



2019 10 al 13 de septiembre - Cartagena de Indias, Colombia

RETOS EN LA FORMACIÓN
DE INGENIEROS EN LA
ERA DIGITAL



IMPACTO DE LAS TECNOLOGÍAS EMERGENTES Y HERRAMIENTAS TEÓRICAS ALTERNATIVAS SOBRE LA PRODUCCIÓN Y LA ECONOMÍA DEL ARROZ EN COLOMBIA

Ricardo Emilio Castro Guiza, Édgar Emir González

**Pontificia Universidad Javeriana
Bogotá, Colombia**

Resumen

La nanotecnología y la biotecnología son dos herramientas tecnológicas disruptivas muy importantes para contribuir a la solución de diversos problemas actuales de la humanidad, específicamente contribuyen en forma eficaz en el desarrollo de la agricultura.

Este trabajo tiene un objetivo hacer un diagnóstico actual de la economía del arroz desde la vigilancia tecnológica y de literatura sobre estas tecnologías emergentes bio-nano, incluyendo aspectos relacionados con la producción y el mercado. Inicialmente se realiza una descripción de las variables y factores influyentes en la producción del arroz, y posteriormente se hace un análisis estadístico con base en los resultados obtenidos de la vigilancia en el mundo, Latinoamérica y Colombia, tomando como fuentes de información las bases de datos Scopus y Spacenet, todo esto en el marco de desarrollo sostenible.

Finalmente, se espera hacer algunas recomendaciones para mejorar los procesos de producción arrocería en Colombia, de acuerdo con las variables y factores mencionados y la seguridad alimentaria.

Palabras clave: nano-biotecnología; cadena de valor del arroz; desarrollo sostenible

Abstract

Nanotechnology and biotechnology are two very important technological disruptive tools to contribute to the solution of various current problems of humanity, specifically contribute effectively to the development of agriculture.

This work aims to make a current diagnosis of the rice economy from technological vigilance and literature on these emerging bio-nano technologies, including aspects related to production and the market. Initially, a description of the variables and influential factors in rice production is made, and then statistical analysis is made based on the results obtained from surveillance in the world, Latin America and Colombia, using databases as sources of information Scopus and Spacenet, all this within the framework of sustainable development.

Finally, it is expected to make some recommendations to improve the processes of rice production in Colombia, according to the variables and factors mentioned and food security.

Keywords: *nano-biotechnology; rice's value chain; sustainable development*

1. Introducción

El arroz es parte de la dieta de aproximadamente la mitad de la población mundial. Además, su producción ocupa un renglón importante de la economía de muchos países, y es una buena fuente de empleo en varias regiones. En Colombia, sin embargo, los principales indicadores muestran un declive en la producción y el rendimiento en el segundo semestre de 2018 con respecto al segundo semestre de 2017, excluyendo de esta tendencia al departamento de Tolima, el cual muestra un mejor comportamiento en el área. Este descenso en el desempeño se debe a diferentes problemas en las fases principales de la cadena de valor del arroz, tanto en el arroz seco como en el arroz de riego, las dos principales modalidades de siembra.

El proceso de cultivo de arroz de riego necesita una gran cantidad de agua de consumo humano, un inconveniente al cual se le suma que la seguridad alimentaria se ve comprometida si esta agua está contaminada. El arroz seco depende de la lluvia, por lo que puede sufrir por falta o exceso de agua, además de posible deficiencia de hierro y azufre, y contaminación del suelo con aluminio. Para ambos, uno de los factores con mayor impacto ambiental y para la salud es el uso de agroquímicos como fertilizantes y para resolver problemas fitosanitarios. Otros inconvenientes son el cambio climático y el alto costo de los suministros.

En la fase de trilla del arroz, la principal dificultad en Colombia es el oligopolio que ejercen las dos empresas industriales de arroz más importantes, las cuales acaparan más de la mitad del mercado del país. En cuanto a la comercialización, la entrada en vigencia del acuerdo de libre comercio (TLC) con los Estados Unidos en 2012, ha generado un crecimiento de las importaciones y una disminución de los cultivos (Chica L., Tirado O., & Barreto, 2016).

Las tecnologías emergentes Bio-nano, ya sea individual o combinadamente, pueden ayudar a resolver estos problemas comunes a la agricultura y el medio ambiente. Específicamente, los sensores, drones y otros dispositivos tecnológicos pueden recopilar y procesar la información necesaria para mejorar la productividad de los cultivos. Es importante evaluar el nivel de incorporación de esta agricultura de precisión en Colombia, y definir la viabilidad de acuerdo con su impacto económico y realizar los ajustes necesarios para esta implementación.

La distribución de las publicaciones en revistas indexadas y patentes, encontradas previamente como resultado de la vigilancia tecnológica y científica, permiten evaluar el impacto de la tecnología bio-nano en la agricultura del arroz en el mundo, y tener una imagen global del papel que está jugando la convergencia bio-nano en la posible solución de los problemas anteriormente mencionados (Díaz, Estrada, Acuña, & González, 2019).

2. Variables y factores de riesgo en la cadena de valor del arroz

A continuación, se describen las principales variables y factores agronómicos y no agronómicos que influyen en las tres etapas principales de la cadena de valor del arroz.

2.1 Agronómicos

2.1.1 Clima: La temperatura óptima para una buena germinación es entre 20°C y 35°C, mientras que para una maceración vigorosa es entre 25°C y 31°C. Las temperaturas por debajo o por encima del rango normal afectan adversamente las fases vegetativa y reproductiva de las plantas, ya que afectan el macollamiento, la formación de espiguillas y la maduración. La radiación solar, por otro lado, es la fuente de energía para el proceso fotosintético y la evapotranspiración (**Chaudhary, Nanda, & Tran, 2003**).

2.1.2 Suelo: Los principales factores a tener en cuenta en el manejo del suelo para el cultivo de arroz son su inclinación, los nutrientes, la posible toxicidad y la salinidad. La erosión puede ser un problema en el caso del arroz de secano y el cultivo en laderas. La deficiencia de algunos nutrientes como Nitrógeno, Potasio, Calcio, Magnesio y Azufre, así como la presencia de otros como Fósforo, Hierro, Zinc, Manganeso, Boro y cobre, en concentraciones distantes de los niveles adecuados, afectan diferentes partes de la planta en varias etapas del crecimiento. La toxicidad por Aluminio deteriora el tallo en la fase de macollaje (Chaudhary, Nanda, & Tran, 2003).

La salinidad se produce debido a la acumulación excesiva de sales solubles en el suelo, y su efecto depende de la etapa de desarrollo de la planta, alternando los períodos de sensibilidad y tolerancia (Chaudhary, Nanda, & Tran, 2003).

2.1.3 Agua: El cultivo de arroz necesita un nivel adecuado de agua o humedad en el suelo, lo cual es muy importante para el suministro de nutrientes, control de malezas, plagas y enfermedades. El arroz secano de laderas y planicies depende de la lluvia, por lo que puede sufrir tanto de falta de agua, que genera diferentes inconvenientes en el crecimiento de la planta, como de exceso del líquido, el cual se puede mitigar con el drenaje. Los arroces inundados y flotantes dependen de

sistemas de riego que suministren grandes cantidades de agua de consumo humano, un grave problema ambiental. (Chaudhary, Nanda, & Tran, 2003).

2.1.4 Plagas y las enfermedades: Las malezas, insectos, roedores y aves entre otros, son problemas bióticos importantes. Las enfermedades las podemos dividir en las causadas por hongos como el brusone o piricularia, el tizón de la vaina, la mancha marrón, la mancha marrón angosta y la quemadura de la hoja, las bacterianas como tizón bacteriano y la pudrición bacteriana de la vaina, y las generadas por virus como tungro, el raquitismo, la hoja anaranjada, la hoja blanca, y las rayas y el enanismo (Chaudhary, Nanda, & Tran, 2003).

2.1.5 Genética: Es posible elegir las variedades de la planta *Oriza Sativa*, que mejor se adaptan a las condiciones ecológicas específicas de cada región, tanto para el arroz de secano como para el arroz de riego. Los híbridos son una buena opción algunas veces, aunque sobre el particular puede haber restricciones normativas en algunos países.

2.2 No Agronómicos

2.2.1 Eficiencia de los Molinos: Los molinos más grandes y eficientes permiten un manejo más adecuado del producto de la cosecha, en términos del almacenamiento y posterior pulido y empacado, de acuerdo con la demanda de consumo.

2.2.2 Aprovechamiento de residuos: El tamo y residuos de cosecha pueden ser útiles como abono orgánico para el suelo o como forraje para los animales, salvo cuando hay alta probabilidad inóculo de enfermedades, caso en el cual se recomienda la quema de estos elementos (FEDEARROZ, 2002).

2.2.3 Transporte: Después de la cosecha, en cada fase es necesario el transporte del producto hacia los sitios de procesamiento, almacenamiento y comercialización. En muchas ocasiones, los agricultores viven lejos de estos lugares, por lo que se mueven pequeñas cantidades del producto, y por caminos inadecuados. Esto hace que el costo unitario del producto se incremente.

2.2.4 Precio internacional: El precio de exportación influye directamente en el precio interno, lo cual afecta a los pequeños y medianos productores, que reciben poco dinero por sus cosechas.

2.2.5 Impuestos: Algunos países como Colombia tienen un régimen tributario desfavorable, lo cual sumado a otros factores eleva los costos de producción, colocando la producción nacional en desventaja con la competencia internacional.

2.2.6 TLC: Antes de 2012, año de la entrada en vigor del tratado de libre comercio con Estados Unidos, la producción de Colombia y pequeñas importaciones eran suficientes para satisfacer su demanda interna, pero después de este nuestro país decidió importar grandes volúmenes.

3. Contribución de la Bio y Nanotecnología en los factores agronómicos

Para combatir las plagas y enfermedades, se hace necesario el uso de agroquímicos y productos que contaminan el agua y el suelo, lo cual influye directamente en la seguridad alimentaria. Esto hace pertinente la incorporación de fertilizantes micro y nanoestructurados y orgánicos que permitan una liberación eficiente e inocua al medio ambiente. Hay varias patentes otorgadas por este tipo de contribuciones, especialmente chinas: (China Patente n° CN108812122 (A), 2018) (China Patente n° CN1091803641, 2018), (China Patente n° CN109160853, 2018), (China Patente n° CN108935475 (A), 2018), (China Patente n° CN108821900 (A), 2018).

Los nanofertilizantes con paredes de carbono, y óxidos metálicos ayudan en la germinación y la fotosíntesis, elevan la eficiencia de nutrientes y crecimiento de las plantas. Los nanomateriales en base a metales como ZnO, TiO₂, Cu y SiO₂ sirven como pesticidas y fungicidas para controlar la actividad microbiana en los cultivos. En el caso de detección de patógenos postcosecha, las nanopartículas de plata, cobre y oro pueden ser bio nanosensores eléctricos. El tamaño y la concentración de las nanopartículas es el aspecto que determina la toxicidad del suelo, la planta y el agua. Los seres humanos pueden afectar su salud vía inhalación, ingestión y exposición dérmica, si el tamaño de las partículas es inferior a 50 nm. (Alpna & Mailapalli , 2016).

Los nanosensores FRET (*Förster's resonance by energy transfer*) pueden detectar aumentos en la glucosa intracelular respuesta a cambios en la salinidad y la temperatura del suelo, y por ende de las raíces (Zhu , Wang, & Dong, 2017). Para medir la humedad de las plantas, ingenieros de MIT han creado sensores hechos de nanotubos de carbono que conducen la electricidad, disueltos en un compuesto orgánico que pueden imprimirse en las hojas sin dañar los estomas (Trafton, 2017).

Par el caso de la genética, se usa la biotecnología a través de marcadores moleculares para señalar posiciones de genes particulares que configuran un fenotipo deseado. Este método ayuda a modificar o construir el tamizado del arroz (CIAT, 2010).

4. Justificación y Metodología de la Vigilancia Tecnológica y Científica

4.1 Justificación

Uno de los principales indicadores que permiten medir el impacto de las tecnologías disruptivas en un área específica del conocimiento, es la productividad científica y las patentes otorgadas. Respecto al impacto de la oferta de bio nano en el área de cultivos de arroz y comercialización, es estratégico realizar un estudio de vigilancia tecnológica que proporcione un diagnóstico sobre la incorporación de esta oferta en la solución de los problemas reconocidos para este cereal.

4.2 Metodología

Este proceso se realizó usando la base de datos Scopus para la búsqueda de artículos y documentos científicos, y utilizando la base Spacenet para las patentes. Las palabras clave, las cuales se escogieron con un criterio muy simple fueron nanotecnología y biotecnología, combinadas con las

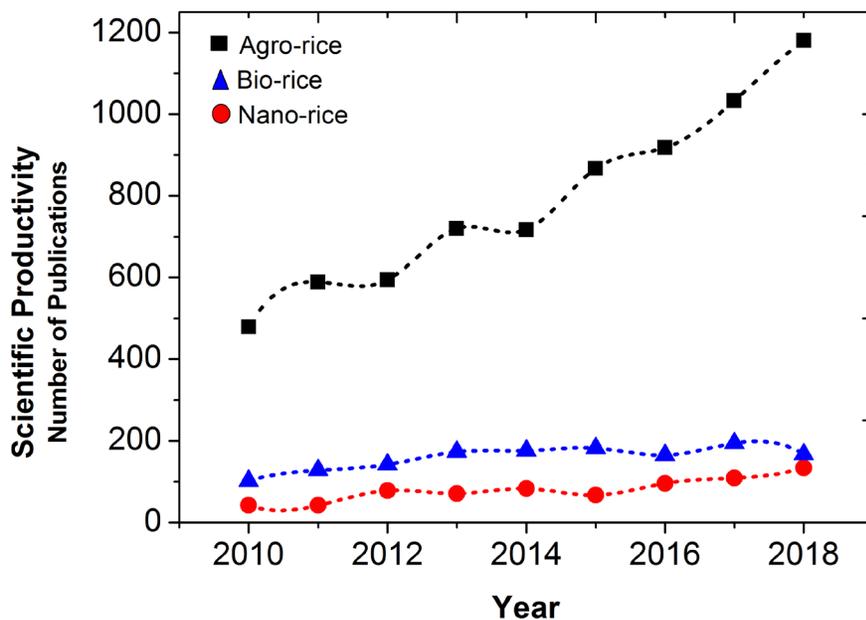
palabras agricultura del arroz a través de los operadores booleanos adecuados, y usando el inglés por ser el idioma pertinente para la búsqueda. El intervalo de tiempo fue entre los años 2010 y 2018. Los espacios geográficos elegidos fueron el mundo, Latinoamérica y Colombia.

5 Resultados

5.1 Oferta Bio-nano en Investigación sobre arroz a nivel mundial

La figura 1 muestra la productividad científica mundial entre 2010 y 2018, como resultado de una investigación realizada con cultivos de arroz. Se registra una tasa de crecimiento promedio de 82 publicaciones por año para este período de tiempo. Esta tasa de crecimiento muestra una tendencia a favor de incorporar el problema del arroz en la agenda de investigación.

Figura 1. Productividad científica mundial sobre el arroz en general, y con bio-nanotecnología.



Con respecto a la incorporación del problema del arroz a la biotecnología, la Figura 1 registra una tasa de crecimiento promedio de aproximadamente 9 publicaciones por año. Para 2018, corresponde al 10% de la productividad científica total. En el caso de la biotecnología, que ofrece un gran potencial, este crecimiento es todavía incipiente. Un comportamiento similar se observa en el caso de la nanotecnología para la investigación de problemas relacionados con el arroz.

5.2 Oferta Bio-nano en Investigación sobre arroz en América Latina

En América Latina, como se muestra en la Figura 2, la productividad científica para la investigación, tanto en la agricultura del arroz en general, como en el uso de bio y nanotecnología, muestra un comportamiento muy irregular (oscilatorio), debido al pequeño número de publicaciones

publicadas. No hay tasa de crecimiento registrada. El número de publicaciones en bio y nano no supera en ninguno de los años reportados las cuatro publicaciones.

Figura 2. Productividad científica en América Latina sobre el arroz en general, y desde bio y nanotecnología.

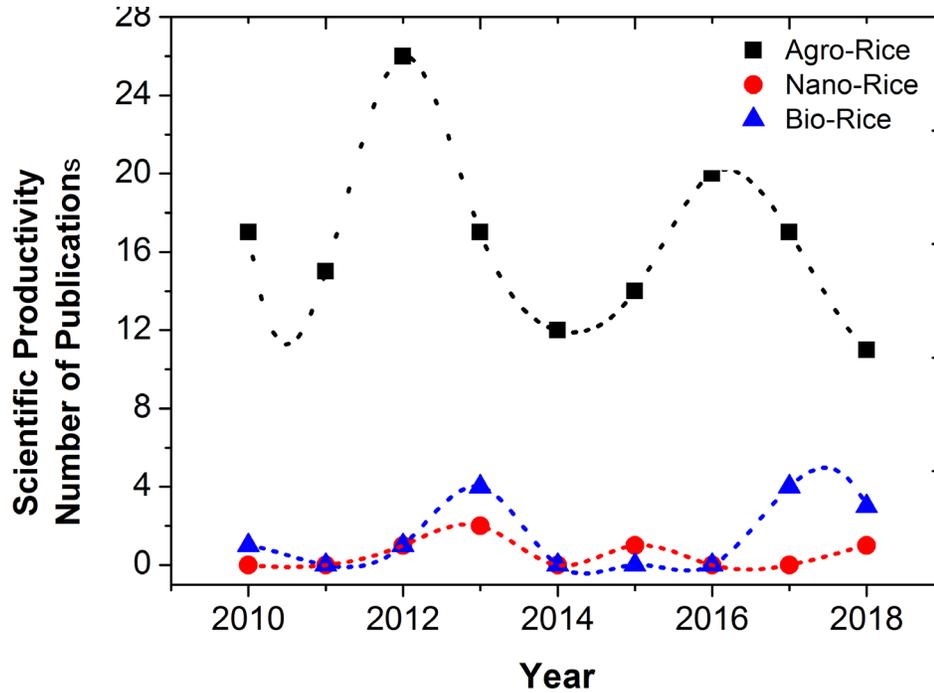
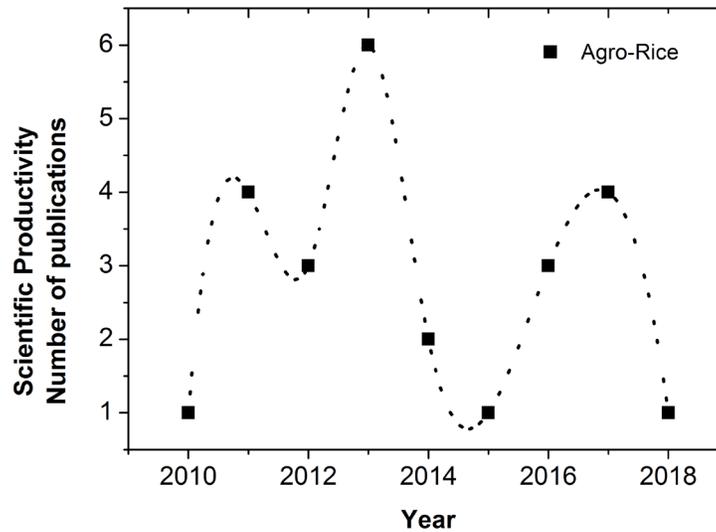


Figura 3. Productividad científica en Colombia sobre el arroz en general, y desde bio y nanotecnología.



5.3 Oferta Bio-nano en Investigación sobre arroz en Colombia

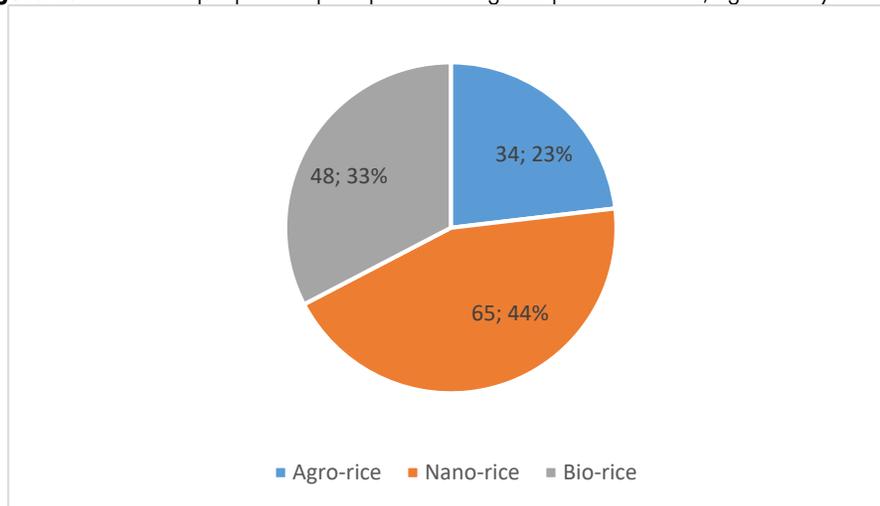
Para el caso específico de Colombia, solo se informa de una investigación a nivel general sobre los problemas identificados en los cultivos de arroz, aunque el número de publicaciones es muy pequeño (figura 3). La tasa de crecimiento promedio en la ventana de observación elegida para

esta vigilancia es cero. La investigación sobre la nanotecnología del arroz aún no ha sido publicada. En bio solo una publicación en 2013 y otra en 2017.

5.4 Patentes

Con respecto al desarrollo tecnológico, el número de patentes aprobadas para el arroz es mayor en el caso del uso de la nanotecnología, como se muestra en la figura 4. En la agricultura de arroz, el número de patentes corresponde al 23%, mientras que al utilizar la biotecnología se alcanza el 33%.

Figura 4. Distribución por porcentaje de patentes otorgadas para nano-arroz, agro-arroz y bio-arroz.



6. Conclusiones

La cadena de valor del arroz está influenciada por diversos factores, tanto agronómicos como industriales y comerciales, lo cual, sumado a la importancia del producto en Colombia y en el mundo, genera gran interés en la comunidad científica. Sin embargo, hacer que este sistema productivo sea beneficioso para todos los actores del mismo en el marco del desarrollo sostenible, una obligación de estos tiempos, es una tarea muy compleja que requiere un trabajo articulado de campesinos, empresarios, gobiernos, investigadores y usuarios del sector, especialmente en Colombia, donde se requiere con urgencia disminuir los costos de producción por tonelada del producto para poder competir en el mercado local e internacional.

Los resultados de la vigilancia tecnológica y científica, nos permiten afirmar que las tecnologías bio-nano emergentes no están posicionadas como áreas estratégicas de investigación para enfrentar el problema del arroz que surge en este trabajo. Sin embargo, en desarrollos patentables, destaca el uso de la nanotecnología.

Es necesario encontrar nuevas herramientas que permitan avanzar en el mejoramiento de la cadena de valor del arroz. Un modelo que involucre las variables más importantes con alguna de las nuevas herramientas metodológicas puede contribuir positivamente a la solución del problema planteado.

7. Referencias

- Alpna, D., & Mailapalli, D. (2016). Nanofertilisers, Nanopesticides, Nanosensors of Pest and Nanotoxicity in Agriculture. En R. Shivendu, N. Dasgupta, & L. Eric, Nanoscience in food and agriculture. Springer. (pp. 247-282)
- Chaudhary, R., Nanda, J., & Tran, D. (2003). Guía para identificar las limitaciones de campo en la producción de arroz. Consultado el 06 de 06 de 2019, en www.fao.org
- Chica L., J., Tirado O., Y. C., & Barreto, J. M. (2016). Indicadores de competitividad del cultivo del arroz en Colombia y Estados Unidos. Revista de Ciencias agrícolas, Vol. 33, No. 2, pp.16-31.
- CIAT. (2010). Producción Eco-Eficiente del arroz en América Latina. Cali: FLAR.
- Díaz, J. Estrada, L. Acuña, Y. González, E. (2019). The Bio-Nano Offer and its Impact on Environment, Energy, Agriculture, and Health: A Technological vigilance study. J. Nano Sc. Tech, Vol 5, No. 2.
- Dong, S., & Zhang, S. (2018). China Patente n° CN109160853.
- Du, Y. (2018). China Patente n° CN108821900 (A).
- FEDEARROZ. (2002). Guía Ambiental del Arroz. Bogotá: Ministerio de Ambiente.
- Kong, W., Xue, G., & Yang, Y. (2018). China Patente n° CN108935475 (A).
- Trafton, A. (08 de 11 de 2017). Nano Werk. Consultado el 13 de junio de 2019 en <https://www.nanowerk.com>
- Wang, Z. (2018). China Patente n° CN108812122 (A).
- Zhao, H. (2018). China Patente n° CN1091803641.
- Zhu, Q., Wang, L., & Dong, Q. (2017, May). Consultado el 13 de junio de 2019 en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>.

Sobre los autores

- **Ricardo Emilio Castro Guiza:** Licenciado en Matemáticas y Física, Especialista en Física, Máster en Ciencias-Física, Estudiante de Doctorado en Ingeniería de Pontificia Universidad Javeriana. ricastro@javeriana.edu.co.
- **Édgar Emir González:** Físico, Máster en Física, Doctor en Física de Universidad Autónoma de Barcelona. Profesor Asociado TC- Pontificia Universidad Javeriana. egonzale@javeriana.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)