



ESTADO DEL ARTE DE LA CALIDAD DEL AGUA TERMAL

Yuly Sánchez, Luis Rodríguez Cheu

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
Bogotá, Colombia

Resumen

En este artículo se muestra el estado del arte de la calidad del agua termal. Los estudios referentes al tema en Colombia son limitados, por lo cual se consultó bibliografía no solo a escala nacional sino internacional, y se evidenció que existe regulación para microorganismos patógenos. La normativa revisada no permite la alteración de las características naturales del agua termal, solo una renovación del agua, lo que limita el tratamiento.

Investigaciones realizadas en tratamientos de agua termal con ozono, rayos UV, electrólisis y nanotecnología muestran limitaciones en el control de los microorganismos patógenos.

Palabras clave: aguas termales; balnearios naturales; calidad; desinfección y tratamiento

Abstract

This article shows the state of the art of thermal water quality, whose studies are limited in Colombia. Therefore, a literature review was performed, not only at the national level but also at the international level, where regulation for pathogenic microorganisms was found to exist. Those regulations do not allow the alteration of the natural characteristics of the thermal water, only its renewal, limiting the treatment of these waters.

Research carried out on thermal water treatments without affecting its medicinal mineral composition, such as: Ozone, UV rays, electrolysis, and nanotechnology show limitations in controlling pathogenic microorganisms.

Keywords: *thermal waters; natural spas; quality; disinfection and treatment*

1. Introducción

Las aguas termales en Colombia se usan con fines recreativos, terapéuticos y medicinales. Se les atribuyen beneficios para la salud al mejorar la presión sanguínea y la oxigenación, y se utilizan en el tratamiento de enfermedades reumáticas, respiratorias y de la piel. Sin embargo, la normativa para establecer los estándares mínimos de calidad del agua termal en Colombia se encuentra en proyecto de ley (Sánchez, Y., & Chivata, N., 2017) y no existe un sistema de tratamiento.

Las propiedades beneficiosas de las aguas termales están relacionadas con su composición natural específica, caracterizadas por componentes químicos, físicos y biológicos (Romano Spica V., 2017).

En algunos balnearios naturales que utilizan agua termal y minerales puede que no sea posible tratar el agua de forma habitual (es decir, mediante reciclaje o desinfección) porque los agentes que se consideran beneficiosos, como el sulfuro, serían eliminados o deteriorados. Además, las sustancias químicas de origen geológico en algunos tipos de aguas termales profundas y pozos artesianos (como las sustancias húmicas y el amonio) pueden obstaculizar el efecto de los desinfectantes cuando estas aguas se utilizan para llenar piscinas sin ningún tipo de tratamiento previo (WHO, 2006).

El estado del arte que se presenta a continuación se enfoca en los indicadores microbiológicos de calidad del agua termal, el tratamiento del agua en caso de la presencia de indicadores de contaminación y la normativa existente.

2. Metodología

Para realizar el estado del arte de la calidad de las aguas termales se consultaron varias fuentes bibliográficas referentes al tema en las bases de datos Scopus, Google Scholar, Springer Link, Science Direct y Google, y se utilizaron los criterios de búsqueda *thermal water* y *hot spring*. Se encontraron más de cien artículos, fuentes bibliográficas de libros y trabajos de grado referentes al tema de aguas termales, que principalmente se enfocaban en el valor terapéutico y la exploración de las aguas termales, el aprovechamiento de las aguas termales, la hidrogeoquímica del agua termal y el turismo.

Por lo anterior, se hizo una clasificación con las siguientes palabras claves: calidad del agua termal y tratamiento del agua termal, con las que la búsqueda se redujo a casi 40 artículos referentes al tema. Después se construyó una gran matriz en el programa computacional de Excel, donde se clasificó la información por título, autor, resumen, metodología, conclusiones, bibliografía y el enlace para la localización del artículo.

A partir de la lectura de cada abstract se hizo una clasificación para responder a la pregunta de investigación "¿Se realiza algún control a la calidad del agua termal en Colombia?". No todos los artículos hacían referencia a la calidad del agua termal sino a calidad y tratamiento de

centrales de energía o *spa* de aguas termales, por lo cual la información se depuró a estudios microbianos en aguas termales y diferentes tipos de tratamiento en aguas termales para la bibliografía del presente artículo.

Así mismo, se construyó una hoja de Excel de solo normativa acerca de la calidad de aguas termales que incluyó país, nombre de la norma y enlace, y se realizó la consulta en Google.

3. Estado del arte

Las aguas mineromedicinales se utilizan en los balnearios con fines no solo recreativos sino terapéuticos y medicinales, por lo cual deben tener ausencia de bacterias que indiquen contaminación fecal y de microorganismos patógenos que puedan transmitirse por vía oral o tópica.

3.1 Organismos patógenos de las aguas termales: en la revisión bibliográfica de la Organización Mundial de la Salud, bibliografía científica, libros referentes a aguas termales y regulaciones internacionales se identificaron los principales microorganismos patógenos que pueden estar presentes en los balnearios de aguas naturales:

Legionella spp. 1: Son bacterias heterótrofas que se encuentran en una amplia gama de ambientes acuáticos y pueden proliferar a temperaturas superiores a 25 °C. Pueden estar presentes en grandes cantidades en balnearios naturales que utilizan agua termal, y crecer en áreas principales (WHO, 2006).

La bacteria de *Legionella pneumophyla*, está asociada a una enfermedad respiratoria, denominada legionelosis (AWWA).

Pseudomona aeruginosa: es una bacteria aerobia, no formadora de esporas, móvil, gramnegativa, recta o ligeramente curva, con dimensiones de 0,5–1 µm × 1,5–4 µm. Es ubicada en el agua, la vegetación y el suelo. Si bien los humanos infectados son la fuente predominante de *Pseudomona aeruginosa* en piscinas y *jacuzzis*, el ambiente circundante puede ser una fuente de contaminación. En las piscinas, el efecto primario de salud asociado con *Pseudomona aeruginosa* es la otitis externa o la oreja de nadador, aunque también se ha informado de foliculitis (WHO, 2006).

Staphylococcus aureus: el género *Staphylococcus* comprende cocos grampositivos no móviles, no formadores de esporas y no encapsulados (0.5-1.5 µm de diámetro) que fermentan la glucosa y crecen de forma aeróbica y anaeróbica. Se cree que la presencia de *S. aureus* en piscinas ha provocado erupciones cutáneas, infecciones de heridas, infecciones del tracto urinario, infecciones oculares, otitis externa, impétigo y otras infecciones. (WHO, 2006).

Escherichia coli O157: son varillas pequeñas, móviles, que no forman esporas, gramnegativas y facultativamente anaeróbicas. Fermentan la glucosa y la lactosa. A diferencia de la mayoría de *E. coli*. *E. coli* O157 no produce glucuronidasa, ni crece bien a 44.5 °C, causa diarrea no sanguinolenta y síndrome hemolítico urémico. Otros síntomas incluyen vómitos y fiebre en casos más severos (WHO, 2006).

Candida albicans: es un hongo dimórfico perteneciente al *Phylum ascomycota* que presenta pseudohifas, hifas y blastoconidios subesféricos (3-8 x 2-7 μm). Este saprobio coloniza la vagina y los tractos digestivo y respiratorio humanos. Puede infectar piel, uñas y membranas mucosas, pero la presentación diseminada que se desarrolla en pacientes inmunodeprimidos es la complicación más seria de la enfermedad (Vircell, s.f).

Mohos y levaduras: microorganismos eucariotas aerobios; sus valores elevados apuntan problemas de higiene, limpieza y contaminación ambiental (Andueza, 2014). Su temperatura ideal de desarrollo es de 25 °C. Aunque los mohos no siempre son peligrosos para la salud, pueden producir infecciones (micosis).

Streptococos fecales: cocos grampositivos que se agrupan en parejas o en cadena. Generalmente son inmóviles, no esporulados, catalasa negativos, microaerófilos o anaerobios facultativos; habitan en la laringe y la faringe y pueden incluso llegar a los pulmones. Los *Streptococcus* fecales son indicadores de contaminación fecal tanto en alimentos como en agua (Higieneialiments, 2011).

Coliformes totales: son bacilos gramnegativos, aerobios y anaerobios facultativos, no esporulados. De este grupo forman parte varios géneros: *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Citrobacter*, etc. Se encuentran en el intestino del ser humano y de los animales, y también en otros ambientes: agua, suelo, plantas, cáscara de huevo, etc.

Bacterias aerobias: se encuentran comúnmente en el entorno, sea en agua, aire, tierra, superficies; viven gracias al oxígeno, sin distinción, lo que permite conocer la carga bacteriana que contiene un alimento, una superficie, una cantidad determinada de agua o que hay en el aire (Asap Laboratorio, s.f).

Bacterias heterótrofas: se caracterizan por absorber azúcares del ambiente, debido a que no pueden producirlas por sí mismas. Cumplen un papel protagonista en el proceso de descomposición y desnitrificación. Las exoenzimas producidas por este tipo de bacterias llegan a descomponer hasta las moléculas más difíciles, como la queratina y la celulosa (Tiposde.com, s.f).

La presencia de *coliformes*, *streptococos*, *E. coli* son indicadores de contaminación que suponen un claro riesgo sanitario pues son gérmenes patógenos, así como la *Pseudomona aeruginosa*. Por esto, la detención de estos microorganismos en el agua obliga a hacer mejoras de carácter inmediato para su eliminación y de prevención para neutralizar las causas de tal contaminación (Oliver et al., s.f).

3.2 Reglamentación nacional e internacional de calidad del agua termal

En Colombia, las aguas termales tienen una reglamentación sujeta a lo establecido por el Ministerio de Salud y Protección Social para las características físicas, químicas y microbiológicas del agua, como lo establece el parágrafo del artículo 6 del Decreto 554 de

2015: “Los parámetros generales físico-químicos y microbiológicos del agua no serán exigibles a los estanques que almacenen aguas termales y de usos terapéuticos. El Ministerio de Salud y Protección Social definirá dichos parámetros”.

El proyecto de ley de la normativa sobre aguas termales (Ley 62 de 2015) no hace referencia a parámetros físicos-químicos y microbiológicos de aguas termales, ni tratamiento del agua, por lo que se convierte en un campo sin explorar en Colombia, en el que se requiere una legislación que supervise la calidad de las aguas y las medidas de control en las instalaciones donde se presten servicios con piscinas de aguas termales.

Por lo anterior, se consultó la normativa internacional para identificar las principales restricciones de microorganismos patógenos que afectan la calidad del agua termal para balnearios naturales (tabla 1).

Tabla 1. Normativa internacional de algunos países sobre microorganismos patógenos en aguas termales

PAÍSES	ESPAÑA			CUBA	OMS
	Galicia	Cataluña	Murcia	Estatal	Mundial
NORMATIVA	Orden del 5 de noviembre de 1996	Decreto 271 del 9 de octubre de 2001	Decreto 55 del 11 de julio de 1997	NC 93-09:85 NC 93-28:88	Directrices para ambientes de aguas recreacionales seguras, volumen 2, año 2006
PARÁMETROS					
Heterótrofos	Exentas de microorganismos indicadores de contaminación fecal (<i>Escherichia coli</i> y estreptococos fecales), así como de microorganismos y parásitos patógenos. La Consejería de Sanidad y Servicios Sociales podrá fijar otros parámetros que estime oportunos.	Ausencia de microorganismos patógenos, especialmente de <i>Legionella pneumophila</i> , y que incluya el seguimiento de microorganismos indicadores de contaminación fecal.		100- 10000 UFC-ml (**)	
Bacterias aerobias			— (en 1 ml) (*)	(***)	
Mohos y levaduras			100 ufc/ 1 g o 1 ml	—	
Coliformes totales			Ausencia en 1g o 100 ml	—	
Escherichia coli			Ausencia en 1g o 100 ml	< 2.2 NMP/100 ml	
Estreptococos fecales			Ausencia en 1g o 100 ml	< 2.2 NMP/100 ml	
Staphylococcus aureus			Ausencia en 1g o 100 ml	(***)	
Pseudomona Aeruginosa			Ausencia en 1g o 100 ml	< 2.2 NMP/100 ml	Semanal <10 UFC/100 ml
Candida albicans			Ausencia en 1g o 100 ml	—	
Legionella pneumophila			— (en 1 l) (*)	(***)	

Fuente: Sanchez, Y.

(*) A la vista de los resultados obtenidos, la Dirección General de Salud indicará, en su caso, las medidas por adoptar.

(**) Este análisis se refiere al conteo total de bacterias a 37 °C y 20-22 °C.

(***) Cuando la fuente se vaya a utilizar por primera vez se medirá *Aeromonas*, *Salmonella*, *Vibrio cholerae*, *Shigella*, *Staphylococcus aureus*, *Legionella*, *Mycobacterium* *Guardia* y *Entenovirus*, mediante análisis cualitativo de estos parámetros.

3.3 Reglamentación nacional e internacional de tratamiento del agua termal

Se consultó la normativa para evaluar los sistemas de tratamiento que se reglamentan para el control de los microorganismos patógenos (tabla 2).

Tabla 2. Normativa internacional de algunos países en el tratamiento de aguas termales

ESPAÑA			CUBA	OMS
Galicia	Cataluña	Murcia	Estatal	Mundial
Orden del 5 de noviembre de 1996	Decreto 271 del 9 de octubre de 2001	Decreto 55 del 11 de julio de 1997	NC 93-09:85 NC 93-28:88	Directrices para ambientes de aguas recreacionales seguras, volumen 2, año 2006
TRATAMIENTO DEL AGUA TERMAL				
Los establecimientos balnearios que utilicen las aguas mineromedicinales o termales para usos terapéuticos para baños colectivos deberán garantizar la renovación de la totalidad del agua en el tiempo adecuado.	Un programa de tratamiento del agua utilizada en el que deberán constar los productos o los métodos empleados para la desinfección.	Renovación continua del agua	No establece tratamiento.	Estos balnearios naturales requieren métodos no oxidativos de tratamiento de agua. Se necesita una tasa muy alta de intercambio de agua (incluso si no es completamente efectiva) si no hay otra forma de prevenir la contaminación microbiana, donde no es posible un drenaje completo entre los usuarios.

Fuente: Sanchez, Y.

Existen muchos estudios referentes a aguas termales que evidencian la presencia de agentes microbiológicos, por lo cual se verificó la normativa para el control de microorganismos y el tratamiento de ésta, y se da prioridad a la preservación de las propiedades fisicoquímicas del agua. Por lo anterior, se consultó bibliografía científica referente al tratamiento del agua termal, que no involucre agentes químicos externos, como:

Intercambio de agua: este método consiste en realizar el remplazo de agua termal. El remplazo frecuente de aguas termales, es insostenible cuando lo suministran pequeños acuíferos (Romano Spica V., 2017).

Utilización de ozono: el Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ciencias de Orense ha evaluado la efectividad del ozono en la contaminación por *E. coli* de un agua termal, con una composición superior en sales bicarbonatadas y bajos niveles de azufre, como un biocida autorizado por Sanidad para el tratamiento de las aguas de utilidad pública y sin residual químico en su utilización (García, J. et al., 2015).

Sulfuro de hidrógeno H₂S: es una molécula disuelta en muchas aguas termales. Se ha investigado la tasa de supervivencia de tres especies microbianas en aguas con diferentes títulos de sulfuro de hidrógeno. Éste se ha adicionado a las aguas para investigar el efecto sobre el

crecimiento de bacterias. Los resultados apoyan firmemente el papel bactericida del sulfuro de hidrógeno en las aguas termales utilizadas con fines recreativos (F.Valeriana et al., 2013).

Radiación UV: estudios realizados muestran los posibles efectos sobre la sensibilidad a la radiación ultravioleta de *Salmonella typhimurium* Cepas TA, los aislamientos orgánicos se aplicaron en la prueba de Ames de "incorporación de placa" combinada con irradiación UV, en la que cuatro muestras mostraron una supervivencia medible de TA100 his + revertants después de la exposición a una dosis de UV normalmente letal. Este es el primer estudio que demuestra la propiedad protectora contra los rayos UV de la materia orgánica en muestras de agua termal natural utilizadas en balneoterapia (Varga, C. et al., 2015).

Sistema de electrólisis: se instala en las tuberías de aguas termales para descomponer electrolíticamente los iones de cloruro en el agua de aguas termales, que produce cloro que desinfecta el agua de aguas termales. Este sistema no utiliza un agente de cloro, lo que le permite realizar una desinfección sin dañar la calidad del agua termal original utilizado para realizar la descomposición electrolítica y desinfectar especies de *Legionella* en aguas termales (Takenaka Corporation, s.f).

Nanotecnología: durante las últimas décadas, los procesos fotocatalíticos de nanotecnología generaron perspectivas prometedoras que se probaron utilizando un semiconductor (por ejemplo, TiO₂) para producir especies reactivas de oxígeno (ROS) e inactivar microorganismos por exposición a la luz. Se probaron varias membranas y sistemas de filtración innovadores en experimentos a pequeña escala que confirmaron la eficacia potencial en aguas termales en diversas condiciones (Romano Spica V., 2017).

4. Resultados y discusión

Actualmente, en Colombia no se realiza un control de la calidad del agua en los balnearios de agua termal. Reyes, G. (2015), en el "Proyecto bandera para el turismo termal en Colombia", recomienda que para estudios que se realizan por primera vez en una fuente, se debe investigar la presencia de los siguientes patógenos: *Aeromonas*, *Salmonella*, *Vibrio Cholerae*, *Shigella*, *Staphylococcus Aereus*, *Legionella*, *Mycobacterium*, *Giardia*, *Enterovirus*, basados en la norma cubana, debido a que en Colombia aún está en proyecto de ley la normativa de aguas termales.

Los agentes contaminantes del agua de las piscinas son múltiples. Éstos pueden proceder de la contaminación previa del agua, de la falta o deficiencia en la limpieza del vaso o piscina y dependencias, del material accesorio inmerso en la piscina y, principalmente, del propio usuario. Cada sujeto que se sumerge en la piscina puede aportar al agua una considerable cantidad de materia orgánica y mineral, además de millones de gérmenes saprofitos, o incluso patógenos de orígenes ororrinofaríngeo, genitourinario, digestivo y cutáneo (Bacaicoa., s.f).

La normativa internacional no permite el uso de desinfectantes en aguas mineromedicinales y se necesitan métodos alternativos. De lo contrario, la adición de cloro tradicional y la desinfección por productos químicos cambiaría las propiedades naturales del agua. La filtración clásica y prometedoras estrategias de fitodepuración requieren más investigaciones (Romano Spica V.,

2017).

La prevención de la contaminación del agua y del entorno de las piscinas de tratamiento, al igual que la lucha contra el desarrollo de los agentes infecciosos, se basa en el estricto cumplimiento de normas de higiene y limpieza concernientes al propio bañista y a las piscinas y resto de las instalaciones y locales anexos (Bacaicoa., s.f).

5. Conclusiones

Los estudios realizados por científicos revelan la existencia de microorganismos patógenos en aguas termales, los cuales están regulados en normativa internacional y en Colombia son parte de un proyecto de Ley.

Las aguas termales, por tener un potencial mineral y medicinal, al realizarles un tratamiento mediante desinfectantes, se afectan sus propiedades naturales. Por esto, los tratamientos que plantean los investigadores con Ozono, Rayos UV, H₂S, electrólisis y nanotecnología, muestran limitaciones en el control de los microorganismos de patógenos identificados en las aguas termales, para mantener las propiedades físico-químicas del agua termal. Se requiere más investigación en este campo.

En Colombia, en los balnearios de aguas termales no se realiza control de calidad, por lo cual se requiere conocer las características físicas, químicas y microbiológicas de dichos sitios para evaluar su calidad y determinar el posible control o tratamiento dependiendo de sus propiedades específicas y si su uso es solo recreativo o terapéutico.

6. Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración de la estudiante de Ingeniería Civil Martha Rojas Ramírez y al médico especialista Gabriel Reyes Secades.

7. Referencias

Artículos de revista

- Valeriana., G.Gianfranceschia., & otros. (2013). Hydrogen sulfide in thermal spring waters and its action on bacteria of human origin. *Microchemical Journal*, Vol. 108.
- Varga, C. & László, M. & Otros., (2015). Natural UV-protective organic matter in thermal water. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, Vol. 144.

Libros

- Alfaro, C., Aguirre, A., Bernal, F., & Gokcen Gulden. (2003). *Inventario de fuentes*

- termales del departamento de Cundinamarca. Ministerio de Minas y Energía.
- Andueza, F. (2014). Microbiología del agua. Facultad de Farmacia y Bioanálisis. Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.
 - AWWA, American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23rd Edition.
 - Reyes, G. (2015). Validación de resultados finales de la caracterización física química de seis termales colombianas para su uso terapéutico. Proyecto Bandera para el turismo termal en Colombia. Contrato N.º FNT-327-2014.
 - WHO (2006). World Health Organization. Guidelines for safe recreational water environments, Vol. 2, Swimming pools and similar environments.

Memorias de congresos

- Romano Spica V. (2017). Hot spring water in pool: The personalization of treatment from MFDNA Fingerprinting to nanotechnologies. Public Health Unit – University of Rome “Foro Italico”, Italy. Presentado en 7th International Conference on Swimming Pool and Spa, Greece.
- Garcia, J. & Rodríguez, L. (2015). Contaminación de las aguas termales por *E. coli* y la aplicación del Ozono en su tratamiento. I Congreso internacional del agua 2015. Termalismo y calidad de vida campus da Auga, Ourense, Spain.
- Sánchez, Y., & Chivata, N. (2017). Detection of presence of *Pseudomona aeruginosa* and control measures in thermal waters. Presentado en 7th International Conference on Swimming Pool and Spa, Greece.

Fuentes electrónicas

- AsapLaboratorio.(s.f). Bacterias aerobias. Recuperado el 22 de octubre de 2018 de <http://www.asaplaboratorio.com/Bacterias-Aerobias.html>.
- Bacaicoa, J. S. (s.f.). Piscinas de tratamiento higiene y control. Recuperado el 22 de septiembre de 2018 de http://aguas.igme.es/igme/publica/pdfjor_aguas_mine/11_piscinas.pdf.
- Congreso de la Republica de Colombia. (2015). Proyecto de Ley 065 de 2014. Por medio de la cual se promueve, se fomenta, se regula, se orienta y se controla el aprovechamiento terapéutico y turístico de los balnearios termales y el uso de las aguas termales.
- Consejería de Sanidad y Política Social. (1997). Decreto 55/1997. Sobre condiciones sanitarias de balnearios, baños termales y establecimientos de talasoterapia y de aplicación de peloides. Recuperado el 15 de octubre de 2018 de <http://www.extfiles.murciasalud.es/recursos/ficheros/45437-Borm1997-N172- P8677-Marginal10482-Anexos.pdf>.
- Consejería de Sanidad y Servicios Sociales, (1996). Orden del 5 de noviembre de 1996. Por la que se regula la autorización sanitaria de los establecimientos balnearios de la Comunidad Autónoma de Galicia. Recuperado el 15 de octubre de 2018 de https://www.xunta.gal/dog/Publicados/1996/19961120/AnuncioE01A_es.html.
- Departamento de Sanidad y Seguridad Social. Decreto 271 / 2001. Por el que se establecen los requisitos técnico-sanitarios que deben cumplir los servicios de

- balneoterapia y de hidroterapia. Cataluña.
- Oliver, B & Clapes, R. (s.f). Control de calidad de las aguas minero-medicinales. Panorama actual de las aguas minerales y mineromedicinales en España. Recuperado el 23 de febrero de 2019 de http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-bal/oliver-rodes_cb.pdf.
 - Takenaka Corporation, (s.f). Hot Spring Water Electrolysis Disinfection System. Recuperado el 15 de octubre de 2018 de http://www.takenaka.co.jp/takenaka_e/about/news/2010/m1001_06.html.
 - Tiposde.com., (s.f). Bacterias Heterótrofas. Recuperado el 22 de octubre de 2018 https://www.tiposde.com/bacterias_heterotrofas.html
 - Vircell Microbiologists. (s.f). Candida albicans. Recuperado el 22 de octubre de 2018 de <https://www.vircell.com/enfermedad/27-candida-albicans/>.

Sobre los autores

- **Yuly Sánchez:** Ingeniera civil, especialista en Saneamiento Ambiental, magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Ingeniería Ambiental y estudiante de doctorado de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Profesora asistente; yuly.sanchez@escuelaing.edu.co.
- **Luis Rodríguez Cheu:** Ingeniero eléctrico, Ph.D. en Ingeniería Biomédica de la Universidad Politécnica de Cataluña, director del Doctorado en Ingeniería y de Investigación e Innovación de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Profesor titular; luis.rodriguez@escuelaing.edu.co.

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2019 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)