

Estado Actual y Perspectivas de Investigación y Desarrollo para Fuentes Alternas de Energía en la UNEFA

F. M. González-Longatt, F. Guillen, A. Hernandez, R. Teran, C. Peraza

Resumen—Las perspectivas globales hacia el uso de fuentes energéticas no agresivas al ambiente y las políticas adoptadas por el Gobierno Venezolano ha motivado al Departamento de Ingeniería Eléctrica (DIE) de la Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada (UNEFA), a emprender investigaciones en el área de Fuentes alternas de energía, para cumplir con su compromiso con la sociedad democrática y del desarrollo soberano y autónomo del País, ha colaborado con la investigación, por medio de Trabajos Especiales de Grado, efectuando investigación aplicada, y la investigación y desarrollo en el área de fuentes alternas de energía explorando fundamentalmente cuatro: sistemas fotovoltaicos, energía eólica, celdas de combustible y micro-turbinas. En este artículo se muestran algunas experiencias en investigación que se han efectuado.

Índice de Términos—Análisis computacional de sistemas de potencia, ingeniería eléctrica, investigación y desarrollo.

I. INTRODUCCIÓN

CUANDO la Industria de suministro de electricidad comenzó su actividad, la necesidad de energía eléctrica en un sitio, en general, fue satisfecha por las compañías municipales que instalaron sus generadores localizados de acuerdo con las necesidades específicas de los sistemas de distribución [1]. Se puede decir entonces, que la Industria Eléctrica se inicia usando *generación distribuida* (GD), es decir, generación directamente instalada muy cerca de la demanda [2]. La generación era planificada para satisfacer la demanda, con un cierto margen de reserva por razones de seguridad. Tiempo después, el incremento de la demanda fue satisfecho instalando enormes plantas de generación, generalmente cercanas a las fuentes de energía primaria (por ejemplo, minas de carbón, ríos, etc.). Las economías de escala

entre una planta de generación grande y una pequeña, junto con el hecho que el margen de reserva para el primer caso es menor si se compara con una instalación en modo distribuido para la misma potencia, dieron por consiguiente la concepción tradicional actual de los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP) [3]. En otras palabras, en un SEP con grandes generadores, la energía debe ser transportada hacia la demanda empleando grandes redes de transmisión. Esta lógica de desarrollo sistemáticamente ha sido promovida por el hecho que los costos del sistema de transmisión han sido más pequeños que las ganancias generadas por las economías de escala en la generación [4]. Por lo tanto, las economías de escala en la generación y el hecho que su cantidad ha sido de tal tamaño que sobrepasa los gastos de inversión de transmisión, han sido los factores determinantes que han definido la topología actual de los sistemas eléctricos de potencia. Finalmente, como consecuencia del gran tamaño de las plantas de generación, en casi todos los países, la integración y la formación de monopolios han sido una consecuencia directa de la política que solo las grandes inversiones podrían ser afrontado por los gobiernos y, por esta razón, la mayoría de ellos eran los dueños exclusivos que controlaron los SEP [5].

A. Paradigma Tradicional de los SEP

Hoy día, los SEP son el resultado del paradigma tradicional que ha tenido vigencia por más de cincuenta años: grandes plantas de generación, generalmente ubicadas lejos de donde el centro demanda de potencia se ubica y, grandes redes de transmisión que llevan la potencia generada hasta los sitios de consumo [1]. En el paradigma tradicional, la producción de electricidad en la Industria Eléctrica consiste en un proceso que tiene cuatro actividades o segmentos (la generación, la transmisión, la distribución y el consumo). Este paradigma define entonces cuatro niveles de operaciones dentro del SEP, que es mostrado en la Figura 1. Se conoce desde los inicios de la Industria Eléctrica que ésta experimenta un crecimiento continuo debido al hecho que la demanda de electricidad crece de un modo sostenido (típicamente).

F. M. Gonzalez-Longatt, F. Guillen, A. Hernandez, R. Teran, C. Peraza están en el departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada, Maracay, Venezuela, 2122, +58-243-5546954 (e-mail: fglongatt@ieee.org, frednides@yahoo.es, arturohernandez@cantv.net, rubenteran@hotmail.com, cperazam@cantv.net).

F. M. Gonzalez-Longatt, es candidato a Doctor en Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela 1010, +58-414-4572832, email: flongatt@elecisc.ing.ucv.ve.

C. Peraza, es candidato a Doctor en Ciencias y F. Guillen, A. Hernandez, R. Teran, C son estudiantes de la Maestría en ingeniería, todos en la Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela 2110.

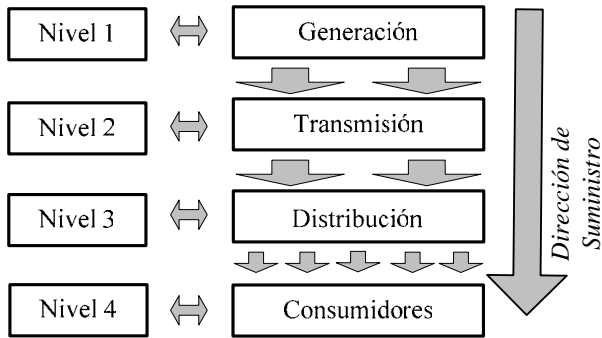


Figura 1. Concepción tradicional de un SEP [3]

Esto claramente, lleva consigo un aumento de la generación de electricidad de un modo constante. En el paradigma tradicional, el crecimiento del sistema implica la instalación de plantas de nuevas generación en el Nivel 1 (ver Figura 1) en modo más o menos continuo, la consecuente ampliación en la transmisión y la respectiva ampliación de red de distribución de un modo sostenido. Con este paradigma se conformaron organizaciones muy intensivas en capital, de propiedad concentrada y estructuradas verticalmente. En consecuencia, los servicios prestados en cada uno de los segmentos, generación (producción), transmisión (transporte en alta tensión) y distribución (transporte en media y baja tensión) de energía eléctrica eran proporcionados, en forma integrada, por la misma empresa [8]. Como consecuencia de ello, el proceso de toma de decisiones se basa en una planificación centralizada [1]. Una Industria Eléctrica verticalmente integrada produjo entonces, en la mayoría de los países, la constitución de empresas eléctricas monopólicas, cuya propiedad y administración corría por cuenta del Estado estando regidas por el Derecho Público [8].

B. Causas de la Ruptura del Paradigma Tradicional

El crecimiento del mercado eléctrico, el desarrollo del mercado financiero y, el acelerado progreso técnico; han hecho posible que el tamaño óptimo de las inversiones nuevas en la generación disminuya en relación con el tamaño del mercado y a la capacidad financiera privada. Por consiguiente, han aparecido condiciones nuevas en el sector de generación, haciéndolo capaz de ser coordinado por el mercado [6]. Además, los procesos de desregulación, que han aparecido en el mundo entero, han hecho esto posible, promoviendo la competencia en la generación. Un cambio radical ha aparecido en el comportamiento de los costos de generación en las pasadas décadas, debido a los cambios tecnológicos. En el Figura 2, se muestra la curva de costos de las plantas térmicas sobre el período 1930 -1990 [6].

El análisis del comportamiento de los costos para la planta de generación térmica contra la potencia instalada en MW (Figura 2), revela que mientras hasta 1980 el costo mínimo por MW era obtenido aumentando el tamaño de la planta de generación, hacia el año 1990 un cambio de éste comportamiento fue producido, debido a que se mejoraron los costos para rangos bajos de potencia.

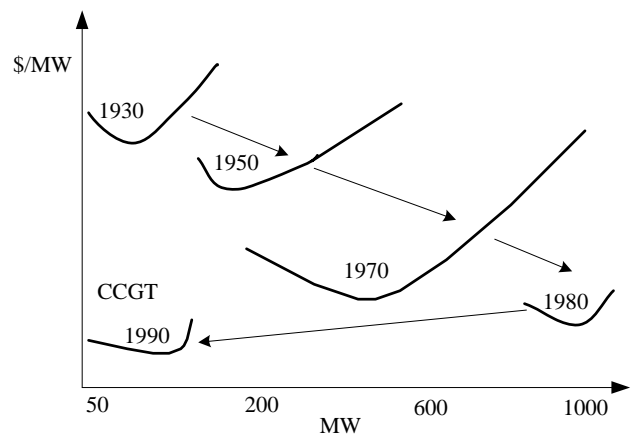


Figura 2. Curvas de Costos de Plantas de Generación Térmicas contra Potencia (1930-1990) [6]

Por otra parte, si se observa el comportamiento de la eficiencia de las diferentes tecnologías de generación de hoy en día, contra el tamaño de la planta (ver Figura 3), se puede evidenciar que para unos casos, como las plantas de gas, no se han producido cambios importantes en la eficacia para diferentes tamaño o capacidad de potencia del generador [3].

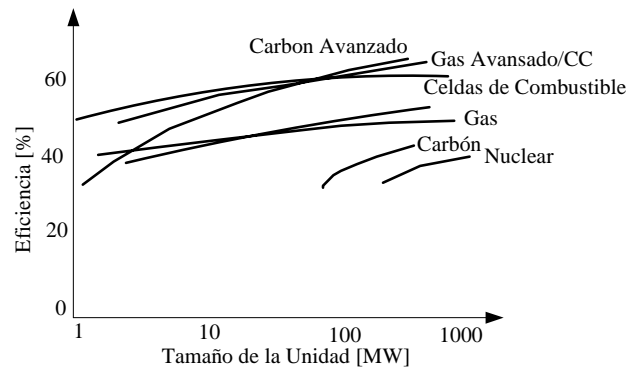


Figura 3. Eficiencia versus Potencia del Generador para Diferentes tipos de tecnologías. [6]

Es importante resaltar que en el pasado, la situación no era así, sino por el contrario, las diferencias en la eficiencia era significativa con la variación del tamaño de la planta. Por consiguiente, la situación ha cambiado en lo que concierne al comportamiento de la eficiencia de las plantas respecto al pasado como es el caso particular de los Ciclos Combinados [1]. Hoy en día, hay tecnologías que permiten la generación de electricidad, empleando plantas clasificadas como relativamente pequeñas en lo que concierne a la generación convencional, y sus costos son más bajos por cada MW instalado. Esto es un cambio tecnológico que tiene una importancia designada como estratégica debido a que la relación de eficiencia-potencia fue quien dictó en el pasado la economía de escala de los sistemas de generación. Considerando esta nueva situación, impulsada por la evolución tecnológica, los factores básicos que económicamente justificaban las grandes plantas en el pasado, se perdió. Una evidencia en el cambio que se ha llevado a cabo en la concepción de la planta de generación puede ser ilustrada en la Figura 4, donde se muestra la evolución de la

capacidad de esas plantas en los Estados Unidos.

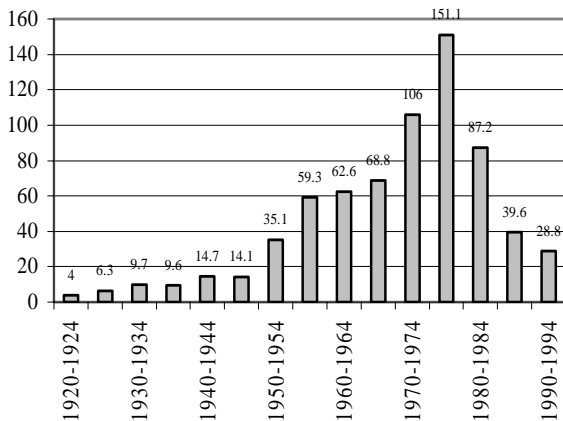


Figura 4. Tamaño promedio de las Plantas de Generación Térmicas en EE.UU (1920-1994). Muestra de 13566.

Fuente: Strbac, Goran. Pricing of Networks with Embedded Generation. Seminar 3: Embedded Generation – Realising the Potential for Network Benefits. England, Eonnect Ltd., 1999.

De la Figura 4, puede observarse que el tamaño de las plantas generación creció en el período 1920-1949 a una proporción anual cercana a 5.5%. Luego, en las siguientes décadas la rata se incremento a 17%; disminuyendo en las décadas posteriores. Sin embargo, en los años 70 se incrementó extraordinariamente con un pico en el tamaño promedio de las plantas de 151.1 MW. Este tiempo representa la era de las plantas nucleares y las de carbón. A partir de la década de los 80, la aparición de la tecnología a gas, y el final de la era nuclear, se produce un completo cambio en el desempeño observado en las décadas previas. Como se puede ver, la pendiente de la curva en este caso es negativa, alcanzando en el año de 1994, valores menores a 30 MW en el tamaño promedio de las plantas de generación [1].

C. Nuevo Paradigma de los SEP

En el paradigma tradicional de los SEP, cuando la demanda crece en el tiempo, ésta es atendida con el aumento en la capacidad de generación (Nivel 1, Figura 1), y las correspondientes expansiones en los sistemas de transmisión. Pero los aspectos tecnológicos, además de otra serie de factores, han motivado un cambio en el paradigma de los sistemas de potencia. La nueva concepción de la Industria Eléctrica, apunta a que la generación no es exclusiva del Nivel 1 y el flujo de potencia no es unidireccional como en la Figura 1. Al contrario, se tiene un esquema como el mostrado en la Figura 5. Una diferencia evidente con respecto al paradigma tradicional, es que se rompe la unidireccionalidad del sentido del suministro y se considera la generación no centralizada. Se incorpora la generación distribuida (DG: *Distributed Generation*) y la auto-generación, esta última corresponde a aquellos casos en lo cuales los consumidores producen la energía eléctrica para su propio consumo, aunque se debe acotar, que este tipo de generación puede ser considerada como GD.

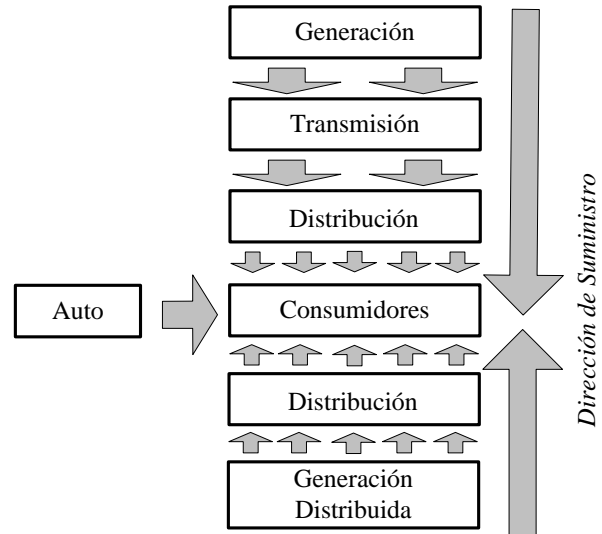


Figura 5. Nuevo Paradigma de la ISE [3]

El grupo de trabajo del *International Council on Large Electric Systems* [2] ha puesto su definición de GD considerándola como: No es centralmente planificado, No es centralmente despachado, Usualmente conectado a la red de distribución, Más pequeño entre 50 a 100 kW. De tal modo existen ciertos factores determinantes que hacen mostrar fuertes diferencias con respecto al paradigma de la Industria Eléctrica del pasado [6]. Dentro de este nuevo paradigma, el crecimiento de la demanda puede ser cubierto de dos modos [1]:

- Colocando generación convencional y expandiendo los sistemas de transmisión.
- Colocando Generación Distribuida.

La decisión correcta depende de la solución de un problema técnico-económico. Algunas consideraciones generales pueden ser llevadas a cabo. Una gran central moderna conectada en la red de transmisión siempre será más eficiente que una pequeña central moderna distribuida (las economías de escala existen cuando se aumentan las dimensiones de un generador en múltiples magnitudes). Sin embargo, en una de las magnitudes claves, la eficiencia, las diferencias pueden no ser muy importantes, tal como se observa en la Figura 3. Sin embargo, si la decisión es emplear potencia en plantas de generación antiguas, los costos asociados probablemente serán más mayores que si se instala una nueva planta de generación distribuida. Esto es debido al hecho de que una de las características de la generación distribuida es que son fabricadas de una manera estándar y son de fácil instalación en el sitio, lo cual reduce notablemente sus costos (“*enchufe y use*”, “*plug and play*”)

Para cada una de las opciones, los costos exactos deben ser evaluados, tanto para la planta GD como para la planta de generación convencional más la red de transmisión asociada a ella, incluyendo los costos de inversión, operación y mantenimiento, y pérdidas eléctricas acumuladas. Como se muestra en la Figura 5, la generación distribuida, se ubica cerca de donde está la demanda, y no emplea redes de transmisión, por lo que se evitan estos costos asociados. Es

importante notar también que mientras los costos globales de construcción de redes transporte, los costos de derecho de paso, la estética y los elementos de diseño han aumentado, por el contrario los costos de las plantas de generación distribuida han disminuido debido a su estandarización y gran modularidad [4].

Además de las consideraciones anteriores, se debe tener en cuenta que el GD presenta las siguientes ventajas adicionales a los sistemas eléctricos [6]:

- Reduce las pérdidas en la red de distribución.
- Incrementa la confiabilidad en la fuente de suministro de electricidad.
- Provee control de energía reactiva y regulación de voltaje en la red de distribución.
- Generación no contaminante usando fuentes renovables. (RDG - *Renewable Distributed Generation*).
- Descentralización y atomización de la propiedad en el sector de generación, una característica fundamental para propiciar la competencia.

Como se puede apreciar, la GD presenta algunas ventajas comparativas sobre la generación convencional central, sin embargo, la decisión dependerá de los resultados de un detallado estudio para el caso particular en consideración.

II. CONTEXTO DE FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES

Hoy día, se tienen sistemas de potencia cuya estructura ha sido el resultado de una concepción tradicional que ha prevalecido en el pasar del tiempo. Estos sistemas de potencia están compuestos por grandes estructuras, generalmente ubicadas lejos de donde se encuentren los centros de consumo, siendo necesario el uso de grandes redes de transmisión para llevar la potencia generada hasta los sitios de consumo [7].

A nivel mundial el uso de fuentes no renovables de energía ha sido dominante por algunos años. En la actualidad un alto porcentaje de la capacidad instalada de generación proviene de plantas térmicas que operan a partir de los ciclos termodinámicos, utilizando la energía contenida en los combustibles fósiles para mover una turbina encargada de hacer girar un rotor de generador cuyo objetivo final es el producir electricidad. Este tipo de tecnología trae consigo la emisión de gases contaminantes que resultan ser tóxicos, nocivos para la salud, y además agresivos al ambiente [8].

El creciente interés ambientalista, esta forzando a que los países minimicen las fuentes de generación de energía eléctrica convencional, y se hagan esfuerzos para la producción de electricidad por medios menos agresivos al ambiente, es decir, la producción de energía eléctrica por medio de fuentes renovables y/o aquellas con emisiones mínimas contaminantes [9]. La principal ventaja de la generación de electricidad desde fuentes renovables son la ausencia de emisiones dañinas y la infinita disponibilidad de la fuente primaria que es convertida en electricidad [10].

A. Contexto Venezolano

Hoy más que nunca el interés ambientalista es un aspecto importante a considerar, y más aun en lo que a producción de electricidad se refiere. El 16 de febrero de 2005 entró en vigencia el Protocolo de Kyoto, acuerdo internacional derivado de la Convención de Cambios Climáticos, suscrita en la Conferencia de Naciones Unidas, celebrada en Río de Janeiro en 1992. El Protocolo de Kyoto persigue hacer que los países disminuyan sus emisiones de gases contaminantes a la atmósfera (5% los gases causantes del efecto invernadero, durante su primera fase, que comprende el período de 2008 a 2012), así como establecer dispositivos orientados a disminuir la contaminación del aire, mediante la ejecución de políticas públicas, que promuevan el uso de tecnologías no contaminantes.

Un total de 125 países ratificó este protocolo, con lo que se frenará el calentamiento global del planeta, causante del deshielo y la destrucción de la capa de ozono. Cuando se celebró la Conferencia de Naciones Unidas que propuso esta medida, se exigía que estuvieran representados al menos un conjunto de países que emitiera más del 55% del total de dióxido de carbono, uno de los seis gases más dañinos de la atmósfera terrestre contra la que actúa el protocolo que hoy comienza a aplicarse.

En el caso particular de Venezuela, el 7 de diciembre de 2004, en Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela No. 38.081 se publicó la Ley Aprobatoria del Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático a fin de aprobar en todas sus partes y para que surta efectos internacionales en cuanto a la República Bolivariana de Venezuela se refiera, el "Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", adoptado en la ciudad de Kyoto-Japón, el 11 de diciembre de 1997. En virtud de esta Ley el gobierno Venezolano se compromete a elaborar políticas y medidas de conformidad con sus circunstancias nacionales, entre las que destacan:

- Fomento de la eficiencia energética en los sectores pertinentes de la economía nacional;
- Investigación, promoción, desarrollo y aumento del uso de formas nuevas y renovables de energía, de tecnologías de secuestro del dióxido de carbono y de tecnologías avanzadas y novedosas que sean ecológicamente racionales;

En tal sentido el plan de negocios 2005-2012 de Petróleos de Venezuela se vislumbran proyectos energéticos puntuales que han comenzado a poner sobre el tapete a las fuentes eólica, solar y celdas de combustible para el sector transporte. El comité de Políticas Petroleras Nacionales del Ministerio de Energía y Petróleo trabaja actualmente en el diseño del balance energético de la nación, según informó Iván Orellana, director de Petróleos de Venezuela y líder del comité. Este esquema privilegia el uso del gas natural y los proyectos eólicos en zonas de difícil acceso, como las islas y algunos puntos de occidente [11].

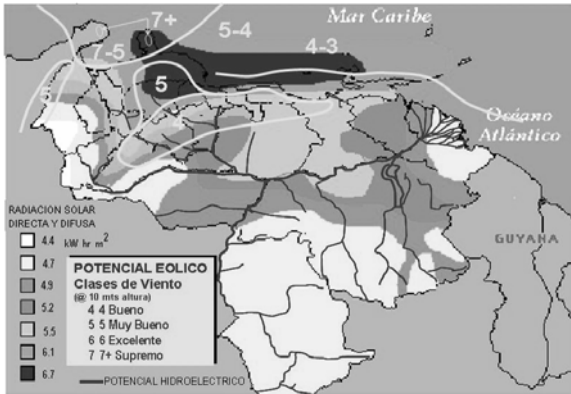


Figura 6. Velocidad del viento en m/seg. Y Radiación Solar en Venezuela, Período 1975-1995 [14].

Ya se prevé la instalación de cinco parques eólicos en los archipiélagos Los Roques y Los Monjes y en las islas La Tortuga, La Orchila y La Blanquilla [11], [12], estos parques se sumarían a dos desarrollos planificados en La Guajira, estado Zulia, y Paraguaná, estado Falcón, la única zona del país donde, según la directiva del holding estatal, se generan vientos durante todo el transcurso del año.

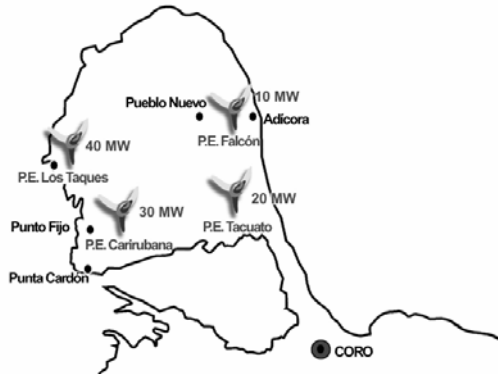


Figura 7. Parques Eólicos a ser implementados en la Península de Paraguaná [13].

Estos dos planes son los más adelantados, pues ya fueron aprobados por el Ministerio de Energía y Petróleo. Se espera que éste año (2006) se haga público el arranque del primer proyecto eólico del país en la península de Paraguaná, luego de que concluyera un estudio de vientos en la zona.

III. ESTADO ACTUAL DE LA INVESTIGACIÓN

La Universidad es fundamentalmente una comunidad de intereses espirituales que reúne a profesores y estudiantes en la tarea de buscar la verdad y afianzar los valores trascendentales del hombre (Artículo 1, Ley de Universidades [15]). En tal sentido, debe estar al servicio de la Nación y le corresponde colaborar en la orientación de la vida del país mediante su contribución doctrinaria en el esclarecimiento de los problemas nacionales [15]. La Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada Nacional (UNEFA), conciente de esto, tiene como misión orientar y estimular la educación ejerciendo una función rectora basada en la ciencia, la cultura y la sociedad que guíe los pasos hacia la universalidad del conocimiento y la ejecución de innovaciones tecnológicas e industriales, aportando al proceso de enseñanza-aprendizaje una forma sólida e integral del

Recurso Humano que necesitan la Fuerza Armada y la Nación para su crecimiento y desarrollo [16].

La UNEFA, le asigna trascendental importancia a la búsqueda de la verdad y en el afianzamiento de los valores supremos del ser humano, en función de una sociedad democrática y del desarrollo soberano y autónomo del País. En tal sentido, la UNEFA ejerce una función rectora en la educación, la cultura y en la ciencia como factores determinantes de la actividad de investigación, y evoca aspectos críticos dentro de la actividad universitaria: creación, y difusión de conocimientos, formación profesional y la solución de problemas específicos de la sociedad.

El Departamento de Ingeniería Eléctrica de la UNEFA (DIE-UNEFA), Decanato Maracay, conciente de la importantísimo rol de la investigación dentro de la Universidad, como actividad del proceso creativo y metodológico orientado a la búsqueda y aplicación de soluciones innovadoras a problemas de la sociedad, por medio de la creación, al adaptación, o perfeccionamiento en el área de la ciencia y la tecnología, y más aun en pro del logro de un mejor nivel de calidad de vida en la República Bolivariana de Venezuela, ha efectuado trabajos de investigación; tendentes a cumplir con su responsabilidad con el país.

Los usos potenciales de fuentes alternas de energía (alternas o no) en Venezuela, es casi una realidad, la necesidad de fuentes de energía eléctrica diferentes a los combustibles fósiles que ayuden a las políticas ambientalistas impulsadas por el Gobierno de la República Bolivariana de Venezuela. Por otra parte, la Ley Orgánica del Sector Eléctrico Venezolano, esta orientada a la liberización de la industria eléctrica, considerando un agente de capital importancia en la competencia en el sector de generación; siendo perfectamente admisible la adopción del modelo de generación distribuida con simple modificaciones a está Ley Orgánica.

A. Experiencias del DIE

Considerando los potenciales beneficios que las fuentes alternas de energía y la generación distribuida, pueden aportar a Venezuela, el DIE-UNEFA ha emprendido una serie de trabajos de investigación, para fortalecer estos aspectos.

Se ha colaborado con el uso de fuentes no agresivas al ambiente como la fotovoltaica, para atender el servicio eléctrico de puestos fronterizos de la Fuerza Armada Nacional. Ya en el año 1996, se efectuó el TEG titulado "Diseño de un Sistema de Energía Eléctrica para los Puestos Fronterizos de las Fuerzas Armadas" [17], donde empleando el concepto de micro centrales, se exploró el uso potencial de ríos cercanos a puestos fronterizos como fuente de energía para la producción de electricidad, en 1999 se acomete un nuevo producto mediante el TEG titulado, "Diseño de un Sistema Fotovoltaico para Puestos Fronterizos del ejército Venezolano" [18], trabajo que fue galardonado como mejor TEG en el concurso que patrocina la empresa de ingeniería y consultoría INELECTRA. En el mismo, se emplee el recurso energético proveniente del sol, como fuente de energía, empleando un medio no agresivo al ambiente y que satisface plenamente los requerimientos energéticos, al tiempo de aportar seguridad y autonomía. Más recientemente los

esfuerzos para apoyar la Fuerza Armada Nacional con fuentes alternas de energía han continuado, en el año 2004 se efectuó una pasantía larga titulada “Evaluación Técnico-Económica de Fuentes Alternas e Híbridas para Electrificar Puestos Fronterizos de la Guardia Nacional de Venezuela” [19], donde se consideró fuentes eólicas, fotovoltaicas, y sistemas híbridos considerando motores diesel, para la alimentación en forma independiente y autónoma de los puestos de la Guardia Nacional de Venezuela en la frontera Este de Venezuela, y de este trabajo efectuó la publicación de un artículo en un evento nacional [24]. En 2005, se da un paso adelante al acometer una “Propuesta de independización suministro de energía eléctrica del Comando Regional No. 5 de la Guardia Nacional de Venezuela” [20], donde se consideró una posible liberización del mercado eléctrico y la posible adopción del modelo de generación distribuida.

De forma análoga, se está efectuado recientemente una serie de TEG con mira a efectuar aportes contundentes al uso potencial de fuentes alternas energía en Venezuela. En particular el desarrollo de herramientas computacionales para emprender análisis que sean concluyentes sobre el desempeño de estos novedosos sistemas de energía ha sido un norte fundamental del DIE-UNEFA. En actualidad se efectúan los TEG titulados “Diseño e Implementación de una Herramienta Computacional en Matlab™ para el cálculo de Flujo de Potencia en Redes de Distribución con Generación Distribuida” [21], “Implementación de un Programa para el Cálculo de Flujo de Potencia que Incluya los Modelos para la Simulación de Granjas de Viento” [22]. A fin de establecer las condiciones de operación en estado estable de las fuentes de energía cuando sean introducidas en el sistema eléctrico Venezolano [28].

De igual manera, se acomete el TEG titulado “Análisis de Pre-Factibilidad Técnica Comercial para el Desarrollo de una Granja de Viento en el Estado Nueva Esparta, Venezuela” [23], como primer producto de este TEG y con el apoyo del Prof. Francisco M. Gonzalez-Longatt, del DIE-UNEFA, se logra un diagnostico inicial de potencial eólico en Venezuela, empleando información aportada por la NASA, y se logra un artículo titulado “Wind energy resource evaluation on Venezuela”, a ser publicado en el Nordic Wind Power Conference – NWPC’2006 en Finlandia [24]. Este producto establece un mapa mensual de velocidades del viento y en función de este se dictaminó una serie de puntos potenciales para la explotación de la energía del viento.

TABLA I. RECURSO EÓLICO EN ALGUNOS SITIOS DE VENEZUELA (VELOCIDADES MAYORES A 6M/S)

Ubicación	Latitud/ Longitud	Velocidad Promedio del Viento m/s@50 m
Cabure	11° 08' N / 69° 38' W	6.18
Capatarida	11° 11' N / 70° 37' W	6.16
Coro	11° 25' N / 69° 41' W	6.18
La Asunción	11° 02' N / 63° 53' W	6.31
La Vela	11° 27' N / 69° 34' W	6.18
Pueblo Nuevo	11° 58' N / 69° 55' W	6.18
Puerto Cumarebo	11° 29' N / 69° 21' W	6.18
Punto Fijo	11° 42' N / 70° 13' W	6.16
San Juan de los Cayos	11°10' N / 68° 25' W	6.23

San Luis	11° 07' N / 69° 42' W	6.18
Paraguaiipoa	11° 21' N / 71° 57' W	6.18

Y se logra diagnosticar tres grandes zonas con potencial eólico en cantidad suficiente para la explotación comercial [29].

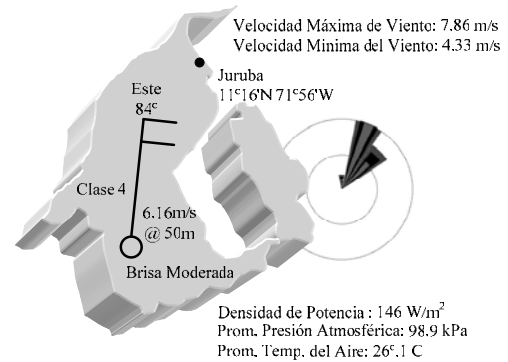


Figura 8. Sumario de las principales variables meteorológicas y recurso del viento en Juruba, Zulia, Venezuela

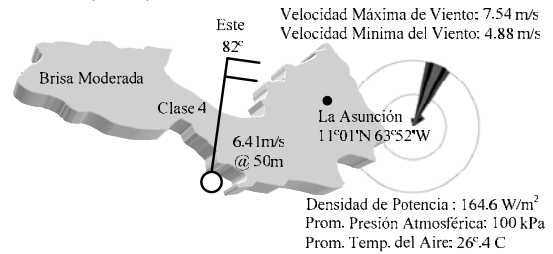


Figura 9. Sumario de las principales variables meteorológicas y recurso del viento en La asunción, Nueva Esparta, Venezuela

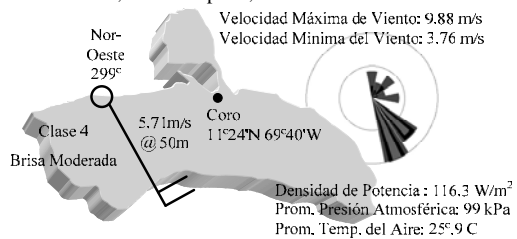


Figura 10. Sumario de las principales variables meteorológicas y recurso del viento en Coro, Falcón, Venezuela

De igual modo en los actuales momentos, el DIE-UNEFA, esta explorando otras formas novedosas de conversión de energía, como lo resultan ser las celdas de combustible y las micro-turbinas [26], [27], [32]. Una celda de combustible es un dispositivo electroquímico que oxida el combustible (sin combustión) para directamente convertir la energía química de la celda de combustible en energía eléctrica, por lo que su eficiencia toma valores de hasta 70% [30], [34]-[35]. De tal modo que la alta eficiencia de la celdas de combustible, además de su baja emisiones contaminantes, poco ruido, poco mantenimiento la hacen una fuente de energía atractiva a ser empleado en el futuro [35]-[36]. En tal sentido, el DIE-UNEFA ha emprendido un TED titulado “Caracterización del Comportamiento Eléctrico de una Planta de Celda de Combustible como Fuente de Generación Eléctrica” [37], a fin de poder definir en forma sustentada el modo de operación de las diferentes tecnologías de celdas de combustible como fuentes de generación de electricidad, este TEG es un primer enfoque para la aplicabilidad de las celdas de combustible en Venezuela.

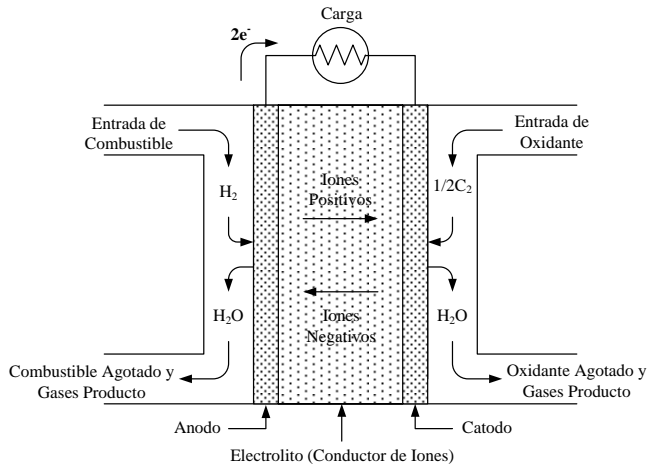


Figura 11. Estructura Típica de una Celda de Combustible

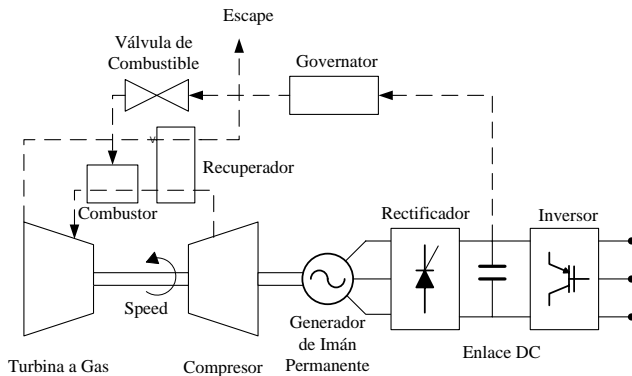


Figura 12. Estructura Típica de una Microturbina [33]

IV. CONCLUSIONES

En el presente artículo se mostró en primera instancia una conceptualización teórica de los sistemas de potencia, su estructura y forma básica de operación, para luego mostrar algunos aspectos técnicos, económicos y financieros que están motivando un cambio profundo en la concepción de los sistemas de potencia, donde los aspectos ambientales y regulatorios están modificando la estructura y en particular las fuentes energéticas primarias empleadas para la producción de electricidad.

Las fuentes alternas de energía, renovables o no, se presentan como una atractiva forma de producción de electricidad en pequeña cantidad dentro del modelo de la generación distribuida. El contexto Venezolano, las políticas gubernamentales están apoyando la iniciativa a estas nuevas formas de producción de electricidad, lo que ha motivado al DIE-UNEFA ha efectuar una serie de trabajos de investigación que han sido validados con su presentación en eventos nacionales e internacionales.

Dentro de los trabajos de investigación realizado en el DIE-UNEFA han permitido el desarrollo de herramientas computacionales para el análisis de esta novedosas fuentes energéticas, lo que permitirá a corto plazo comenzar a genera información para el caso Venezolano.

Cuatro son las tecnologías potencialmente explotables en el contexto Venezolano, ya investigaciones efectuadas por el

DIE-UNEFA, lo han indicado: el recurso eólico, la energía solar, las celda de combustible y las micro turbinas. En tal sentido a corto plazo, el DIE-UNEFA espera poder formalizar líneas de investigación en estas áreas.

V. REFERENCIAS

- [1] Vignolo, M, Zeballos R. "Transmission Networks or Distributed Generations?", *IATED, EUROPE 2001*, Grecia, Junio 2001.
- [2] CIGRE, Working Group 37.23. "Impact of Increasing Contribution of Dispersed Generation on the Power System", 1999.
- [3] González, F. "Tecnologías de Microfuentes (Micro-Sources) disponibles actualmente para la Generación Distribuida (DG)". Trabajo de Ascenso, UNEFA, 2002
- [4] Willis, H., Lee Scott., & Walter G. (2000). *Distributed Power Generation. Planning and Evaluation*. Marcel Dekker Inc.
- [5] Bitrain, E. y Saavedra. "Rol Regulador y Empresarial del Estado" (The Regulator and Enterprise Role of the State), Oscar Muñoz, "Hacia el Estado Regulador" (Towards the Regulating State), Chile, CIEPLAN, 1993.
- [6] Hunt, Sally and Shuttleworth, Graham. *Competition and Choice in Electricity*. England, John Wiley & Sons, 1996.
- [7] González Longatt F. "Fuentes de Energía Distribuidas: Tecnologías Disponibles". Conferencia magistral y artículo en las memorias de *las III Jornadas de Ingeniería Eléctrica 2003*. Puerto Ordaz, Estado Bolívar, Venezuela 2-4 de Julio de 2005.
- [8] González Longatt F. "Sistemas para la Conversión de la Energía del Viento: Generalidades". En memoria de la *I Jornada ELECTRICOM*. Maracay, Venezuela, 2005.
- [9] González Longatt F. "Turbinas de Vientos: Caracterización de Operación". *II Congreso Iberoamericano de Estudiantes de Ingeniería Eléctrica*, Puerto La Cruz, Venezuela, Abril 2006.
- [10] [3] Slootweg, J.G., de Haan S.W.H., Polinder, H. and Kling, W. L. "General Model for Representing Variable Speed Wind Turbines in Power System Dynamics Simulations". *IEEE Trans. Power on Systems*, Vol. 18, No. 1, February, 2003
- [11] <http://www.windatlas.dk>
- [12] "Energía alternativa viene en camino". Artículo de prensa. Diario El Universal, Domingo 30 de Octubre de 2005. Cuerpo 2: Disponible en : http://www.eluniversal.com/2005/10/30/eco_art_30201A.shtml.
- [13] Fernández I. (2005). "Proyecto Jurijurebo. Península de Paraguana". Encuentro sobre Oportunidades de Negocios para Empresas Latinoamericanas de la Industria de la Construcción "Construir sin Fronteras". 20 y 21 de Abril de 2005, Caracas Venezuela
- [14] PDVSA. Proyecto Eólico de PDVSA. Península de Paraguana, 2004.
- [15] Ley de Universidades. Republica Bolivariana de Venezuela, 2000.
- [16] Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada (Sitio web), disponibles en: <http://www.unefa.edu.ve.>, consultada 02/04/2006.
- [17] Bracamonte, E. "Diseño de un Sistema de energía Eléctrica para los Puestos Fronterizos de las Fuerzas Armadas", Trabajo especial de Grado para Optar al Título de Ingeniero Electricista, UNEFA, Maracay, Venezuela, 1996.
- [18] Shaverin A, Berroteran L. "Diseño de un Sistema Fotovoltaico para puestos Fronterizos del Ejército Venezolano". Trabajo especial de Grado para Optar al Título de Ingeniero Electricista, UNEFA, Maracay, Venezuela, 1999.
- [19] Sanchez J. "Evaluación Técnico-Económica de Fuentes Áternas e Híbridas para Electrificar Puestos Fronterizos de la Guardia Nacional de Venezuela" Informe de Pasantías Largas para Optar al Título de Ingeniero Electricista, UNEFA, Maracay, Venezuela, 1999.
- [20] Villasana, R. "Propuesta de independización suministro de energía eléctrico del Comando Regional No. 5 de la Guardia Nacional de Venezuela". Informe de pasantía corta, presentado a la UNEFA, Maracay, Venezuela, 2005.
- [21] Chacon F, "Diseño e Implementación de una Herramienta Computacional en Matlab™ para el calculo de Flujo de Potencia en Redes de Distribución con Generación Distribuida" Trabajo especial de Grado para Optar al Título de Ingeniero Electricista, UNEFA, Maracay, Venezuela, En Desarrollo.
- [22] Bolivar, M, Gavoskis, E, "Implementación de un Programa para el Calculo de Flujo de Potencia que Incluya los Modelos para la

Simulación de Granjas de Viento”, Trabajo especial de Grado para Optar al Título de Ingeniero Electricista, UNEFA, Maracay, Venezuela, En Desarrollo.

- [23] Mendez, J, Villasana R, “Análisis de Pre-Factibilidad Técnica Comercial para el Desarrollo de una Granja de Viento en el Estado Nueva Esparta, Venezuela”. Trabajo especial de Grado para Optar al Título de Ingeniero Electricista, UNEFA, Maracay, Venezuela, En Desarrollo.
- [24] Gonzalez-Longatt, F, Sanchez L. “Sistema Fotovoltaico Aplicación Aislada Para Zonas Remotas: Caso De Estudio”, *III Jornadas de Ingeniería Eléctrica*. Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela, Abril 2005.
- [25] F. Gonzalez-Longatt, J. Mendez, R. Villasana & C. Peraza, “Wind energy resource evaluation on Venezuela, Part I”. *Nordic Wind Power Conference – NWPC 2006 Grid Integration and Electrical Systems of Wind Turbines and Wind Farms*. Hanasaari, Espoo, Finland. 22 - 23 May 2006.
- [26] González Longatt, F. “Sistemas de Conversión de Energía. Tutorial”. En las memorias de I Congreso Tecnológico Científico IUTEB, Ciudad Bolívar, Venezuela, 6-9 Julio de 2005.
- [27] González Longatt, F. “Fuentes de Generación Distribuida. Tecnologías Disponibles”. Trabajo de Ascenso a la Categoría de Agregado. Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada Nacional. Venezuela, 2004.
- [28] González Longatt, F. “Sistemas de Conversión de Energía del Viento”. Tutorial. *III Jornadas de Ingeniería Eléctrica 2005*, 27-29 Junio de 2005, Valencia, Venezuela.
- [29] González Longatt, F (2005). “Dynamic Model of variable Speed WECS: Attend of Simplification”. In proceeding of Fifth International Workshop on Large-Scale of Integration of Wind Power and Transmission Networks for Offshore Wind Farm. 7-8 April, 2005, Glasgow, Scotland, 2005.
- [30] González-Longatt F, Peraza C, Villanueva, C, “Comportamiento Dinámico de Plantas de Celdas de Combustible: Ambiente Distribuido”, *Revista de Ingeniería Universidad de Carabobo*, Volumen 11, Numero 3, Diciembre 2004.
- [31] González-Longatt F, Fortoul, C. “Review of Distributed Generation Concept: Attempt of Unification”. *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ '05)*. Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España, Abril 2005.
- [32] Gonzalez-Longatt, F. “Impact of Distributed Synchronous Generators on Distribution Feeder Stability”. *First International ICSC Symposium on Artificial Intelligence in energy Systems and Power, AIESP 2006*, 7-10 February, 2006.
- [33] Gonzalez-Longatt, F., Peraza C., Villanueva, C. “Dynamic Behavior of a Distribution System: High Penetration Level of Micro-turbines”. *Third International Symposium on Power Quality SICEL 2005*, Bogotá Colombia, 16-18 November 2005.
- [34] Gonzalez-Longatt, F. “Celdas de Combustible: Perspectivas para la aplicación en la Generación Distribuida”. *I Seminario de Ingeniería Eléctrica*. UNEXPO, Puerto Ordaz, Venezuela, 13-15 Octubre de 2005.
- [35] Gonzalez-Longatt, F. “Modelo Dinámico para Celda de Combustible: Aplicación en Generación Distribuida Evento: *I Congreso Iberoamericano de Estudiantes de Ingeniería Eléctrica I CIBELEC 2004*, Mérida, Venezuela, 3-7 Mayo de 2004.
- [36] González-Longatt F, Fortoul, C. “Load Following Functions of Fuel Cell Plant in Distributed Environment”. *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ '05)*. Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España, Abril 2005.
- [37] Facendo, A. “Caracterización del Comportamiento Eléctrico de una Planta de Celda de Combustible como Fuente de Generación Eléctrica”, Trabajo especial de Grado para Optar al Título de Ingeniero Electricista, UNEFA, Maracay, Venezuela, En Desarrollo.

VI. BIOGRAFIAS



Francisco Gonzalez-Longatt. Obtuvo el título de ingeniero electricista del Instituto Universitario Politécnico de la Fuerza Armada, Venezuela (1994). Master en Administración de Empresas de Universidad Bicentenario de Aragua, Venezuela (1999). Es profesor a dedicación exclusiva, categoría asistente, en pre-grado y postgrado, fue Jefe del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Experimental Politécnica de la Fuerza Armada. Investigó durante un año, sobre la enseñanza de las ciencias técnicas en el Doctorado en Ciencias de la Educación, de la Universidad Pedagógica El Libertador. Actualmente es Candidato a Doctor en Ciencias de la Ingeniería en la Universidad Central de Venezuela, trabajando en el impacto de la generación distribuida en la estabilidad dinámica de sistemas de potencia. Autor de textos de educación superior, más de una decena de artículos en revistas y congresos a nivel internacional. Es miembro del Institute of Electrical Engineers (IEE), y miembro de varias sociedades entre ellas la Power Engineering Society del IEEE.



Frenides Guillen. Obtuvo el título de ingeniero electricista del Instituto Universitario Politécnico de la Fuerza Armada Nacional, Venezuela (2001). Cursando actualmente la Maestría en Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Carabobo. Es profesor a dedicación exclusiva, categoría instructor, en pregrado, adscrito al Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Experimental Politécnica de la Fuerza Armada.



Arturo R. Hernández Plaza. Obtuvo el título de ingeniero electricista del Instituto Universitario Politécnico de la Fuerza Armada Nacional, Venezuela (1993). Magíster Scieniarum en Gerencia de Personal de la Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada Nacional, Venezuela (2003). Cursando actualmente la Maestría en Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Carabobo. Es profesor a dedicación exclusiva, categoría asistente, en pregrado, Jefe del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Experimental Politécnica de la Fuerza Armada. Es miembro de la Industrial Facilities Society del Institute IEEE.



Ruben Teran. Obtuvo el título de ingeniero electricista de la Universidad de Carabobo, Venezuela (2001). Cursando actualmente la Maestría en Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Carabobo, Venezuela. Es profesor a tiempo completo, categoría instructor, en pregrado. Es miembro de la Industrial Facilities Society del Institute IEEE



Cesar Peraza. Obtuvo el título de ingeniero electrónico Universidad Experimental Politécnica Antonio José De Sucre (UNEXPO) Barquisimeto, Venezuela (1986), Magíster Scieniarum en Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Carabobo, Venezuela (2005), actualmente candidato a Doctor en Ciencias de la Ingeniería en la Universidad de Carabobo, Venezuela. Ponente en eventos a nivel Nacional y autor de artículos científicos publicados en revistas a nivel nacional e internacional. Es profesor a dedicación exclusiva, categoría agregado, en pregrado, en el Instituto Universitario de Tecnología Valencia, Valencia, Venezuela.