



EXPERIENCIAS DE LA UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO, SEDE TUNJA, EN EL APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE

EXPERIENCIES OF THE ANTONIO NARIÑO UNIVERSITY, TUNJA CAMPUS ON USE THE RENEWABLE ENERGY SOURCES

Batista,C.R. * Urquiza, R.I. **

* **PhD. Carlos R. Batista-Rodríguez** Universidad Antonio Nariño, Tunja, Facultad FIMEB, Grupo de investigación REM. Cra 7 No. 21-84, Tunja, Boyacá, Colombia.

Cell: (57)3162985076, carlos.batista@uan.edu.co.

** **PhD. Rosa I. Urquiza-Salgado** Universidad de Holguín, Facultad de Informática y Matemática.

Ave XX Aniversario s/n, Holguín, Holguín, Cuba.

Cell: (53)53561284, rurquiza@uho.edu.cu.

Abstract: The existence of zones without electric energy is a reality nowadays at developing countries. The fundamental cause is given by high historical costs. The situation at some municipalities of Boyacá's department is similar, for that reason the investigations of the Antonio Nariño University, specifically at Tunja campus are related with the use of solar and aeolian energy, to be utilized at non-interconnected zones. At the paper are presented the experiences in the development of technologies using the renewable energy sources and recycled materials, with competitive pricing on the market. Obtained results are: a solar heater, a solar hydraulic mechanical tracker and a machine of conduits are on patents process; also have been built a vertical and an horizontal wind turbine as prototypes; and a solar disk concentrator. All those achievements, based in studies accomplished since 2015, have been materialized by students through their grade projects.

Keywords: Eolic energy, Solar energy, development of technologies, Tunja.





Resumen: Las zonas no electrificadas son una realidad presente en países en vías de desarrollo, siendo la causa fundamental los altos costos de inversión. Esta situación se manifiesta en algunos municipios del departamento de Boyacá, por lo que en la sede Tunja de la Universidad Antonio Nariño se desarrollan investigaciones relacionadas con el desarrollo de tecnologías que aprovechen la energía solar y eólica para ser utilizadas en zonas no interconectadas. En el trabajo se presentan las experiencias utilizando materiales locales y reciclables, con precios competitivos en el mercado. Los resultados obtenidos son: solicitud de patente de un calefactor solar, un seguidor solar hidráulico mecánico y una máquina manufacturadora de conductos; se han construido turbinas verticales y horizontales a nivel de prototipo y un disco solar concentrador. Todos esos logros, basados en estudios realizados desde el año 2015, han sido materializados por los estudiantes en sus trabajos de grado.

Palabras clave: Energía eólica, energía solar, desarrollo de tecnologías, Tunja.

1. INTRODUCCIÓN

Las fuentes de energía renovables (FER) han estado presentes en la vida humana desde la aparición del hombre. En la era primitiva y hasta el desarrollo de la Revolución Industrial del siglo XVII fueron aprovechadas por el hombre para su alimentación; la protección ante el frío (quema de madera); en su trabajo (molinos de viento); en su transportación (embarcaciones a vela). Con el descubrimiento del carbón mineral, el petróleo, el gas natural y el uranio, el aprovechamiento de las FER de forma extensiva se extinguió, quedando su uso en formas o producciones aisladas sin mayor importancia económica o social.

Solo con la crisis petrolera en los años 70 del pasado siglo, los estudios de contaminación ambiental y los desastres nucleares ocurridos en las últimas décadas han llevado al despertar de la necesidad de mirar hacia atrás y, con el apoyo del desarrollo de la Ciencia y la Técnica, lanzarse de nuevo a la conquista del aprovechamiento de las FER.

Sin embargo, el relativo empleo de las FER solamente se ha logrado en los países de mayor desarrollo científico-técnico, donde grandes empresas monopolizan la producción de instalaciones y maquinarias para convertir las fuentes de energía alternativas en electricidad y exportar dichas tecnologías a países en vías de desarrollo.

Por otro lado, el período de recuperación de las inversiones es prolongado, dejando al final bajos márgenes de utilidad en su operación. Todo lo anterior ha traído consigo, de forma contradictoria, que países que no disponen de recursos petroleros continúen con la operación de grandes plantas termoeléctricas, dependiendo de los precios del crudo y afrontando las inevitables consecuencias sociales, medioambientales y políticas para dichos países.

En la actualidad, el 9,1% de la energía producida mundialmente proviene de las fuentes de energía renovables. La energía





solar ha recibido financiamientos récord en China y Japón, e igualmente ocurrió en Europa con el financiamiento de la energía eólica costera (Behrendt, 2015).

¿Por qué las potencialidades de las fuentes locales de energía renovable (FLER) no son aprovechadas por los países en vías de desarrollo? ¿Por qué aún existen territorios que no disponen de energía eléctrica? ¿Por qué las empresas privadas no están dispuestas a invertir en este sector? Quizás algunas de estas preguntas podrían ser respondidas analizando los pronunciamientos de autoridades e investigadores colombianos.

Según (Benavides, 2011), en Colombia no existe una oferta importante de cursos en materia de energía renovable, ni formales ni informales. Esto se debe, fundamentalmente, a la consideración generalizada en los diferentes ámbitos de que la generación de energía predominantemente hidroeléctrica satisface los requerimientos energéticos del país. El sistema formal de educación sigue egresando profesionales en ingenierías con marcados enfoques clásicos, sin profundizar en temas de manejo de vientos, sol, biomasa, etc.

En las conclusiones de (García, Corredor, Calderón, & Gómez, 2013) se plantea que en Colombia existe potencial para el desarrollo de energías renovables no convencionales; sin embargo, la estructura regulatoria actual hace que la diferencia en rentabilidad entre estas tecnologías y las convencionales se incremente, dificultando su entrada en el mercado.

Las fuentes de energía renovables (FER)

Las FER son aquellas fuentes de energía que existen por lo menos en alguna región del planeta y cuyo uso no altera el equilibrio térmico del mismo, que no genera residuos irrecuperables y cuya velocidad de consumo no sea superior a la velocidad de regeneración de la fuente energética (Carta, 2009). Entre ellas se tienen: biomasa, eólica, hidráulica, solar, geotérmica y marina.

Las fuentes locales de energía renovable (FLER)

Las FERL son aquellas fuentes de energía renovable que se pueden localizar físicamente en una localidad ubicada geográficamente en un municipio, donde existe una población o comunidad con límites geográficos bien establecidos; fuentes tales que su aprovechamiento respondería a las necesidades locales, sin requerir la creación de redes de distribución de la energía producida, con sus consecuentes pérdidas.

Las FLER se caracterizan por:

- Existencia física o geográfica: depende de la ubicación geográfica de la localidad analizada. Es decir, bajo cualquier circunstancia las fuentes de energía solar, eólica y la biomasa están presentes, pero otras como la energía hidráulica, geotérmica y marina pueden o no existir en la localidad.
- Potencial energético disponible: es el umbral mínimo de aprovechamiento de cada una de las fuentes de energía renovable que existen físicamente en la localidad, a partir de las tecnologías de aprovechamiento conocidas en la actualidad por el hombre.

Es de notar que las fuentes de energía renovable locales son por excelencia la eólica y la solar.

Energía eólica





La energía eólica es considerada muy promisorio como fuente de energía renovable. Se estima que cubrirá un 20% de la demanda de energía eléctrica global para el año 2020, siendo una inagotable y renovable fuente de energía disponible en cualquier parte del planeta (Dumitrescu, Mălăeș, Drăgan, & Gherman, 2015).

El viento es el aire en movimiento, se caracteriza por su velocidad media y su dirección de procedencia (Martinez, 2015). El origen del viento está dado por el calentamiento desigual de la superficie de la Tierra por la radiación solar, de la dilatación de aire y de la fuerza gravitatoria, por lo que se generan movimientos convectivos en el aire (ascendencias y subsidencias), que a su vez dan lugar a corrientes horizontales de compensación.

El aprovechamiento del potencial eólico disponible en las localidades está dado por las características de los vientos y las características técnicas de las turbinas a instalar (Burton, Sharpe, Jenkins, & Bossanyi, 2001).

Energía solar

Del Sol se reciben radiaciones electromagnéticas (fotones, sin masa en reposo, que tardan 8 minutos en llegar, viajando a la velocidad de la luz) y radiaciones de partículas (protones y electrones a alta velocidad, mayor que los 618 km/s de escape del Sol, con una velocidad terminal media de 400 km/s y un flujo de unas $500 \cdot 10^{12}$ part./ $(m^2 \cdot s)$) (Martinez, 2015).

Las características principales de las radiaciones electromagnéticas son:

- Potencia (la irradiancia G es la potencia por unidad de área normal a la dirección de propagación).
- Distribución espectral (distribución de esa potencia en las diferentes

longitudes de onda que la integran, E_λ).

La radiación incidente sobre la superficie terrestre, como resultado de los procesos de atenuación, tiene tres características generales: la escasa intensidad, dado que presenta un promedio de 1 kWh/m^2 ; la intermitencia, que depende de la alternancia entre día y noche; la poca uniformidad, porque se concentra sobre todo entre las latitudes $\pm 30^\circ$ (Bernardelli, 2010).

2. DESARROLLO

2.1. Necesidades y deseos de electrificación

La necesidad de llevar la energía eléctrica a zonas no electrificadas de muchas regiones del planeta es una realidad que por los medios convencionales no se podrá lograr, debido a que muchas localidades son aisladas, con densidad poblacional muy pequeña y de difícil acceso. Todo indica que solamente se podrían satisfacer dichas necesidades con el desarrollo de micro tecnologías de bajo costo, capaces de aprovechar la energía del viento y/o del Sol.

La energía eólica y la solar se pueden convertir en energía eléctrica con el desarrollo de aerogeneradores y por medio de paneles fotovoltaicos o dispositivos concentradores, respectivamente.

Atendiendo a la necesidad de electrificar las zonas rurales en los países en vías de desarrollo, las tecnologías de electrificación rural y los suministradores de éstas deben cumplir un grupo de requisitos mínimos, para la viabilidad de su uso, como son:

1. Mayor eficiencia técnico-económica (Wh/\$) que las tecnologías actuales. Significa una mejor relación entre la energía generada y los costos de fabricación, operación y





mantenimiento, facilitando su comercialización.

2. Procedimientos de montaje y mantenimiento de baja complejidad, que puedan ser ejecutados por el usuario final.
3. Aprovechamiento de materiales de producción local y/o reciclable, favoreciendo la protección del medio ambiente.
4. Altos índices de fiabilidad.

2.2. Realidades para la electrificación con FLER de zonas no interconectadas

Es de notar que en las zonas no electrificadas, por sus mismas características, es frecuente la carencia tanto de información sobre datos fundamentales, como de recursos logísticos, imprescindibles para acometer variantes de electrificación a partir de las FLER. Entre tales dificultades se identifican las siguientes:

1. No se conoce el potencial real de la energía eólica y solar de cada localidad en específico.
2. Se desconoce con exactitud la demanda de energía para cada punto en particular.
3. No se dispone en el mercado de micro tecnologías con costos razonables para producir la energía eléctrica requerida por la población en dichas zonas.
4. No se dispone de infraestructura ni recursos para realizar el estudio de potencial de energía disponible, ni de la demanda.
5. Las instituciones gubernamentales y de educación superior no juegan un rol preponderante con el objetivo de propiciar el estudio y desarrollo de tecnologías que permitan cambiar la situación actual.

2.3. Acciones, experiencias y resultados en la Universidad Antonio Nariño, sede Tunja

A tenor con lo anterior, en la sede Tunja de la Universidad Antonio Nariño (UAN) desde el año 2015 se han desarrollado actividades encaminadas a fortalecer, en el ámbito investigativo y docente, un grupo de iniciativas, que pueden resumirse en.

- Establecimiento de la línea de investigación “Tecnologías para el aprovechamiento de fuentes de energía renovable”, para propiciar el desarrollo de trabajos de grado, así como investigaciones de maestrías y doctorados, dentro de las temáticas de protección del medio ambiente y aprovechamiento de las FLER.
- Elaboración de proyectos de investigación que promuevan el apoyo con financiamiento interno de la UAN, para el desarrollo de investigaciones en dicha dirección.
- Adquisición de la instrumentación mínima necesaria para despegar en el estudio de las potencialidades locales de que se dispone con la energía eólica y solar.
- Elaboración de proyectos de investigación que promuevan el apoyo del gobierno del territorio, así como de instituciones, empresas y organizaciones no gubernamentales, con el objetivo de buscar financiación para promover el desarrollo del aprovechamiento de las FLER.
- Creación de semilleros de investigación, tanto en las temáticas de protección del medio ambiente y evaluación de potencialidades energéticas renovables locales, como en el estudio y desarrollo de tecnologías para el aprovechamiento de las FLER.
- Proyección de asignaturas electivas para los diferentes programas existentes en la Institución que profundicen en la protección del medio ambiente y en el desarrollo de tecnologías que aprovechen las FLER.
- Establecimiento de contactos con otras IES del territorio para crear grupos de investigación interinstitucionales.





- Realización de visitas a gobiernos de las localidades con un alto grado de necesidades de recursos energéticos, para ofrecer posibilidades de desarrollo de investigaciones en el territorio.
- Establecimiento de temas de investigación relacionados con:
 1. Estudio del potencial eólico y solar de la localidad.
 2. Desarrollo de calefactores solares de bajo costo que sean competitivos para introducirlos en el mercado.
 3. Desarrollo de seguidores solares de bajo costo para su uso en paneles solares tradicionales.
 4. Desarrollo de discos solares para la producción de energía eléctrica.
 5. Estudio de materiales locales para su uso como materiales absorbentes de la radiación solar.
 6. Estudio de propiedades físicas y mecánicas de algunos polímeros para su uso en la fabricación de elementos de máquinas para diferentes tecnologías.
 7. Estudios de materiales para acumuladores térmicos.
 8. Estudio de la factibilidad de desarrollo de tecnologías híbridas modulares que en una misma instalación aprovechen la energía eólica y solar.

3. RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación, se presentan experiencias y resultados obtenidos en los últimos tres años en la sede Tunja relacionado con el estudio y desarrollo de tecnologías para el aprovechamiento de la energía eólica y solar.

1. Adquisición de equipos de medición, de la energía solar y la energía eólica como son: albedómetro (ver imagen 1), anemómetros y sensor de temperatura ambiental (ver Imagen 2), así como Datalogger para el registro y almacenamiento de los datos (Imagen 3).

Imagen 1. Albedómetro



Fuente. Autor

Imagen 2. Anemómetro



Fuente. Autor

Imagen 3. Datalogger



Fuente. Autor

2. Adquisición de un módulo fotovoltaico, compuesto por panel solar, regulador y batería, el cual está instalado en el área de la



universidad para su estudio, ver Imagen 4.

Imagen 4. Montaje de panel solar por estudiantes



Fuente. Autor

- Adquisición de un calefactor solar instalado en el área de la universidad para su estudio (Imagen 5).

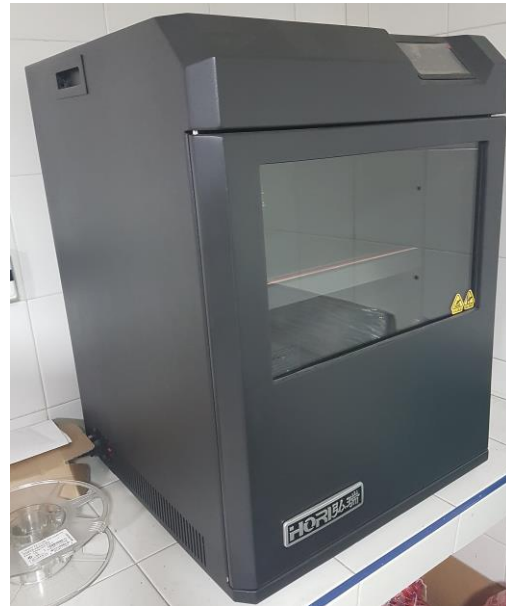
Imagen 5. Calefactor solar



Fuente. Autor

- Adquisición de impresora 3D, para la fabricación de diferentes elementos de máquinas de tecnologías de aprovechamiento de la energía eólica y solar a desarrollar en la sede (ver Imagen 6).

Imagen 6. Impresora 3D



Fuente. Autor

- Adquisición de otros instrumentos y sensores, como sensores de temperatura PT, piranómetro infrarrojo, medidor de espesores, medidor de flujos, entre otros. Ver Imagen 7.



Imagen 7. Medios de medición

Fuente. Autor

A partir de la disponibilidad de los equipos y sensores se creó un área de investigación en la planta superior de las instalaciones de la universidad, donde se realizan las mediciones de las variables y su posterior procesamiento y estudio. Con los datos obtenidos se procedió a trabajar en el diseño, construcción y ensayos de



diferentes tecnologías, según se describe a continuación.

1. Diseño, construcción y ensayo de un calefactor solar.

A partir de la comparación del calefactor solar con un calefactor eléctrico también adquirido se procedió a diseñar un calefactor que reuniera las mejores condiciones de ambos equipos estudiados. Se generó su diseño, a partir del mismo hasta la actualidad se han construido dos prototipos, en la actualidad se trabaja en un tercero. El prototipo de calentador solar presentado en la Imagen 8 está actualmente en proceso de ser patentado, en el mes de julio de 2017 fue radicada la solicitud de patente en la Superintendencia de Industria y Comercio de la República de Colombia.

Imagen 8. Calefactor solar desarrollado



Fuente. Autor

2. Diseño, construcción y ensayos de seguidores solares de bajo costo.

Teniendo en cuenta la posibilidad que brindan los seguidores solares de mejorar la eficiencia de los paneles solares, entre un 40-50% y dado que para el desarrollo de discos solares concentradores es necesario disponer de seguidores solares, se realizaron diferentes estudios sobre los seguidores solares disponibles actualmente en el mercado. Para ser utilizados en el

desarrollo de micro tecnología, fueron evaluados sus altos costos de fabricación; por lo que han sido desarrollados varios posibles modelos de seguidores de bajo costo con consumo eléctrico mínimo y que dispongan de movimiento en los planos azimutales y cenitales, como se muestra en la Imagen 9. Uno de los modelos fue sometido a la Convocatoria 793 de Financiamiento de Invenciones y Patentes, lográndose financiamiento para el estudio de su posible patentabilidad.

Imagen 9. Seguidor solar desarrollado



Fuente. Autor

3. Diseño, construcción y ensayo de un disco solar concentrador

La producción de energía eléctrica a partir del uso de paneles fotovoltaicos hasta la actualidad no es competitiva respecto a la producción de energía eléctrica con fuentes de energía convencionales. Realizados diferentes estudios sobre el aprovechamiento de la energía solar térmica, se hizo notar que una de las tecnologías que prometen en su desarrollo es la de los discos solares concentradores, por su modularidad y capacidad de transformar la energía solar en energía térmica de altas temperaturas. Con los antecedentes anteriores se procedió al diseño y construcción de un prototipo de



disco solar concentrador, que se muestra en la Imagen 10. Al realizar ensayos se pudo registrar temperaturas de hasta 532°C en algunos instantes de tiempo, de forma más regular fueron alcanzadas temperaturas entre 350°C y 400°C.

4. Diseño y construcción de turbinas eólicas verticales

El uso de las turbinas eólicas es promisorio para la producción de energía eléctrica de forma masiva interconectada a la red. Sin embargo, para la producción de energía eléctrica a partir de la energía eólica en zonas pobres no interconectadas se necesitan máquinas duraderas, eficientes y de bajo costo. Por tanto, se procedió a estudiar diferentes tipos de modelos de turbinas existentes en el mercado. Se arribó a la conclusión de que las turbinas verticales son muchos más fáciles de diseñar y construir, aunque es conocida su menor eficiencia respecto a las horizontales. Con tales elementos en consideración se han podido diseñar y construir varios modelos de turbinas verticales, en particular los modelos Savonius y turbinas híbridas a partir de los modelos Savonius y Darreious, como se muestra en la Imagen 11. Los modelos, construidos a escala, están en proceso de pruebas y ensayos.

Imagen 10. Disco solar desarrollado



Fuente. Autor

Imagen11. Turbina vertical híbrida



Fuente. Autor

5. Diseño, construcción y ensayos de sistemas híbridos.

A tenor con la necesidad de producir energía eléctrica a partir de la energía solar y eólica a bajos costos y teniendo en cuenta que en algunas localidades solo se dispone del potencial de unos de esos dos tipos de energía renovable, se ha pensado en el desarrollo en una instalación que disponga a la vez de paneles solar, o discos solares concentradores, y turbinas eólicas. En la actualidad se desarrolla una turbina eólica vertical con panel solar incorporado, que la convierte en un sistema híbrido, como se muestra en la Imagen 12, prototipo de máquina en proceso de estudio y perfeccionamiento.

Imagen12. Sistema híbrido en desarrollo



Fuente. Autor



Los estudios realizados y el desarrollo de diferentes tecnologías han permitido profundizar en las investigaciones en el desarrollo de los trabajos de grado de los estudiantes (ver Imagen 13) y consolidación de los trabajos en semilleros investigativos.

Los resultados alcanzados han sido socializados, para su conocimiento y posible generalización, de diferentes formas. Por una parte, se ha podido participar en eventos científicos, para exponer las experiencias que se van acumulando en el aprovechamiento de las fuentes de energía renovable. Por otra, también se han identificado y aprovechado oportunidades existentes, como se aprecia en la siguiente relación:

- Presentación de ponencia en el Congreso Internacional de Energía en la Ciudad de México.
- Presentación de ponencia en el II Congreso Internacional y V Nacional de Ingeniería Electromecánica de la UPTC.
- Sustentación de varios trabajos de curso por estudiantes de los programas de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Electromecánica, sobre diseño, construcción y ensayos de turbinas eólicas, calentadores solares y seguidores solares.

Imagen 13. Presentación de temas para proyectos de curso.



Fuente. Autor

- Firma de convenios marcos de trabajo con universidades nacionales e internacionales (España, México).
- Desarrollo de Proyecto de investigación con financiación de UAN.
- Alianza de trabajo con universidades como la UNAD, UPTC y Juan de Castellanos.
- Artículos publicados, en revistas colombianas y el extranjero.

4. CONCLUSIONES

Fueron estudiados los antecedentes del aprovechamiento de las FLER en zonas no interconectadas al sistema eléctrico de varios países en vías de desarrollo; cuáles son las tecnologías disponibles actualmente en el mercado y sus costos de adquisición, montaje, operación y mantenimiento; así como las investigaciones llevadas a cabo por varias instituciones respecto al desarrollo de tecnologías domesticas para el aprovechamiento de las FER. Se llegó a la conclusión de que las tecnologías disponibles no son factibles de adquisición para estos fines, por sus costos y complejidad en zonas no interconectadas para familias pobres. La Universidad Antonio Nariño trabaja en el desarrollo de micro tecnologías de bajo costo para llevar la energía eléctrica a zonas aisladas y se considera que las acciones y experiencias de la Universidad Antonio Nariño, sede Tunja, pueden ser generalizadas y potenciadas en muchas otras instituciones del país. Ello permitiría fortalecer las potencialidades para lograr resultados satisfactorios desde la formación de los estudiantes, contribuyendo a que egresen con mayores competencias y habilidades actualizadas, además de un nivel de conciencia superior sobre las FLER. Así, esos nuevos profesionales estarán en mejores condiciones para aportar resultados concretos que favorezcan o aceleren el proceso de llevar la electrificación a las





zonas de país que aún carecen de tan preciado recurso.

5. RECONOCIMIENTO

La investigación descrita se realizó con equipos de medición adquiridos por el proyecto de investigación código 2016209 titulado “Estudio y Rediseño de un Sistema de Calefacción Solar de Agua”, financiado completamente por la Universidad Antonio Nariño, a la cual se agradece su contribución en el estudio de las fuentes de energía renovables para un planeta más limpio.

6. REFERENCIAS

Behrendt, L. (2015). *Taxes and incentives for renewable energy*. (KPMG's Global Energy & Natural Resources, Ed.), *KPMG International* (2015th ed.), Germany.

Benavides, J. (2011). *Retos y oportunidades de las energías renovables en Colombia*. ONUDI, Consultoría Energía Renovable en Colombia, Bogotá, 2011.

Bernardelli, F. (2010). *Energía Solar Termodinámica en América Latina. Los casos de Brasil, Chile y México*. CEPAL,

Naciones Unidas, Santiago de Chile.

Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N., & Bossanyi, E. (2001). *Wind Energy Handbook*. (L. John Willey & Sons, Ed.) (1st ed.). New York, USA.

Carta, J. (2009). *Centrales de energías renovables: generación eléctrica con energías renovables*. Pearson Education S.A., Prentice Hall. Madrid.

Dumitrescu, O., Mălăeș, I., Drăgan, V., & Gherman, B. (2015). The renewable energy generated by the Savonius wind turbine used for water extraction. *Recent Advances in Energy, Environment and Financial Sciences*, 141–146.

García, H., Corredor, A., Calderón, L., & Gómez, M. (2013). *Análisis costo-beneficio de energías renovables no convencionales en Colombia*. Bogotá, Colombia.

Martínez, I. (2015). *Termodinámica de la Atmósfera*.

PEDCTI. (2012). *La ciencia, la tecnología y la innovación al servicio del desarrollo regional*. (O. C. de C. y Tecnología, Ed.) (Primera). Tunja, Boyacá: Colciencias.

