventos naturales, y del número de pérdidas de vidas humanas que genera cada año en distintas partes del mundo, la proporción de población que acorta su vida es menor, comparado con las pérdidas de vidas que ocasionan los eventos sociales y económicos relacionados por ejemplo con conflictos bélicos, desnutrición o el acceso condicionado a sistemas de saneamiento básico y vivienda”. Muertes que en palabras de Blaikie et al. (1994) “ocurren debido a causas naturales pero que, bajo diferentes condiciones económicas y políticas, predisponen a los seres humanos a escenarios de vulnerabilidad, en las que personas que deberían haber vivido mucho más tiempo encuentran un límite a su existencia”. Por lo que se puede delimitar, qué sí bien, las amenazas naturales como en el caso de las epidemias son cíclicas, su afectación entre grupos humanos es mitigable, en la medida en que su escalonamiento está íntimamente relacionado con la capacidad de respuesta de las organizaciones sociales y políticas de las comunidades que se ven afectadas. Es decir que al hablar de riesgo epidemiológico, podemos estar abordando un riesgo de tipología compuesta, constituido por factores naturales de tipo externo, en los que se origina el brote de la enfermedad; y un riesgo de tipo manufacturado, integrado por factores sociales, políticos y económicos, que inciden en los tiempos y escala de propagación de las enfermedades que las transforman en pandemia, así como en la velocidad de respuesta de las instituciones de salud pública que intervienen en el manejo de las crisis desatadas por las enfermedades a escala local, nacional y supranacional.

De manera paralela al tema del riesgo epidemiológico compuesto, en el que podemos enmarcar a la actual pandemia Covid-19, el fenómeno de la pobreza, es otro factor social determinante en la propagación de enfermedades. En palabras de Schenck y Louw (1995) y Alkire et al. (2015) “el concepto de pobreza hace alusión a la condición en la que las personas están expuestas a múltiples desventajas o privaciones. Una situación de exclusión y desigualdad social, que no permite a las personas alcanzar mejores estados de bienestar”.

El llamado enfoque de pobreza multidimensional planteado por Schenck y Louw (1995) y Alkire et al. (2015) integra a

la definición conceptual de la noción de pobreza las dimensiones físicas, sociales, económicas y políticas que promueven la aparición de escenarios de vulnerabilidad física y social en los hogares y sus integrantes. Una situación que se manifiesta, por ejemplo, en bajos niveles de escolaridad, acceso restringido a recursos económicos, servicios de salud deficientes, desempleo y violencia, entre otros. En cifras y según el Informe Sobre Desarrollo Humano *Alkire et al. (2015)*, se estima que dos terceras partes de la población mundial, es decir, cerca de 886 millones de personas experimentan altos grados de pobreza multidimensional. Para el caso de Colombia, y de acuerdo al reporte del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (*DANE, 2018*) el número de personas en condición de pobreza multidimensional asciende al 19.6%, del total de la población.

Concentrándose en su mayoría, en Municipios localizados en las regiones de la Orinoquia, Amazonia y Pacífica, y en menor proporción, en cabeceras municipales y grandes ciudades ubicados en las regiones Central y Oriental del país. Siendo las ciudades de Quibdó (48,3%), y Bogotá (7.1%), las que exhiben el mayor y menor número de hogares en situación de pobreza multidimensional respectivamente.

De manera transversal a los problemas sociales relacionados con el incremento de la pobreza multidimensional en el contexto regional, el crecimiento de asentamientos humanos informales en las ciudades de América Latina y Colombia es un factor determinante en la propagación de focos epidemiológicos en áreas densamente pobladas. En promedio, y según *Simon (2007)* “dos de cada tres personas que viven en las urbes de América Latina lo hacen en condiciones de pobreza”. Un fenómeno de inequidad que, en palabras del autor, conlleva a la fragmentación socio espacial en las ciudades y un menor grado de inclusión y participación de las personas en la distribución de la riqueza. Así como, una restricción en el acceso a bienes y servicios elementales para un segmento de la población, que, al no contar con los recursos económicos necesarios para acceder a programas de vivienda, se ven presionados a generar estrategias habitacionales autoconstruidas, vulnerando la capacidad de resiliencia de los hogares para enfrentarse a circunstancias indeterminadas. En este orden de ideas, y retomando algunas de las reflexiones propuestas por *Vera et al. (2020)* en su análisis sobre los efectos de la pandemia COVID-19 en las ciudades, podemos señalar que, en términos generales las personas que habitan en áreas urbanas en Latinoamérica y en Colombia afrontan amenazas de salud similares a las del resto de la sociedad. Sin embargo, y tal como es señalado por *Vera et al. (2020)* “los escenarios de riesgo son mayores para aquellos pobladores que viven en áreas de origen informal”.

Zonas urbanas perimetrales con desigualdades sociales y altos niveles de pobreza multidimensional, que puede ser definido, en palabras de *Torres (2010)* como “un fenómeno socio espacial, en el que los habitantes de bajos recursos resuelven sus necesidades de habitación de forma directa, en ausencia de alternativas institucionales o legales”. Y el cual, según *López-Borbón (2018)* “ha llegado a ocupar en promedio la tercera parte de las ciudades, a pesar de los esfuerzos de los gobiernos locales por contrar-

restarla, aumentando tanto la oferta de vivienda de bajo costo, como el control para evitar la aparición de nuevos asentamientos informales”.

En esta cadena de eventos relacionados, las personas, se localizan en barrios informales, impulsados por la pobreza, la exclusión social, la violencia y los desastres naturales, reconfigurando la ocupación del suelo de la ciudad, aumentando las áreas no planificadas en el territorio (*Gouverneur, 2015*), lo que conlleva, al aumento de la densidad urbana, a generar modelos de ocupación con mayor proximidad entre los habitantes y a incrementar la presión antrópica sobre los recursos naturales, debido a la demanda no planificada de suelo y recursos naturales.

3. Discusión

A modo introductorio se presenta a continuación una serie de datos estadísticos que contextualizan el avance de la pandemia del COVID-19 en el contexto urbano en Latinoamérica. Según la Organización Panamericana de la Salud (OPS), en ciudades densamente pobladas como: Sao Paulo (21,6 M. Hab.); Ciudad de México (21, 6 M. Hab.); Buenos Aires (14, 9 M. Hab.); Rio de Janeiro (13, 2 M. Hab.); y Bogotá (10, 5 M. Hab.) han recibido el impacto del número de contagios generados por la pandemia del COVID-19. En su orden, y a la fecha del mes de agosto de 2020 las ciudades de: Sao Paulo reportan (801.422 Casos / 29.944 muertes); Ciudad de México (97.256 Casos / 8.387 muertes Buenos Aires (249.957 Casos / 5.090 muertes); Rio de Janeiro (222.957 Casos / 3.759 muertes) y Bogotá (207.403 Casos / 5.310 muertes) respectivamente.

En el caso de Colombia, y según el Censo Nacional de Población y Vivienda, realizado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística *DANE (2019)*, 8 de cada 10 personas se concentra en grandes ciudades con más de dos millones de habitantes, y en aglomeraciones urbanas de orden intermedio con poblaciones que van desde cien mil y al millón de habitantes, lo que hace del país un territorio marcadamente urbano. En este contexto, y según información estadística del Instituto Nacional de Salud (INS) sobre el comportamiento de la pandemia COVID-19, a la fecha del mes de agosto de 2020, se han presentado 694.664 casos confirmados y 22.275 personas fallecidas, siendo Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla, las ciudades que presentan la mayor mortalidad. La evolución de la pandemia del COVID-19 a partir de los datos públicos de salud, han demostrado que en la actualidad en Latinoamérica y Colombia se encuentra el pico más álgido de la pandemia, impactando con mayor fuerza en áreas urbanas donde se localiza la mayor parte de habitantes. De manera inicial, podemos sintetizar algunas situaciones interdependientes que permiten dar una aproximación general a la relación causa efecto existente, entre la pobreza multidimensional, el proceso de urbanización, y su incidencia en la propagación de escenarios de riesgo compuesto, a la luz de la actual emergencia epidemiológica generada por la pandemia de la COVID-19. Así como contextualizar el comportamiento de dicho fenómeno en el ámbito local latinoamericano desde la realidad socioeconómica de la población que habita en áreas de origen informal. El análisis realizado de manera general, permite

constatar en primera medida, la existencia de fuertes asimetrías económicas entre la población urbana. Una situación, que genera desequilibrios socio espaciales, que dificultan la provisión de un soporte de infraestructura a la población para enfrentarse a situaciones de aislamiento que faciliten el autocuidado en sus hogares.

Un segundo aspecto importante, es que el actual escenario de riesgo y vulnerabilidad social de la población urbana aumenta, en la medida en que no cuenta con las capacidades para lograr prevenir, enfrentar y recuperarse de eventos críticos que implican la pérdida de activos materiales y capital social, frente a algún evento detonante, que vulnere la capacidad de resiliencia (Lampis, 2013). Lo que conlleva a una exposición al riesgo de las personas frente a amenazas físicas y sociales del entorno, representadas en este caso por la pandemia de la enfermedad COVID-19.

Un tercer punto, es que la aparición de la pandemia ha evidenciado, que no solo la predisposición genética de las personas puede aumentar el riesgo de contagio de la enfermedad (Vera et al., 2020), sino que por el contrario, aspectos como la desigualdad social y económica de las personas, son ejes estructurantes que repercuten en la salud y en el aumento de la escala de propagación de enfermedades infectocontagiosas en áreas con un alto déficit de vivienda y redes de saneamiento básico (Legetic et al., 2017).

De forma complementaria, otro de los puntos de vista que deben ser analizados en la actual pandemia, es la correlación existente entre el deterioro ambiental de los sectores de origen informal y la salud de sus habitantes. Aunque en el barrido bibliográfico realizado inicialmente no se encontraron investigaciones relacionadas con el tema en el ámbito local, se optó por examinar investigaciones desarrolladas en otras latitudes, para delimitar aspectos conceptuales que puedan ser tomados en cuenta para el abordaje posterior del tema.

Dentro de las investigaciones encontradas llama la atención los estudios de verificación bio estadísticas realizados por la Escuela de Salud Pública de la Universidad de Harvard elaborados por Wu et al. (2020), el cual infiere, que la probabilidad de que una persona muera por asuntos relacionados con la COVID-19 en ciudades Norteamericanas se incrementa en un 15%, en la medida en que se vive en ciudades con un mayor grado de contaminación. Así como la investigación realizada por Burke (2020) adscrito al *Global Food, Environment and Economic Dynamics* (G-FEED) de la Universidad de Stanford, quien evidencia una correlación positiva entre a) la mejora en la calidad del aire, b) la disminución de partículas contaminantes en el aire menores a 2,5 micras (PM 2,5) y c) el descenso en las tasas de mortalidad por enfermedades respiratorias asociadas a la contaminación del aire en las ciudades de Chengdu, Shanghai, Guangzhou y Beijing respectivamente durante la entrada en vigencia de las medidas de confinamiento social decretadas por el Gobierno Chino a finales del año 2019, y comienzos del año 2020.

El análisis planteado por Marshall Burke, deja como resultado que a dos meses de la reducción de la contaminación en las ciudades objeto del estudio, probablemente se han salvado la vida de 4,000 niños menores de 5 años y 73,000 adultos mayores de

70 años en China.

Fundamentalmente por la disminución de la concentración del porcentaje de partículas contaminantes en el aire (PM_{2,5}) en las áreas urbanas estudiadas como resultado de la disminución de la actividad industrial y la movilidad vehicular a partir de la implementación de las estrategias institucionales orientadas por el Gobierno Chino para la mitigación epidemiológica del virus (SRAS-CoV-2).

Si bien resulta apresurado basarse en las cifras y datos que respaldan los estudios analizados hasta el momento, su abordaje aporta una serie de reflexiones interesantes acerca de la pandemia, por ejemplo: Que la probabilidad de morir por COVID-19 es más alta en ciudades contaminadas, incrementando el riesgo de infección y ampliando la tasa de morbilidad y mortalidad de la población en general. Y que la mitigación del riesgo y el cuidado de la salud humana está íntimamente relacionada con la protección del medio ambiente en nuestras ciudades, y por la búsqueda de un equilibrio en las relaciones humanas y naturales.

Aunque se puede pensar, tal y como es planteado por (Glaeser, 2011) “que la ciudad se ve permeada por contrastes sociales y desequilibrios ambientales, que afectan y vulneran la calidad de vida de las persona” son mayores los beneficios que aporta la ciudad a las comunidades humanas, que las connotaciones negativas que surgen en el proceso de crecimiento y consolidación de la vida urbana en un territorio, o en las crisis manifiestas por eventos detonantes de salud donde se evidencian sus falencias y asimetrías.

En palabras de Glaeser (2011), “las áreas urbanas, permiten gracias a la proximidad en la ubicación de las comunidades humanas, la provisión de servicios sociales para la población, dado que facilita la cobertura en la prestación de servicios públicos y asistenciales, así como la movilidad y el encuentro ciudadano”. Por ejemplo, en Colombia y según la Misión Sistema de Ciudades, Una Política Nacional Para El Sistema de Ciudades Colombiano Con Visión a Largo Plazo (2014), el proceso de urbanización ha contribuido a lograr avances significativos en la prestación de servicios públicos domiciliarios cercanos al 90 por ciento en las principales ciudades del país.

Estos aspectos, entre otros, convierten a las ciudades en hábitats estratégicos para elevar los estándares de bienestar de las personas, que convergen en espacios urbanos, así como para enfrentar situaciones epidemiológicas que vulneren la vida de la población ante la aparición de eventos detonantes, como la pandemia del COVID-19 en áreas densamente pobladas de origen informal en las que se vuelve complejo evitar la interacción social y comercial, sobre las cuales se ha estructurado el sistema económico de la vida urbana; incrementando los niveles de vulnerabilidad de la población, frente a un posible contagio por proximidad, y en la que el modelo de densificación urbana de la ciudad en el territorio no ha salido muy bien librado.

En esta dirección, imaginar el futuro de las ciudades y de las áreas de origen informal parece ser una ventana de oportunidad o un escenario negativo dependiendo del ángulo desde el cual se le observe. Es decir, podemos apostar por el desarrollo de mejores condiciones habitacionales colectivas e individuales

para la población, a partir de suplir las falencias y déficits habitacionales acumulados, cómo estrategia para mitigar el riesgo epidemiológico de la actual emergencia sanitaria, ampliando la cobertura y calidad de servicios públicos como el agua, el saneamiento básico, el espacio público y mejorando de forma gradual el acceso integral a la vivienda para brindar a las personas un espacio de protección y aislamiento frente a futuras eventualidades. Y/o por el contrario aventurar por un futuro urbano incierto, en el que la crisis humanitaria generada por la pandemia COVID-19 incrementa las asimetrías sociales y problemáticas ambientales de la ciudad informal, ampliando la huella urbana sobre el territorio e impactando de manera negativa sobre el bienestar de los grupos sociales más vulnerables. En ambos casos, la ruta parece estar abierta a la reflexión o la invención de una tercera vía que medie el carácter dicotómico de las ideas expuestas en esta disertación.

4. Conclusiones

El abordaje de la pandemia y de las transformaciones que generará en las ciudades la crisis epidemiológica del COVID-19, debe pensarse desde una perspectiva interdisciplinar y multisectorial, involucrando las variables culturales, económicas y sociales propias de los sectores poblacionales más vulnerables que se verán afectados por los efectos negativos del virus en asentamientos humanos de origen informal.

Una situación que involucra no solo la visión disciplinar de la planeación y la arquitectura, sino aspectos de la salud pública, en la que la ciudad y la política pública debe orientar sus objetivos al cuidado de sus habitantes, con el fin de reducir las consecuencias patógenas de la densidad urbana en áreas de origen informal con procesos de consolidación urbana.

Postergar las decisiones de salud y de la protección del medio ambiente por razones económicas, es una fórmula que a largo plazo resulta costosa para la sociedad y las instituciones; las ciudades deben propender por incorporar los procesos ecológicos, ambientales y condiciones paisajísticas territoriales en las dinámicas urbanas, una situación que no es novedosa, si se revisan los postulados de muchos movimientos y manifiestos, que desde el movimiento higienista han estado presentes en la teorización de la ciudad.

Las escalas de aproximación académica tienen que reevaluar aspectos como el espacio privado de la vivienda y sus relaciones con el cuidado del cuerpo, así como las relaciones de proximidad de las edificaciones, zonas barriales, las ciudades en toda su extensión (legal y no legal) y las relaciones con la globalidad del territorio que la circunda y de donde obtiene los recursos naturales que la dinamizan.

Los problemas ambientales de la ciudad contemporánea como la contaminación del aire entre otras, se originan en la desarticulación de los procesos naturales y urbanos, así como en el desconocimiento de los beneficios ecológicos y sociales que trae consigo el uso sostenible de los recursos naturales para la salud, la seguridad y el bienestar de los ciudadanos.

La pandemia COVID-19, es un punto de inflexión disciplinar, para reconocer el territorio y la diversidad de formas en que las personas y grupos sociales se hacen a un espacio. La ciudad

informal, a pesar de sus incongruencias legales, guarda en esencia lógicas de apropiación y construcción social del hábitat en nuestras ciudades, y debe ser asumidas como un reto de investigación y praxis profesional, que hagan de estos asentamientos humanos espacios más resilientes ante cualquier eventualidad, que ponga en riesgo la vida de quienes los construye.

Referencias

- Alkire, S., Foster, J., Seth, S., Santos, M., Roche, J., y Ballon, P. (2015). *Medición y análisis de la pobreza multidimensional*. Oxford: Oxford University Press, 82:1–35.
- Blaikie, P., Wisner, B., Cannon, T., y Davis, I. (1994). *At Risk : Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters*. Routledge Publication, London-New York.
- Burke, M. (2020). Covid-19 reduces economic activity, which reduces pollution, which saves lives. GFeed. Recuperado de: <http://www.gfeed.com/2020/03/covid19-reduceeconomic-activity.html>.
- DANE (2018). Boletín técnico: Medida de pobreza multidimensional municipal CNPV. Recuperado de: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/condiciones_vida/pobreza/2018/informacioncensal/btcensalpobrezamunicipal-2018.pdf.
- DANE (2019). Censo Nacional de población y vivienda. Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE. Recuperado de: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-portema/demografiaypoblacion/censo-nacionalde-poblaciony-vivenda-2018>.
- DANE (2020). Boletín técnico: Déficit habitacional. Recuperado de: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-portema/demografia-y-poblacion/deficit-habitacional>.
- Giddens, A. (2007). *Un mundo desbocado, los efectos de la globalización en nuestras vidas*. Taurus, Mexico.
- Glaeser, E. (2011). *El triunfo de las ciudades: Cómo nuestra mejor creación nos hace más ricos, más inteligentes, más ecológicos, más sanos y más felices*. Taurus, Mexico.
- Gouverneur, D. (2015). *Planificación y diseño para futuros asentamientos informales*. Routledge, Londres.
- Lampis, A. (2013). Ciudades intermedias, dinámicas sociales y ordenamiento del territorio en Colombia: Retos y reflexiones. *Cuadernos De Vivienda Y Urbanismo*, Separata: X seminario investigación urbana y regional:1–14.
- Legetic, B., Medici, A., Hernandez, M., Alleyne, G., y Hennis, A. (2017). *Las dimensiones económicas de las enfermedades no transmisibles en América Latina y el Caribe*. Pan American Health Organization and the University of Washington, Washington-EE.UU.

- Leight, J., Moon, S., Garcia, E., y Fitzgerald, G. (2018). Is global capacity to manage outbreaks improving? -an analysis. *Global health Centre working*, 17:1–44.
- López-Borbón, W. (2018). Diversidad informal urbana, intervenciones particulares para asentamientos específicos. *Bitácora Urbano Territorial*, 28(2):135–142.
- OMS (2020). *Actualización De Las Estrategia Frente Al Covid*. OMS, Ginebra-Suiza.
- Schenck, C. J. y Louw, H. (1995). A peoplecentred perspective on peoplecentred community development. *Journal of Social Development in Africa*, 10(2):81.
- Simon, D. (2007). Ciudades y cambio ambiental global: explorando los vínculos. *The Geographical Journal*, 173(1):75–79.
- Torres, C. (2010). Ciudad informal colombiana. *Bitácora Urbano Territorial*, 1(11):53–93.
- Vera, F., Adler, V., Acevedo, P., Rojas, F., Uribe, M., Quintero, M., Huerta, C., Lew, S., Soulier, M., Nacke, M., y Simonez, V. (2020). *¿Qué podemos hacer para responder al COVID-19 en la ciudad informal?* Banco Interamericano de Desarrollo, América Latina y el Caribe.
- Wu, X., Nethery, R., Sabath, B., Braun, D., y Dominici, F. (2020). Exposición a la contaminación del aire y la mortalidad por covid-19 en los estados unidos: un estudio transversal a nivel nacional. *medRxiv*, 1:1–36.

Avances de investigación Unitrópico 2019

Diana M. Medina L.^{1*} y José A. Camargo M.²

Resumen

En 2019 Unitrópico tuvo un avance significativo en el desarrollo de actividades de investigación resultado de la continuidad y consolidación de sus procesos, lo cual se puede evidenciar en el número de investigadores, grupos de investigación categorizados y su respectiva producción científica. Dicho progreso le ha dado a Unitrópico la posibilidad de ser reconocida como una institución académica generadora de nuevo conocimiento con estándares internacionales, lo cual es resultado de la capacidad científica de sus investigadores y sus relaciones académicas externas.

¹Coordinación de Producción y Divulgación de la Investigación, Dirección de Investigación, Unitrópico

²Coordinación Técnica de la Investigación, Dirección de Investigación, Unitrópico

*Correo: dianamedina@unitropico.edu.co

Publicaciones Científicas Unitrópico 2019

Se presentan a continuación los artículos de investigación (13) publicados en el 2019-2020 por investigadores (10) y estudiantes (3) integrantes de los diferentes grupos de Investigación de la Fundación Universitaria Unitrópico.

Grupo de investigación en ciencias básicas aplicación e innovación - CIBAIN

Grupo categoría C

1.) High- T_c superconductivity in H_3S : pressure effects on the superconducting critical temperature and Cooper pair distribution function.

Camargo-Martínez J. A.¹, González-Pedrerros G.I. and Baquero R. *Supercond. Sci. Technology*. 32, 125013 (2019).

<https://doi.org/10.1088/1361-6668/ab4ff9>

Nivel revista: Q1

2.) Effects of Ba doping on the structural and electronic properties of $La_{2-x}Ba_xCuO_4$.

Soto-Gómez E. Y., González-Pedrerros G. I., and **Camargo-Martínez J. A.**. *Physica C: Superconductivity and Its Applications* 568, 1353564 (2020).

<https://doi.org/10.1016/j.physc.2019.1353564>

Nivel revista: Q2

3.) Glucoindole alkaloid accumulation induced by yeast extract in *Uncaria tomentosa* root cultures is involved in defense response.

Correa-Higuera L. J., Sepúlveda-García E. B., Ponce-Noyola T. *et al. Biotechnol. Lett.* 41, 1233–1244 (2019).

<https://doi.org/10.1007/s10529-019-02714-1>

Nivel revista: Q2

Grupo de Investigaciones Biológicas de la Orinoquia - GINBIO

Grupo categoría C

4.) Trypanosoma cruzi infection, discrete typing units and feeding sources among *Psammolestes arthuri* (Reduviidae: Triatominae) collected in eastern Colombia.

Velásquez-Ortiz N., Hernández C., Herrera G., Cruz-Saavedra L., Higuera A., Arias-Giraldo L. M., **Urbano P.**², Cuervo A., Teherán A., and Ramírez J. D. *Parasites and Vectors*, 12(1), 1–11 (2019).

<https://doi.org/10.1186/s13071-019-3422-y>

Nivel revista: Q1

5.) Depredación de nidos y neonatos protegidos de podocnemis vogli (sabanas inundables del casanare).

López-Martínez G., **Rondón-Zabala J.**, Martínez-Parales E., Moya-Arévalo H. y **Rodríguez-Fandiño O.** *Acta biol. Colomb.* 25(3), 1-6 (2020).

<http://dx.doi.org/10.15446/abc.v25n3.80441>

Nivel revista: Q3

6.) Temporal Variation of the Presence of *Rhodnius prolixus* (Hemiptera: Reduviidae) Into Rural Dwellings in the Department of Casanare, Eastern Colombia.

Rincón-Galvis H. J., **Urbano P.**, Hernández C., Ramírez J. D., and Florin D. *Journal of Medical Entomology*, 57(1), 173–180 (2020).

<https://doi.org/10.1093/jme/tjz162>

Nivel revista: Q1

7.) Haemocystidium spp., a species complex infecting ancient aquatic turtles of the family Podocnemididae: First report of these parasites in Podocnemis vogli from the Orinoquia.

González, L. P., Pacheco, M. A., Escalante, A. A., Jiménez

¹Investigador Junior - Minciencias

²Investigador Junior - Minciencias

Maldonado, A. D., Cepeda, A. S., **Rodríguez-Fandiño, O. A.**, Vargas-Ramírez, M. and Matta, N. E. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*, 10, 299–309 (2019).

<https://doi.org/10.1016/j.ijppaw.2019.10.003>

Nivel revista: Q1

Grupo de investigación desarrollo tecnológico e innovación en tecnologías de la información y las comunicaciones - TICTRÓPICO

8.) FísicaTIC, plataforma Hardware-Software para Aplicaciones en Física e Ingeniería.

Chaparro-Mesa J. E., Lombana N. B. y Leon-Socha, F. A. *Scientia et Technica* 24(03), 354–365 (2019).

Nivel revista: Publindex B

9.) AgriculTIC, plataforma web para el desarrollo de procesos agroindustriales a partir de herramientas de Internet of Underground Things (IOUT).

Chaparro-Mesa J. E., Riaño-Herrera J. A., y León- Socha F. A. (2019). *Revista Espacios* 40(37), 7 (2019).

Nivel revista: Q3

Grupo de investigación en identidad, diversidad, género y cultura - DIVERSOS

10.) Sobre los procesos de enseñanza-aprendizaje en el legado de los cantos de trabajo del llano, patrimonio cultural inmaterial de la Orinoquia.

Rivera Salcedo H. y Chaparro Barrera A. *Cultura, Lenguaje y Representación*, 21, 133–156 (2019).

<https://doi.org/10.6035/clr.2019.21.8>

Nivel revista: Q2

Grupo de estudios e investigaciones de Ingeniería civil en la Orinoquia – GEIICO

11.) Vulnerable road users, prioritization of Urban sectors with high accident rates. Review and evaluation of methods.

Rueda Villar, O., Cerquera Escobar, F., and Pérez-Buitrago, G. *Ingeniería Solidaria*, 15(29), 1–26 (2019).

<https://doi.org/10.16925/2357-6014.2019.03.04>

Nivel revista: Publindex C

12.) Análisis de niveles piezométricos y patrones de captación de agua subterránea en el acuífero cuaternario de Yopal, Casanare, Colombia.

Gómez-Niño H. I. *Boletín de Geología*, 42(2), 89-103 (2020).

<https://doi.org/10.18273/revbol.v42n2-2020005>

Nivel revista: Q3

13.) Pronóstico del caudal del río Cravo Sur, sector del Morro - puente La Cabuya, departamento de Casanare, Colombia.

Higuera Infante L. J. y **Rojas Vergara W.** *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 11(1), 92-104 (2020).

<https://doi.org/10.22490/21456453.2840>

Nivel revista: Publindex C

Otras publicaciones 2019

Libro:

El galápagu sabanero: Estudios en búsqueda de su conservación.

Fundación Universitaria Unitrópico - PAREX Resources - Yopal.

Rodríguez-Fandiño, O. A., Unitrópico 2019.

ISBN: 4-0-52049-958-978

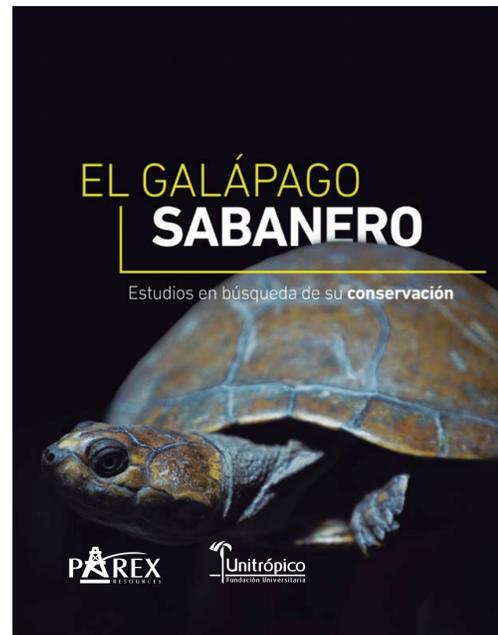


Figura 1. Carátula: El galápagu sabanero: Estudios en búsqueda de su conservación.

Registros de Software 2019

Título: InvestigaTIC, herramientas TIC para la gestión de la investigación.

Autores: Jorge E. Chaparro M. y German J. Rusinque R.

Registro Número: 13-76-281

Fecha: 22-oct-2019

