

Artículo de investigación.

Cómo citar: L. Cárdenas, V. Bastidas, y J. González, "Resiliencia de acuíferos en zonas de posconflicto en Colombia", *Inventum*, vol. 14, no. 27, pp. 15-22. doi: 10.26620/uniminuto.inventum.14.27.2019.15-22

Editorial: Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO.

ISSN: 1909-2520  
eISSN: 2590-8219

Fecha de recibido: mayo 01 de 2019  
Fecha de aprobado: junio 30 de 2019  
Fecha de publicación: septiembre 01 de 2019

Conflicto de intereses: los autores han declarado que no existen intereses en competencia.

## Resiliencia de acuíferos en zonas de posconflicto en Colombia

### Aquifer Resilience in Post-Conflict Zones in Colombia

### Resiliência do Aquífero em Zonas Pós-Conflito na Colômbia

#### Resumen

Esta investigación que abarca dos fases, inicialmente busca la apropiación del término de "resiliencia" a los acuíferos en zonas de posconflicto. Hoy en día, existen distintas aplicaciones de este término a diferentes ramas de las ciencias, pero aún, no hay una caracterización propia asociada a los acuíferos. ¿Cómo se puede apropiar este concepto a los acuíferos? ¿Existe alguna incidencia directa e indirecta del posconflicto a este concepto de resiliencia? ¿Cómo puede cuantificarse este concepto? Pues bien, este artículo dará respuesta a los dos primeros interrogantes que hacen parte de la fase inicial, en donde se usará una metodología de tipo descriptivo-cualitativo a través de exploración de documentos y trabajo de campo. Una vez aplicada dicha metodología, se podrá tener claridad del concepto de resiliencia en acuíferos y su incidencia con el posconflicto en Colombia, especialmente la zona de Puerto Boyacá, para luego, entrar en una fase dos de elaboración de matrices EIA y modelación que darán respuesta al interrogante tres en otro documento.

**Palabras clave:** resiliencia, posconflicto, acuífero, Puerto Boyacá.

#### Abstract

This two-phase research initially seeks the appropriation of the term "resilience" to aquifers in post-conflict zones. Today, there are different applications of this term to different branches of science, but still, there is no characterization associated with aquifers. How can this concept be appropriated to aquifers? Is there any direct and indirect impact of post-conflict to this concept of resilience? How can this concept be quantified? Well, this article will answer the first two questions that are part of the initial phase, which will use a descriptive-qualitative methodology through document exploration and field work. Once this methodology has been applied, the concept of resilience in aquifers and its impact on post-conflict Colombia, especially the area of Puerto Boyacá, will become clear, and then enter a phase two of EIA matrices and modeling that will answer question three in another document.

**Keywords:** resilience, post-conflict, aquifer, Puerto Boyacá.

**Laura Cárdenas**

<https://orcid.org/0000-0002-0674-7776>  
laura-cardenas4@upc.edu.co  
Universidad Piloto De Colombia, Colombia.

**Valentina Bastidas**

<https://orcid.org/0000-0002-2944-7776>  
valentina-bastidas@upc.edu.co  
Universidad Piloto De Colombia, Colombia.

**Jeremy González**

<https://orcid.org/0000-0002-1332-1386>  
jeremy-gonzalez@upc.edu.co  
Universidad Piloto De Colombia, Colombia.



### Resumo

Esta pesquisa em duas fases visa inicialmente a apropriação do termo “resiliência” para aquíferos em zonas pós-conflito. Hoje em dia, existem diferentes aplicações deste termo a diferentes ramos da ciência, mas ainda assim, não existe uma caracterização associada aos aquíferos. Como pode este conceito ser apropriado aos aquíferos? Existe algum impacto direto e indireto do pós-conflito a este conceito de resiliência? Como pode este conceito ser quantificado? O presente artigo visa responder às duas primeiras questões que fazem parte da fase inicial, onde uma metodologia descritiva-qualitativa foi utilizada através da exploração de documentos e trabalho de campo. Uma vez que esta metodologia seja aplicada, o conceito de resiliência em aquíferos e seu impacto na Colômbia pós-conflito, especialmente na área de Puerto Boyacá, torna-se mais claro, e então entramos na fase dois de matrizes e modelagem de AIA para responder a questão três em outro documento.

**Palavras-chave:** resiliência, pós-conflito, aquífero, Puerto Boyacá.

## I. INTRODUCCIÓN

Puerto Boyacá es un municipio del departamento de Boyacá - Colombia, un municipio golpeado por los conflictos armados que ha tenido Colombia en el transcurso de su historia, como el conflicto con el paramilitarismo y la guerrilla de las Farc; Puerto Boyacá hace parte del Magdalena Medio boyacense y se localiza sobre la margen derecha del río Magdalena. El municipio de Puerto Boyacá es parte de una cuenca sedimentaria conocida en Colombia como Cuenca del Valle del Magdalena Medio y su configuración es continental, con predominio de los ciclos de sedimentación y tectónica.

Las aguas subterráneas son las que están alojadas y circulan en el subsuelo, conformando los acuíferos. El acuífero principal de Puerto Boyacá está compuesto por la formación meseta, que es un sistema de acuífero de aluviones, aflora regionalmente, siguiendo en el curso del río Magdalena;

litológicamente se caracteriza porque en su nivel geoelectrico más superior presenta arenas finas y limos y la parte media por tener material más grueso como lo son las gravas. Hidrogeológicamente se presentan acuíferos libres a semiconfinados.

Se evidenció que el volumen de extracción anual de agua subterránea excede la recarga, lo cual indica que el acuífero de formación de mesa está sobreexplotando en las cercanías de Puerto Boyacá y que la tasa de bombeo actual no se aborda de manera sostenible. De acuerdo con el balance hídrico se infiere que la recarga anual es de aproximadamente 128.096 metros cúbicos. Este valor inferior a la descarga anual se extrae por pozos, que es de aproximadamente 3'709.850 metros cúbicos.

El municipio de Puerto Boyacá, abastece el sistema de acueducto a través de 8 pozos profundos perforados, que se encuentran entre 218 metros y 90 metros de distancia del acuífero [1].

Figura 1. Límites del municipio de Puerto Boyacá



Fuente: tomado y adaptado de Google.maps

<https://www.google.com/maps/place/Puerto+Boyac%C3%A1,+Boyac%C3%A1/@5.9743349,-74.6017236,14z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x8e41682c95f3b1a9:0x80d5faba6a84a426!8m2!3d5.977237!4d-74.593395>

La forma como la violencia ha afectado a esta zona de Colombia sumada a los distintos factores asociados al abastecimiento de agua a partir de los acuíferos permite, a la luz de este trabajo, analizar la capacidad de resiliencia a partir de métodos difusos que, en un primer plano, requieren de una conceptualización y descripción cualitativa que se muestra en este artículo.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

En esta investigación se busca cuantificar la resiliencia aplicada en ingeniería civil, específicamente al escenario de los acuíferos en zonas de posconflicto en Colombia para lo cual, en una primera fase se desarrollará un estado del arte y evolución histórica del concepto de resiliencia, para en una segunda fase, realizar una descripción conceptual de la forma como la población de Puerto Boyacá, Colombia, una zona reconocida como de posconflicto, se ha venido recuperando después de la confrontación armada y cómo se ha adaptado con los acuíferos presentes en la zona. Finalmente, en una tercera fase se abordará el concepto de resiliencia aplicado al acuífero de Puerto Boyacá como caso de estudio, de tal suerte que, se estime

cuantitativamente este concepto en función de las condiciones propias de la zona y otras variables difusas derivadas de los efectos del cambio climático entre otras. Es de anotar que el presente artículo contiene el desarrollo y resultados de la primera fase del proyecto de investigación.

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Colombia es un país que ha vivido en guerra de más de 40 años de su historia, en el año 2016 se firmó el acuerdo de paz con la guerrilla de las FARC (Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia), con este acuerdo, en muchas regiones de Colombia se sintió la tranquilidad que en su momento tanto se anhelaba. A finales del 2016 se construyó en Puerto Boyacá un monumento en memoria de las víctimas, donde el alcalde municipal afirmó lo siguiente:

“Reparar de manera simbólica el daño que sufrieron las víctimas del paramilitarismo y reivindicar la memoria de sus muertos. Es una forma de decir que el país está cansado del conflicto y que las armas que un día se levantaron contra sus seres queridos no volverán a dispararse nunca más” Oscar Botero [2].

Figura 2. Gobierno de Colombia y las FARC logran conciliar con el nuevo acuerdo de paz



Fuente: El País, 13 de noviembre de 2016. Disponible en: [https://elpais.com/tag/proceso\\_paz\\_colombia/a](https://elpais.com/tag/proceso_paz_colombia/a)

Cabe mencionar que el municipio de Puerto Boyacá fue considerado como la capital paramilitar de Colombia, dado a los conflictos entre las FARC y los paramilitares, que dejaron miles de muertos, entre víctimas y combatientes; quizás se considere que en este municipio la paz se comenzó a sentir después del acuerdo de paz con los paramilitares, pero dado a que era un municipio en medio de un conflicto entre las guerrillas mencionadas, se puede decir que después del último acuerdo se ha generado más confianza en la población y progreso. En cuanto a los acuíferos presentes se puede concluir que, a causa del conflicto en el municipio de Puerto Boyacá, los grupos armados realizaban pozos ilegales (pozos elaborados sin la autorización administrativa) en sus campamentos los cuales no tienen control, ni supervisión por parte de las administraciones para saber cuánta agua se está extrayendo. La explotación de las aguas subterráneas produce descenso del nivel piezométrico en el entorno inmediato de los pozos, aumento de los costos de explotación, deterioro de la calidad del agua y abandono de pozos.

### A. Antecedentes históricos del concepto de resiliencia

El término o la palabra *resiliencia*, según la Real Academia Española (RAE) se define como la capacidad de adaptación de un ser vivo frente a un agente perturbador o un estado o situación adversos. También la definen como la capacidad de un material, mecanismo o sistema para recuperar su estado inicial cuando ha cesado la perturbación a la que había estado sometido. Esto mismo se encuentra en el diccionario de Cambridge el cual define la palabra como la capacidad de ser feliz o exitoso nuevamente, después de que algo difícil o malo haya sucedido; o la capacidad de una sustancia para volver a su forma habitual después de ser doblada, estirada o presionada. Entendido lo anterior, y en palabras propias, la resiliencia es fortaleza con la que se asume o enfrentan problemas.

Se dice que a partir del 2010 la palabra resiliencia se hizo conocida por el discurso del cambio climático y que se ha usado dicho término desde 1845, acomodándolo a las escuelas de pensamiento, como la resiliencia en ecosistemas, en materiales, la resiliencia social, entre otros.

La resiliencia como cualquier otro término tiene un origen y un campo de aplicación, y es aquí donde se sitúa el concepto, comenzando con la significación

según la real academia. En términos físicos, tiene su etimología proveniente del latín *resilio* y es preponderantemente empleada en el campo de la física para denominar el proceso por el cual un material vuelve a su estado anterior, esto significa volver, rebotar, saltar hacia atrás, ser repelido o surgir. Y fue de donde los psicólogos sacaron el término y empezaron a usarlo en su ámbito laboral, solo que para psicología resiliencia es: cómo se adapta la persona ante las dificultades que se le presentan; y lo que lo diferencia de las demás ramas de estudio es que agregan que la persona sale más fortalecida, desarrolla habilidades que no conocía, se hace más fuerte, especialmente en la resiliencia infantil, que tiene dos subcategorías y que surgió en el año 1940 aproximadamente, de acuerdo al psicoterapeuta infantil José Luis Gonzalo Marrodán.

La resiliencia está asociada con la vulnerabilidad y llegó, incluso, a ser desarrollada por Engels, en 1845, cuando se refirió a la vulnerabilidad de la clase obrera. Fue propuesta de manera explícita como forma o medio de respuesta ante los desastres y se maneja en la escuela ecologista desde mediados del siglo XX [3].

El orden de adaptación del concepto transcurre en más o menos 70 años, pasando además por la resiliencia de materiales, en ingeniería, por ejemplo, comportamiento resiliente de materiales granulares en pavimentos flexibles que son las deformaciones que este tiene y que pueden ser resilientes o permanentes; también se ha hablado de la resiliencia de ecosistemas, que se basa en la demanda y disponibilidad del agua para decidir dónde se ubicará una población, lo cual se empieza a investigar hacia los años 60, y se enlaza con el urbanismo, al decidir en dónde es más seguro ubicar a una población, qué sitio cumple con determinadas especificaciones y qué tan preparados están los sistemas ante cualquier catástrofe natural, para que su magnitud sea menor y su recuperación sea en el mínimo tiempo posible.

Luego de esto, se han seguido integrando ramas como la social y la ecológica para hablar de cambio climático, que es la base para iniciar esta investigación.

La evolución de este concepto ha sido tanta hoy en día, que hasta se ha llegado a usar en términos computacionales, como la capacidad para minimizar los ataques informáticos ya que todas las organizaciones son vulnerables a la seguridad de su



información; se usa el término ciberresiliencia, y es tomar conciencia de su nivel de seguridad para poder así conocer los problemas con los que cuentan.

La Computer Emergency Response Team (CERT) tiene un modelo de gestión de la resiliencia - CERT, que es el primer modelo conocido en el ámbito de la seguridad y la continuidad informática; también, se dio a conocer la ANSI / ASIS SPC.1-2009, que es la Norma Nacional Americana sobre Resiliencia Organizacional: seguridad, preparación, y sistemas de gestión de continuidad la cual fomenta la preparación ante incidentes que afecten las organizaciones.

La resiliencia es un concepto de funcionalidad incrementada en los últimos años que lleva consigo un enfoque en exponer resultados favorables sobre su aplicación en los diferentes ámbitos, mediante estudios realizados de manera internacional, nacional y local dentro de los marcos cualitativo y cuantitativo.

En un principio, este concepto se logra ver muy afín con la rama de la psicología, donde influye con un agregado en el campo social y se logra ver como la capacidad que tiene un individuo o persona de acoplarse a ciertas circunstancias que conlleven grandes niveles de dificultad, y el hecho de que a pesar de ello vuelva a su estado natural.

Según un artículo de resiliencia, espiritualidad y propósito de vida, en una revisión del arte, se encontró que la resiliencia se evalúa con base en cierta información que se logra recopilar de los diferentes estudios realizados, principalmente los más recientes; “todo en el marco de la psicología positiva, el objetivo de las investigaciones en resiliencia está apuntado a realzar los actores de protección para ayudar a la gente a ser más resiliente (Pan y Chan, 2007)” [4]. Lo anterior debido a que esta se identifica como un aspecto que actúa siempre en función de la protección interior (profunda) y exterior (superficial) del sujeto involucrado.

Para la seguridad informática, la resiliencia funciona como una capacidad enfocada en minimizar las posibles amenazas (peligros) a las que se exponen este tipo de organizaciones informáticas, en este caso utilizada como ciberresiliencia; un término que se define como “la capacidad de adaptarse a las condiciones cambiantes y prepararse para resistir y recuperarse rápidamente de una interrupción” [5]. Este término, ciberresiliencia, destaca dos grandes factores: equilibrio y seguridad, ambos

en el equipamiento de la organización respectiva, que garantizan autenticidad, confidencialidad, disponibilidad, integridad y no repudio. Sin embargo, se tiene como resultado que a la hora de ejecutar la ciberresiliencia, la seguridad no será en su totalidad efectiva, no obstante con esta se obtiene una reacción de mayor efectividad teniendo en cuenta el cambio de la cultura con respecto a la información digital y el favorecimiento en el desarrollo estratégico donde se implementa la prevención, preparación, detección, respuesta y recuperación que contribuye en dicha capacidad a resistir, responder y recuperar a la hora de presenciar un suceso amenazante.

## *B. Resiliencia: campos de aplicación*

Su participación en el sistema socio-ecológico se da con el fin de medir el soporte de un sistema a la hora de enfrentar algún tipo de adversidad. Un ejemplo de ello, ha sido el estudio realizado en China continental donde se evaluó la resiliencia socio-ecológica (SES) a partir del deterioro presentado en su sistema ecológico por el gasto excesivo en los recursos debido al consumo de la energía, no sin antes basarse en tres objetivos principales o factores importantes para su ejecución: “1. Establecer un modelo teórico para evaluar la resiliencia de los SES. 2. Comprender las correlaciones entre la vulnerabilidad y la capacidad de respuesta y la resiliencia. 3. Analizar el desarrollo de SES en 31 regiones provinciales de China continental” [6]. Lo anterior, aplicando el marco cuantitativo mediante una relación lineal cuadrática que hace partícipes a un factor impulsor y la resiliencia, un método que puede ser ejecutado de forma general, en el que las dos variables allí involucradas se acoplan al medio que se desea cuantificar.

Dentro del sistema ecológico se puede ver la resiliencia climática como la capacidad de preparación que hay en un ambiente al enfrentamiento con la diversificación del cambio climático, donde se hace necesaria una serie de conocimientos estratégicos que brinden el mayor provecho a su desarrollo; tales como las nuevas formas de conectar, aprovechar y apoyar a los colaboradores regionales de respuesta al clima, creando un mejoramiento en la resiliencia climática [7].

Cuando se trata de la sostenibilidad de una ciudad, es necesario recurrir al concepto de la resiliencia aplicada al urbanismo (resiliencia urbana), siendo esta la capacidad en la que los entes

organizacionales ejecutan ciertos mecanismos de protección-reacción antes, durante y después de algún tipo de alteración presentada en un proceso dado.

Para dar ejemplo de ello, se destaca la ejecución de un estudio en la ciudad de Batan (Noreste de Argelia) en el que se toma un caso de acoplamiento en actividades industriales al sector urbano, sistema en el cual se utilizan modelos de información espacio-temporales (MADS), que permiten una visión real del territorio con todos los actores de la gestión del riesgo y de la intervención a través de una representación común del espacio que necesita orientarse hacia un desarrollo urbano sostenible en el contexto de un proyecto territorial [8]. Esta medición, desde una perspectiva geográfica, da lugar a las necesidades de los entes involucrados, y permite así el desarrollo de la zona urbana favoreciendo su resiliencia.

Por otra parte, el concepto de la resiliencia urbana se puede ver abordado en el ámbito de la afectación en recursos naturales, primordialmente el agua, donde en Toluca, Ciudad de México, en una tesis para obtener el grado de doctor en Urbanismo, se presenta dicho factor como un medidor de resiliencia urbana, ya que es el soporte para decidir dónde hacer el desarrollo de las civilizaciones, puesto que se elige la ubicación de las fuentes más cercanas de agua para poder trabajar en actividades agropecuarias e industriales, teniendo en cuenta el hecho de que se pueda cumplir con la demanda de los habitantes [9].

De otro lado, existe un comportamiento resiliente de materiales granulares en pavimentos flexibles en donde: “el pavimento flexible presenta deformaciones resilientes (recuperables) y permanentes (plásticas), de modo que las investigaciones se concentran en el desarrollo de ecuaciones matemáticas que predicen la evolución de la deformación resiliente y de las variables asociadas a la rigidez elástica del material (módulo resiliente  $M_r$ , módulo volumétrico  $K$  y el de cortante  $G$ ) cuando experimentan diversas trayectorias de carga cíclica” [10]. Algunas de las fórmulas usadas son no lineales y se dice que la deformación permanente es pequeña con la resiliente. En este artículo se presentan de manera resumida, los diferentes factores que operan en dicho comportamiento, resultados teóricos y experimentales de estudios llevados a cabo para evaluar el comportamiento resiliente de los materiales granulares empleados para conformar capas de base y sub-base en estructuras.

En humedales, según un artículo realizado en el centro-oeste de Florida la resiliencia se mide mediante un análisis de las propiedades del suelo de modo que: “sus características pueden ser cruciales para determinar la resiliencia de los humedales” [11]. Para dicho caso por acción del bombeo en aguas subterráneas, los humedales se ven gravemente afectados y es por ello que se ejecuta un estudio en el que se realiza un proceso de comparación entre el carbono orgánico del suelo y sus propiedades, así como con los indicadores biológicos de los mismos para obtener su resiliencia.

Finalmente, aparecen otros campos de aplicación en donde la resiliencia, aparece como un factor clave para el desarrollo del ser humano: “es necesario distinguir qué factores como el apoyo social, las creencias espirituales, la autotrascendencia, optimismo, autoestima, autoeficacia, autocontrol, sentido y propósito en la vida y el afecto positivo son variables que favorecen y modulan la resiliencia sirviendo como factores de protección” [12].

## REFERENCIAS

- [1] E. Monroy, *Introducción a la formulación de planes de manejo y protección de acuíferos*, Tunja, Colombia: Universidad Santo Tomás, 2010.
- [2] (2018, dic. 29). “Puerto Boyacá, ‘Capital de la Reconciliación’, estrena monumento a víctimas del conflicto”, *Extra*. Disponible en: <http://boyaca.extra.com.co/noticias/nacional/puerto-boyaca-capital-de-la-reconciliacion-estrena-monumento-490946>
- [3] D. Devia, *Plan de acción para la reducción del riesgo y la optimización de la resiliencia a los desastres en el municipio de Villeta, Cundinamarca* tesis de pregrado, Facultad de Ciencias Ambientales, Programa en Administración y Gestión Ambiental, Universidad Piloto De Colombia, Bogotá, 2015.
- [4] J. Irurzun y C. Yaccarini, “Resiliencia, espiritualidad y propósito de vida. Una revisión del estado del arte”, *PSOCIAL*, vol. 4, n°. 2, pp. 59 - 62, 2019. En línea]. Disponible en: <https://publicaciones.sociales.uba.ar/index.php/psicologiasocial/article/view/58/2805>.
- [5] A. Pinilla, “Resiliencia en la seguridad informática”, 2015 [En línea]. Disponible en: <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00002215.pdf>

- [6] M. Hul, J. Zhangl y J. Huang, “Assessing social-ecological system resilience in Mainland China”, *Research center for Eco-Environmental Sciences*, vol. 27, n°. 3, pp. 1085-1087, 2018. doi: 10.15244/pjoes/76242.
- [7] K. Averyt, J. Derner, L. Dilling, R. Guerrero, L. Joyce, S. McNeeley, E. McNie, J. Morissette, D. Ojima, R. O’Malley, D. Peck, A. Ray, M. Reeves y W. Travis, “Regional climate response collaboratives: multi-institutional support for climate resilience”, *Bulletin of the American meteorological society*, vol. 99, pp. 896-897, 2018 [En línea]. Disponible en: <http://web.a.ebscohost.com.ezproxy.unipiloto.edu.co/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=7&sid=e043b436-d25e-49a6-b541-e7946a61a3e5%40sessionmgr4009>.
- [8] Y. Habibi y M. Kalla, “The proximity of city - industrial estate in the town of Batna (north east of Algeria) management of major technological risks through an integrated approach to urban resilience”, *Annals of the University of Oradea, Geography Series / Analele Universitatii din Oradea, Seria Geografie*, vol. 28, n°. 1, pp. 19-27, 2018. [En línea]. Disponible en: <http://web.a.ebscohost.com.ezproxy.unipiloto.edu.co/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=4&sid=e043b436-d25e-49a6-b541-e7946a61a3e5%40sessionmgr4009>.
- [9] M. Vázquez, “La resiliencia urbana: un análisis de la demanda y disponibilidad del agua potable en los municipios de Lerma de Villada y San Mateo Atenco”, tesis doctoral en urbanismo, Universidad autónoma del estado de México, Toluca, México, Julio de 2018.
- [10] H. Rondón y F. Reyes, “Comportamiento resiliente de materiales granulares en pavimentos flexibles: estado del conocimiento”, *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 6, n°. 11, pp. 65-82, 2007. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/206>.
- [11] K. Moore, J. Wynn, M. Rins, M. Stewart y S. Emery, “Soil indicators of hydrologic health and resilience in cypress domes of West-Central Florida”, *Ecological Indicators*, vol 97, pp. 269-279, 2019. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.10.008>.
- [12] E. R. Vargas, J. Monroy, Juan Pablo Gonzalez Galviz, and Victor Manuel Peñaranda. “Hydrogeological conceptual model of the Puerto Boyacá’s aquifer”. *Ingenio Magno*, vol. 2 n°. 1 , 2011.