

## Opinion

# Reflexiones sobre por qué no trascendemos en ciencia y tecnología

## Reflections on why we do not transcend in science and technology

### Resumen

Este artículo parte del análisis de los resultados de las investigaciones del ingeniero Jorge Álvarez Lleras y su referencia al estudio de Julio Garavito Armero recogido en su artículo “El clima de Bogotá”. Al ir de lo particular (el clima de Bogotá) a lo general y luego regresar a lo particular, Álvarez Lleras se basó en el método inductivo, científicamente aceptado por la comunidad académica internacional hoy en día. El autor trabajó durante cerca de dos décadas el tema de la meteorología y publicó en 1940 sus “Elementos de Meteorología tropical” en el número 12, volumen 3, de la revista de la Academia. A partir de sus hallazgos logró postular una teoría que conlleva una comprensión científica, rigurosa, sistemática y profunda del origen, características y variaciones de la meteorología en función de la latitud. Al revisar la bibliografía actual utilizando los modernos motores de búsqueda, el nombre de Álvarez Lleras y los resultados de sus investigaciones no aparecen referenciados. Se plantea, entonces, una pregunta fundamental: ¿por qué los resultados de una investigación científica rigurosa, sistemática y profunda, basados en principios físicos y modelos matemáticos de Meteorología tropical, no trascendieron a nivel mundial si estaban respaldados por una teoría y unos modelos pioneros del desarrollo posterior de la ciencia meteorológica? A partir de esta pregunta, se plantean aquí cinco reflexiones para la discusión académica.

**Palabras clave:** Meteorología tropical; Obstáculos epistemológicos.

### Abstract

This article is based on the analysis of engineer Jorge Álvarez Lleras' research results and his reference to the studies by Julio Garavito Armero published in the article “The climate of Bogotá”. In his research, Álvarez Lleras went from the particular (Bogotá's climate) to the general and then back to the particular using the inductive method which the international academic community accepts today as scientifically sound. Álvarez Lleras worked for nearly two decades on the subject of meteorology and in 1940 he published his “Elements of Tropical Meteorology” in the Academy's journal number 12, volume 3, where he presented the results of his research. There he postulated a theory that led to a scientific, rigorous, systematic, and deep understanding of the origin, characteristics, and variations of meteorology based on latitude. Reviewing the current bibliography in different modern search engines, the name of Álvarez Lleras and his research results are not referenced. A fundamental question then arises: Why did the results of a scientific, rigorous, systematic, and in-depth investigation, based on physical principles and mathematical models on Tropical Meteorology, not transcend worldwide, when such results, theory, and models were the basis of the subsequent development of meteorological science? Around this question, five reflections for academic discussion are proposed here.

**Keywords:** Tropical Meteorology; Epistemological obstacles

### Introducción

En el 2016, cuando se cumplieron 80 años de la revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, su editora, la Dra. Elizabeth Castañeda, propuso a los editores asociados la excelente idea de seleccionar y reproducir artículos considerados

como clásicos o pioneros en los campos del conocimiento de su especialidad publicados en la revista entre 1936 y 1986, acogiéndose a la definición de clásico del Diccionario de la Real Academia Española: *perteneciente o relativo al momento histórico de una ciencia en el que se establecen teorías y modelos que son la base de su desarrollo posterior*.

En ese contexto se seleccionó el artículo del primer presidente de la Academia, el ilustre ingeniero Jorge Álvarez Lleras, titulado “Contribución a la meteorología colombiana” (Álvarez-Lleras, 1938), el cual se publicó en el número 6 del volumen 2 de la revista. El análisis que el doctor Daniel Pabón, editor asociado de la revista, hizo de este artículo fue claro, positivo y conciso (Pabón, 2017), pero lamentablemente en el artículo no se referencia la bibliografía consultada.

Este artículo clásico se tomó de la publicación que el ingeniero Álvarez Lleras había presentado en el Segundo Congreso Científico Panamericano, realizado en Washington en 1916 (Proceedings, 1917), en su calidad de encargado del Servicio Meteorológico del Observatorio Nacional de Colombia. En él se resumen con datos y gráficas las actividades del Observatorio Nacional de Bogotá en el campo de la Meteorología y se destacan los esfuerzos de José Celestino Mutis para dar inicio a las observaciones ordenadas de los fenómenos meteorológicos en el Virreinato de Nueva Granada. Asimismo, Álvarez Lleras presenta allí los primeros bosquejos de lo que luego se convertiría en la teoría de Meteorología tropical a partir de observaciones metódicas de los fenómenos meteorológicos y la propuesta de Mutis de estudiar el clima ecuatorial americano cuando en Europa Borda, Lavoisier y Laplace postulaban que era posible la previsión del tiempo mediante la observación de los fenómenos atmosféricos.

En el artículo presentó también los primeros resultados de la medición de las lluvias, la temperatura, la presión atmosférica y la humedad relativa con equipos de última generación para la época y las comparaciones con los resultados en otras latitudes como París, así como conclusiones que aportaban a los principios de lo que hoy se conoce como Meteorología tropical. Por ejemplo, al comparar la presión de Bogotá con la de París se argumenta que el barómetro pierde su importancia como instrumento meteorológico en la zona ecuatorial y la gana como instrumento de ingeniería, especialmente en países montañosos como Colombia.

Muchos de los datos presentados en el Congreso Panamericano de Washington ya los había investigado el ingeniero Julio Garavito con su estudio sobre el clima de Bogotá (Garavito, 1940)

## Elementos de Meteorología tropical

Además de esa primera etapa de mediciones, análisis y clasificación realizadas por Garavito Armero en torno al clima de Bogotá, Álvarez Lleras trabajó el tema durante cerca de dos décadas hasta culminar en la publicación de los “Elementos de Meteorología tropical” (Álvarez-Lleras, 1940) en el número 12 del volumen 3 de la revista de la Academia. Con los resultados de sus investigaciones logró postular una teoría que conlleva una comprensión científica, rigurosa, sistemática y profunda del origen, características y variaciones de la meteorología en función de la latitud y constituye el sustento científico de la hipótesis sobre la variación espaciotemporal de las magnitudes de los parámetros del rayo (Torres, 2015a).

Los resultados del desarrollo de dicha teoría fueron confrontados con la realidad concreta. En el proceso de partir de lo particular a lo general y luego regresar a lo particular, Álvarez trabajó, fundamentalmente, el método inductivo, cuya validez científica hoy acepta la comunidad académica internacional, proponiendo, a partir de la observación de sucesos específicos, una conclusión que resultara general para todos los eventos de la misma clase (Torres, 2017).

Esta investigación le permitió a Álvarez Lleras plantear una teoría fundamental que quienes investigan estos fenómenos naturales reconocen como un aporte fundamental al conocimiento mundial sobre la diferencia entre la meteorología en latitudes templadas (Estados Unidos, Europa, Asia) y las tropicales.

El planteamiento de Álvarez Lleras representa actualmente un aporte fundamental para el desarrollo tecnológico y su impacto en la vida diaria de las personas, por ejemplo, cuando se diseñan y construyen equipos cuya operación es muy diferente según la latitud en que se encuentren. En cuanto al tema tan actual de la transición energética, la confiabilidad de la matriz energética debe tener la capacidad de abastecer la demanda en todo momento, cumpliendo los requerimientos técnicos de calidad y suficiencia (UPME, 2020). En el caso de las fuentes no convencionales de energía renovable, se han desarrollado diversas tecnologías, entre ellas, los aerogeneradores (energía eólica), o las celdas fotovoltaicas (energía solar), que funcionan al aire libre, pero su diseño y fabricación responden a normas “internacionales” y magnitudes de parámetros atmosféricos propias de las latitudes templadas (Europa, EE.UU., Japón, China, etc.). Se requiere, entonces, aplicar los resultados de la investigación endógena de nuestro propio entorno tropical, que tiene la mayor actividad de rayos del planeta, para lograr equipos de un comportamiento confiable y compatible desde el punto de vista electromagnético (Torres, 2024).

Álvarez Lleras afirmaba en su primer artículo que el origen de muchos fenómenos meteorológicos permanecía en el territorio del misterio, a pesar de los trabajos de físicos eminentes por dilucidarlos. Ignoramos, por ejemplo, cómo se forma la lluvia en las nubes y cómo procede el rayo en las perturbaciones tempestuosas de la atmósfera. Con respecto a esto último, desde mediados del siglo XVIII se han llevado a cabo experimentos orientados a estimar la carga eléctrica contenida en las nubes de tormenta (Aranguren, 2011). Algunos de los primeros y más importantes fueron los realizados por Benjamín Franklin entre 1746 y 1762; con ellos comprobó definitivamente que las nubes de tormenta y el rayo eran fenómenos eléctricos (Kridler, 2004).

El primer estudio sistemático de los cambios del campo eléctrico producidos por rayos lo hizo en 1920 Wilson y después, en 1929, Whiple continuó explorando este campo. En 1916 Wilson proporcionó las bases matemáticas del modelo de carga puntual para la representación de descargas nube-tierra e intranube, e introdujo los conceptos relativos al momento de carga. Asimismo, presentó las mediciones hechas entre 1914 y 1915 en el Solar Physics Observatory en Cambridge, Inglaterra (Wilson, 1920), utilizando una placa de medida (*test plate*) instalada a nivel del suelo sobre un volumen cilíndrico de tierra que se conectaba con el resto del terreno a través de un electrómetro capilar. Para apantallar la placa de medida, el sistema contaba con un aparato mecánico que se podía operar mediante poleas desde una caseta ubicada a 14 m del lugar de medida.

Estos trabajos pioneros de mediados del siglo XVIII y principios del XX se enfocaron en la medición de parámetros eléctricos del rayo. En su artículo Álvarez Lleras planteaba cómo procede el rayo en las perturbaciones tempestuosas de la atmósfera y que, hasta esa fecha, la ciencia meteorológica había sido simplemente cualitativa e ignoraba el origen de muchos fenómenos en los cuales el movimiento del aire jugaba un papel importantísimo.

Entre 1917 y 1940 Álvarez Lleras desarrolló su teoría de Meteorología tropical y la expuso en tres capítulos: en los dos primeros discute de manera general las ecuaciones del movimiento de los fluidos, hace consideraciones sobre el equilibrio de la atmósfera y establece las ecuaciones de movimiento del aire para llegar a la conclusión de que el viento debe soplar hacia el este desde el polo hasta el paralelo  $35^{\circ} 16'$  y desde allí hasta el ecuador. Para llegar a tal conclusión estudió el movimiento y la presión de la atmósfera asumiendo que la temperatura era uniforme y haciendo abstracción del roce contra la superficie terrestre, en lo que constituye un aporte importante al conocimiento meteorológico de principios del siglo XX.

El científico estableció que si se observa en diferentes lugares de la tierra el ángulo de la isobara (de igual presión atmosférica media) con la velocidad del aire, se concluye que dicho ángulo satisface las siguientes leyes:

- en cada latitud tal ángulo tiene un valor constante, siendo este mayor en la tierra que en el mar, y
- el ángulo crece en las mismas circunstancias con la latitud hasta aproximarse a los  $90^{\circ}$  en el ecuador.

A partir de estos análisis matemáticos y físicos, Álvarez Lleras planteó su teoría así:

*... de los estudios realizados, ha ido saliendo un cuerpo de doctrina que puede llamarse Meteorología Tropical, y que presentamos en forma de lecciones, cuyo fundamento principal procede de las instrucciones que en alguna época anterior recibimos de nuestro antecesor el ilustre astrónomo Garavito...*

## Discusión y reflexiones

Al revisar la bibliografía actual sobre Meteorología tropical en diversos motores de búsqueda, los nombres de Álvarez Lleras y Garavito Armero no aparecen referenciados como tampoco los resultados de sus investigaciones. Se plantea, entonces, una pregunta fundamental: ¿Por qué los resultados de la investigación científica, rigurosa, sistemática y profunda sobre Meteorología tropical de Álvarez Lleras, basada en la física y en modelos matemáticos, no trascendieron a nivel mundial, siendo que tales resultados, la teoría y los modelos constituyen la base del desarrollo posterior de la ciencia meteorológica?

A partir de este interrogante, se proponen para la discusión académica las siguientes cinco reflexiones.

## El obstáculo epistemológico

Uno de los grandes aportes del epistemólogo Gaston Bachelard a la moderna teoría del conocimiento fue, sin duda alguna, el concepto de obstáculo epistemológico, es decir, las dificultades psicológicas que impiden una correcta apropiación del conocimiento objetivo (Bachelard, 1987). Sir Francis Bacon, por su parte, argumentó vigorosamente en contra del método aristotélico de la adquisición de conocimiento, planteando que su principal debilidad consistía en partir de ideas preconcebidas (idealizaciones) y buscar pruebas que se ajustaran a ellas. Bacon plantea que hay cuatro clases de ídolos que asedian la mente del hombre, a los cuales asignó estos cuatro nombres: los ídolos de la tribu, los ídolos de la cueva, los ídolos del mercado y los ídolos del teatro (Bacon, 1984).

Una primera hipótesis que se propone para la discusión es que, aunque ni Gaston Bachelard ni Francis Bacon, ilustres epistemólogos, lo mencionan, se considera que hoy existe un obstáculo epistemológico adicional, producto del avance en el conocimiento de la naturaleza y la tecnología en los países llamados desarrollados, e incluso en los emergentes, de América, Europa o Asia. La comunidad científica de dichos países tiene verdadera dificultad a la hora de reconocer nuevos conocimientos y avances si estos no han sido enunciados o publicados previamente por sus propios representantes (Torres, 2021).

Esta hipótesis de los obstáculos epistemológicos puede enmarcarse en la tesis de los investigadores sociales y profesores eméritos colombianos Luis Eduardo Mora Osejo y Orlando Fals Borda, quienes publicaron un interesante manifiesto sobre la superación del eurocentrismo que sigue siendo válido hoy (Mora-Osejo & Fals-Borda, 2003). Una de las afirmaciones de este manifiesto de hace 22 años sigue siendo válida:

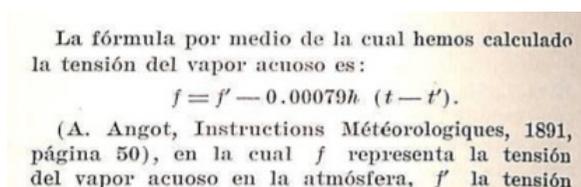
*En nuestro país como en muchos otros es aceptada la validez del conocimiento científico originado en Europa y luego con gran éxito transferido a Norteamérica. Quizás en razón de tal éxito se llega al extremo de considerarlo también, suficientemente adecuado, tanto en su modalidad básica como aplicada, para explicar las realidades en cualquier lugar del mundo, incluidas las de los trópicos húmedos. Tan elevado aprecio por el conocimiento originado en Europa de frente a las realidades naturales, culturales y sociales de ese continente, impide percibir las consecuencias negativas que ello implica cuando se transfieren y se intenta utilizarlos para explicar realidades tan diferentes como las que son propias del medio tropical complejo y frágil, y sobre todo tan diferente al de las zonas templadas del planeta.*

Este eurocentrismo produce anomia social y una incapacidad de la sociedad, en este caso la colombiana, para adquirir instrumentos de comprensión de su propia realidad y, por otro lado, demuestra ser destructivo para el medio ambiente natural y la biodiversidad.

Es indudable que la hipótesis aquí planteada debe ser en el futuro inmediato una bandera del Colegio Máximo de las Academias liderado por la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, con el fin de discutirla y poner el foco sobre el tema del eurocentrismo y la forma de superarlo.

### Dificultad de la trazabilidad bibliográfica

Además de los obstáculos epistemológicos, en sus primeros volúmenes la revista de la Academia no mantenía una bibliografía rigurosa y sistemática, por lo que resulta muy difícil rastrear los antecedentes del contenido de los artículos. Por ejemplo, en los escritos de Garavito (**Figura 1**) se hace referencia a publicaciones de autores sin aclarar si se trata de revistas o libros, y sin mencionar las editoriales en las que fueron publicados, cuando en revistas de fechas anteriores a las publicaciones de Álvarez Lleras y Garavito aparecidas en otros países europeos o en Estados Unidos ya se presentaba sistemáticamente la bibliografía.



**Figura 1.** Ejemplo de un artículo de Julio Garavito donde la referencia se encuentra dentro del texto

### Profesión Vs. disciplina

Es totalmente cierto que la formación en ingeniería se basa en la aplicación de las ciencias básicas, pero rara vez se analizan los importantes aportes que la ingeniería como disciplina ha hecho al avance del conocimiento de las ciencias básicas y cómo sus resultados se han ido integrando en la formación profesional. Un ejemplo paradigmático son las investigaciones de los ingenieros Garavito Armero y Álvarez Lleras. Hoy en día no hay una clara distinción entre los ingenieros y los científicos, posiblemente por la fuerte conexión que actualmente existe entre la ciencia y la tecnología.

Aunque según la epistemología el método ingenieril es diferente al método científico, y el ingeniero se desenvuelve en el ámbito del mundo real y concreto, es posible demostrar con ejemplos como los de los ingenieros Álvarez Lleras y Garavito Armero, que el método ingenieril aporta al método científico cuando se establece conceptualmente que la ingeniería no solamente es una profesión sino una disciplina.

### El trabajo interdisciplinario de investigación

Colombia es un país muy joven en investigación científica sistemática, en tecnología e innovación, con una trayectoria de apenas un siglo, en tanto que en otras latitudes el desarrollo de la investigación científica abarca siglos.

Por otro lado, la educación superior en Colombia sigue teniendo la docencia como sustrato académico de una organización basada en facultades, con lo que no ha logrado independizar y coordinar las profesiones y las disciplinas en torno a la investigación científica y la formación de profesionales.

Históricamente, con anterioridad a 1965 y el predominio de las profesiones clásicas (Ingeniería, Medicina, Derecho, Artes y Agronomía), la cátedra universitaria fue un mecanismo que permitió que dos procesos de recontextualización, entendidos siguiendo a **Torres** (2015b) como procesos de *selección y jerarquización de conocimientos, formados en un contexto y adecuados para tener sentido y utilidad en otro contexto*, se coordinaran. Esos dos procesos eran, por un lado, el de la práctica en las empresas donde ejercía como profesional el eminente docente y, por otro, el que tenía lugar a través de las instituciones de educación como la universidad.

En 1965, con la reforma Patiño en la Universidad Nacional de Colombia y otras que se produjeron en América Latina por la misma época, esos dos procesos de recontextualización se separaron, con lo cual se ganó autonomía académica universitaria, pero se perdió la importante y necesaria relación con el llamado sector productivo, lo que aún sigue vigente cuando se revisan los reglamentos referentes al registro calificado o la acreditación de programas académicos en Colombia.

## **Engranajes necesarios para incentivar la investigación científica, la tecnología y la innovación propias**

Colombia se ha caracterizado por ser un país consumidor de tecnologías foráneas y no ha logrado generarlas a partir de la aplicación de las ciencias básicas. Existen, sin embargo, excelentes ejemplos: en el sector energético se han desarrollado transformadores y motores eléctricos que constituyen aportes y soluciones tecnológicas basadas en la investigación de los parámetros del rayo en la zona tropical terrestre; en el área agrícola, en el centro de investigaciones de Cenicafe se han logrado semillas mejoradas más productivas, y en el campo de la metalmecánica se hacen autopartes y se ha desarrollado *software*, todo lo cual demuestra la gran capacidad y el talento colombiano.

Sin embargo, aún falta la decisión política que involucre los engranajes necesarios para incentivar la investigación y la innovación propias, ligándolas a la productividad sin eliminar el espíritu académico de los investigadores a nivel nacional. En las principales instituciones de educación superior del país se requiere un nuevo sustrato académico en ciencia y tecnología, así como espacios propios y autónomos de investigación científica, llámense centros, institutos, parques o ciudadelas, que potencialicen el trabajo interdisciplinario más allá de la organización docente.

Hoy en día la gran mayoría de las instituciones de educación superior colombianas y latinoamericanas mantiene un modelo de organización por facultades idóneo para la formación de profesionales. En este sentido, resulta contradictorio que el artículo 20 de la **Ley 30 de 1992** reconoce únicamente este modelo de universidad para Colombia y en la actual propuesta de reforma no se plantea este aspecto fundamental. Así, el artículo mencionado, modificado por el artículo 263 del Decreto 1122 de 1999, considera como universidades aquellas instituciones que demuestren tener experiencia en investigación científica de alto nivel y programas académicos y de Ciencias Básicas que la sustenten. Sabemos muy bien que muy pocas instituciones pueden demostrar esto en Colombia. Resulta interesante anotar, además, que dichas exigencias claramente provienen de la reforma Patiño de 1965.

La investigación científica con resultados tecnológicos no le pertenece a la ingeniería, la medicina, la agronomía o las ciencias básicas por separado. Es cierto que los grupos de investigación en Colombia y sus estudios han nacido en la estructura de facultad, pero cuando se avanza hacia la generación de nuevo conocimiento, este deja de pertenecer a la facultad o escuela y se convierte en un trabajo de varias disciplinas que encuentra dificultades para su desarrollo por el estrecho esquema que actualmente ofrecen las escuelas o facultades.

Hay diversos factores que deben estudiarse sistemática y holísticamente a partir de categorías conceptuales de interdisciplinariedad para la acertada aplicación de tecnologías disruptivas. Dichas categorías conceptuales incluyen el ambiente sociopolítico, el desarrollo económico, la variedad de climas, la orografía, la geografía y, por supuesto, las instituciones, la cultura y la idiosincrasia. De ahí que los modelos de formación profesional del futuro no puedan ser uniformes y rígidos, sino adaptables a unas exigencias muy variadas y cambiantes.

El ejemplo paradigmático que se ha planteado aquí sobre el entorno tropical colombiano evidencia la importancia y la trascendencia de la adaptación de la investigación científica, el desarrollo tecnológico y la innovación a la realidad del país. Porque si en los países ubicados en la zona intertropical terrestre se aplican indiscriminadamente los conocimientos y las

soluciones difundidas a través de las revistas y los libros de otras latitudes en torno a temas como la biotecnología, la nanotecnología, los nuevos materiales, el abastecimiento de agua, la necesidad de fuentes no convencionales de energía, el cambio climático, y tantos otros asuntos neurálgicos aparentemente similares a los de otras regiones del planeta, las soluciones probablemente no serán las más beneficiosas, convenientes ni favorables para nuestro entorno porque “Todos los pueblos tenemos problemas similares, pero diferentes maneras de solucionarlos”, y la mejor manera de solucionar los problemas propios de nuestro entorno es invirtiendo en ciencias básicas y tecnología.

📍 **Horacio Torres Sánchez**

Profesor Emérito Universidad Nacional de Colombia, Miembro de Número Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Investigador Emérito MinCiencias

## Referencias

- Álvarez-Lleras, J.** (2017). Contribución a la meteorología colombiana. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 41(Suplemento), 491-515. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.584>
- Álvarez-Lleras J.** (1940). Elementos de Meteorología Tropical. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 3(12), 439-447. <https://raccefyn.co/index.php/raccefyn/issue/view/48/179>
- Aranguren, D.** (2011). Desempeño de sensores de campo electrostático en sistemas de alerta de tormentas. Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Bachelard, G.** (1987). *La formación del espíritu científico*. Editorial Siglo XXI.
- Bacon, F.** (1984). *Novum Organum Aforismos sobre la interpretación de la naturaleza y el reino del hombre*. Ediciones Orbis, S.A.
- Garavito A, J.** (1940). El clima de Bogotá. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 3(12), 361-372.
- Krider E.P.** (2004). *Benjamin Franklin and the First Lightning Conductors*. International Commission on History of Meteorology.
- Ley 30 de 1992.** (1992). Por la cual se organiza el servicio público de la educación superior. Función Pública, Colombia.
- Mora-Osejo, L.E. & Fals-Borda, O.** (2003). *La superación del Eurocentrismo, Enriquecimiento del saber sistémico y endógeno sobre nuestro entorno tropical*. Libro manifiesto, Biblioteca Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- Pabón, J.D.** (2017). Jorge Álvarez Lleras (1885-1952). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 41(Suplemento), 491. <https://raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/584/374>
- Proceedings of the Second Scientific Pan American Congress.** (1917), Washington DC, USA, 1917.
- Torres, H.** (2024). Problemas en la confiabilidad eléctrica de aerogeneradores y celdas fotovoltaicas. *Revista Mundo Eléctrico. Bogotá*, 147,31-34.
- Torres, H.** (2021). The epistemological obstacle in electromagnetism. *Revista Dyna*, 88 (217). <https://doi.org/10.15446/dyna>.
- Torres, H.** (2017). La interdisciplinariedad en la ciencia del rayo. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 41(159), 174-186. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.475>
- Torres, H.** (2015a). *El rayo en el trópico, certezas temporales de investigación sobre el fenómeno del rayo*. Colección apuntes maestros, Editorial Universidad Nacional de Colombia.
- Torres, H.** (2015b). *La reforma que marcó a las universidades colombianas*. UN Periódico No. 185.
- Unidad de Planeación Minero-Energética, UPME.** (2020). *Plan Energético Nacional, 2020-2050*. Unidad de Planeación Minero-Energética, UPME
- Whipple, F.J.W.** (1929). On the association of the diurnal variation of electric potential in the weather with the distribution of thunderstorms over the globe. *Quaternary Journal of the Royal Meteorologic Society*, 55, 1-17.
- Wilson, C.T.R.** (1921). III. Investigations on lighting discharges and on the electric field of thunderstorms. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character*, 221 (73-115). <http://doi.org/10.1098/rsta.1921.0003>