

# Proyecto de un Sistema para la Producción y Almacenamiento de Hidrogas (COH<sub>2</sub>) usando la Energía de Aerogeneradores y Paneles Solares

**William Ernesto Camilo, PhD.**

Apec University, Santo Domingo, Dominican Republic, [wcamilo@unapec.edu.do](mailto:wcamilo@unapec.edu.do)

**Yrvin Rivera, MsC.**

Apec University, Santo Domingo, Dominican Republic, [yrivera@adm.unapec.edu.do](mailto:yrivera@adm.unapec.edu.do)

## ABSTRACT

This project deals with the production of fuel gas from renewable energy sources as an alternative way to store the energy produced by wind turbines or solar panels, to then be used in power plants, boilers, kitchen and hybrid vehicles through fuel cells of Hidrogas. It is intended to expose the hypotheses of this research, which provides a hybrid construction of wind generation and / or solar photovoltaic generation with direct conversion Hidrogas by the dissociation of water from the electricity produced in wind turbines or solar panels, the Hidrogas produced may be used as fuel for domestic and industrial use, while solving the problem of energy storage, which can be stored as fuel gas without the use of batteries, which stored in chemical form. This will be offered in rural energy system that works continuously, for use in the work of planting, maintenance, harvesting, drying and storage of crops, among others.

**Key words:** Hidrogás, renewable energy, hybrid vehicles, aerogeneration, photovoltaic systems

## RESUMEN

Este proyecto trata sobre la producción de gas combustible desde fuentes de energías renovables como forma alternativa para almacenar la energía producida por los aerogeneradores o los paneles solares, para luego ser usada en plantas eléctricas, calderas, cocina y vehículos híbridos a través de celdas de combustible de Hidrogás. Se pretende el exponer de la hipótesis de esta investigación, la cual establece la construcción un sistema híbrido de aerogeneración y/o generación solar fotovoltaica con la conversión directa a Hidrogás por la disociación del agua a partir de la energía eléctrica producida en los aerogeneradores o los paneles solares; el Hidrogás producido se podrá usar como combustible para uso doméstico e industrial; resolviendo a la vez el problema del almacenamiento de energía, la cual se podrá almacenar como gas combustible sin el uso de baterías, las cuales almacenan en forma química. De esta forma se podrá ofrecer en las zonas rurales un sistema de energía que trabaje de manera continua, para uso en las labores de sembrado, mantenimiento, recolección, secado y almacenamiento de las cosechas, entre otras.

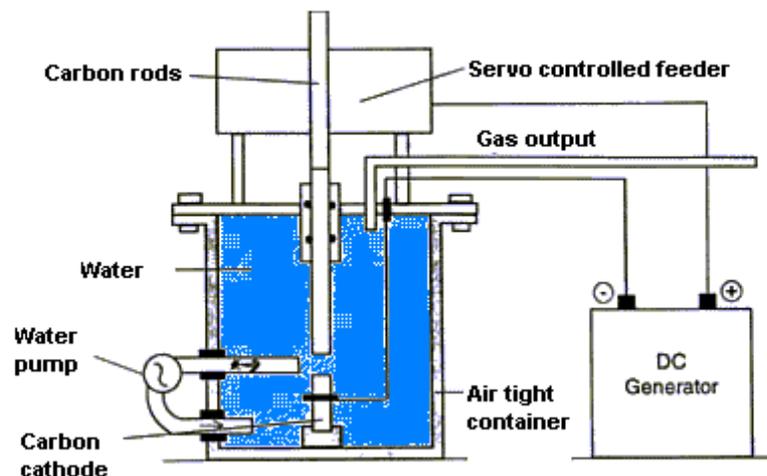
**Palabras claves:** Hidrogas, energías renovables, vehículos híbridos, aerogeneración, sistemas fotovoltaicos

## 1. INTRODUCCION

Julio Verne en ' la isla misteriosa ' en 1870, escribió: "y qué a voluntad se queman en vez del carbón?" "agua", Harding le contestó. "agua!" ¡Pencroft, "agua como combustible para los vapores y los motores! Agua para calentar el agua!" "sí, solamente agua, la que se descompone en sus elementos básicos sin duda alguna, por la electricidad, que entonces se habrá convertido en una fuerza de gran alcance y manejable, para todos los grandes descubrimientos, y por algunas leyes inexplicables, que están por aparecer.

En nuestra opinión, el agua en días cercanos será empleada como combustible, que hidrógeno y el oxígeno que lo constituyen, usados solos o juntos, y se equipara a una fuente inagotable del calor y de luz, con una intensidad la cual el carbón no es capaz de suministrar. No está lejano el día que las calderas de vapor y la alimentación de locomotoras, tendrá almacenamiento energético con estos dos gases condensados, que se quemarán y producirán una energía calorífica enorme. Cuando los depósitos de combustible fósiles se agotan Julio Vernes no podría ser más exacto al describir lo que hoy llamamos Aquafuel o Hidrogás (COH<sub>2</sub>), nombres comerciales que se le dan al gas producido. El Hidrogás utiliza el hidrógeno y el oxígeno libres-para oxidar al carbón en un proceso subacuático para crear combustible de alta eficacia con una reacción controlada en la fusión. El agua calentada se puede entonces convertir en trabajo con la energía del vapor. El agua puede disolver el gas del bióxido de carbono que se puede precipitar hacia fuera en la forma de carbonatos sólidos del producto comercial. En esta nueva tecnología del arco del carbón ahora se está utilizando bajo el agua para producir un gas sintético alternativo barato. Este método simple de producir un gas de hidrógeno/carbón/oxígeno, se manifiesta como la gran promesa para la producción de la energía del producto químico.

El uso y explotación de los recursos energéticos naturales como la energía del viento y la de los rayos del sol, tan abundantes en la República Dominicana que impone una seria reflexión hacia la orientación del currículo de la educación técnica hacia el diseño, construcción y montaje de plantas de producción de energía eléctrica a partir de las energías alternativas; en orden a abastecer las necesidades nacionales, racionalizar las divisas y mejorar el medioambiente y el ecosistema.



**Figura 1: Prototipo para un generador de Hidrogás**

## 2. MARCO TEORICO

Desde la universidad APEC (UNAPEC) se pretende contribuir al desarrollo integral de la personalidad del estudiante, activando la apropiación de conocimientos, destrezas, capacidades y habilidades, en armonía con la formación de cualidades, valores e ideales; de forma que desde el currículo se trabaje tanto la esfera inductora motivacional afectivo, como la ejecutora, concomitante con las prestaciones del desempeño profesional.

Los autores recalcan que la investigación parte del hecho social de la carencia de energía eléctrica que soporta la población nacional como sociedad o ente organizado de ciudadanos; pues nuestro país tiene un déficit promedio de potencia eléctrica de unos 300 MW diarios.

La República Dominicana es un país importador neto de petróleo con una factura anual de unos US\$6,300,000,000. Más de 300,000 hogares no tienen acceso a las redes de energía eléctrica. Además, posee un gran potencial de vientos de hasta 10,000 MW como puede observarse en el atlas eólico de la República

Dominicana, elaborado por el laboratorio nacional de energías renovables de los Estados Unidos. Además se cuenta con una posición geográfica privilegiada en cuanto a recepción solar, con significativas extensiones costeras para implementar sistemas de energías alternativas en el mar, con alta proporción de regiones montañosas con múltiples cauces fluviales y pendientes pronunciadas.

La energía es una propiedad de todo cuerpo o sistema material en virtud de la cual éste puede transformarse, modificando su estado o posición, así como actuar sobre otros originando en ellos procesos de transformación. La energía puede tener distintos orígenes y, dependiendo de ellos se le denomina de una forma u otra:

1. Energía cinética: asociada al movimiento de los cuerpos
2. Energía potencial: asociada a la posición dentro de un campo de fuerzas.
3. Energía interna: asociada a la temperatura de los cuerpos.
4. Energía luminosa: asociada a la radiación solar.
5. Energía nuclear: asociada a los procesos de fusión (unión de núcleos) o fisión (ruptura de núcleos) que tienen lugar en el interior de los átomos.

Todas las fuentes de energía renovables, e incluso la energía de los combustibles fósiles, provienen, en último término, del sol. El sol irradia 174.423.000.000.000 kwhr (174 millones, 423 mil megavatios hora) de energía por hora hacia la tierra. En otras palabras, la tierra recibe  $1,74 \times 10^{17}$  w de potencia. Alrededor de un 1 a un 2 por ciento de la energía proveniente del sol es convertida en energía eólica. Esto supone una energía alrededor de 50 a 100 veces superior a la convertida en biomasa por todas las plantas de la tierra. Las diferencias de temperatura conllevan la circulación de aire. El aire caliente es más ligero que el aire frío, por lo que subirá hasta alcanzar una altura aproximada de 10 km y se extenderá hacia el norte y hacia el sur. Si el globo no rotase, el aire simplemente llegaría al polo norte y al polo sur, para posteriormente descender y volver al ecuador.

La potencia emitida por el sol sobre la superficie de la esfera que tiene al sol como su centro y el radio promedio de la trayectoria terrestre es de 1.37 kw/M<sup>2</sup>. La potencia incide sobre un disco circular con un área de  $1.27 \times 10^{14}$  M<sup>2</sup>. La potencia emitida a la tierra es, por tanto, de  $1.74 \times 10^{17}$  W. En promedio, la producción primaria neta de las plantas está alrededor de  $4.95 \times 10^6$  calorías por metro cuadrado y por año. Esto la producción primaria neta global, es decir, la cantidad de energía disponible en todos los posteriores eslabones de la cadena alimenticia/energética. El área de la superficie de la tierra es de  $5.09 \times 10^{14}$  M<sup>2</sup>. Así pues, la cantidad de potencia neta almacenada por las plantas es de  $1.91 \times 10^{13}$  w, lo cual equivale al 0.011% de la potencia emitida a la tierra. Puede encontrar el factor de conversión entre las unidades energéticas calorías y julios.

El Hidrogás - AquaFuel es básicamente una tecnología que utiliza el hidrógeno y el oxígeno libres-para deponerlos sobre el carbón en un proceso subacuático. Con este proceso se puede crear el combustible ardiente en el mismo baño de agua, este rinde una alta eficiencia, mediante la reacción controlada de la fusión. El agua calentada se puede entonces convertir en trabajo con energía de vapor. El agua puede disolver el gas del bióxido de carbono que se puede precipitar hacia fuera en la forma de carbonatos sólidos del producto comercial - apenas como la captura de los océanos y el bióxido de carbono atmosférico de proceso.

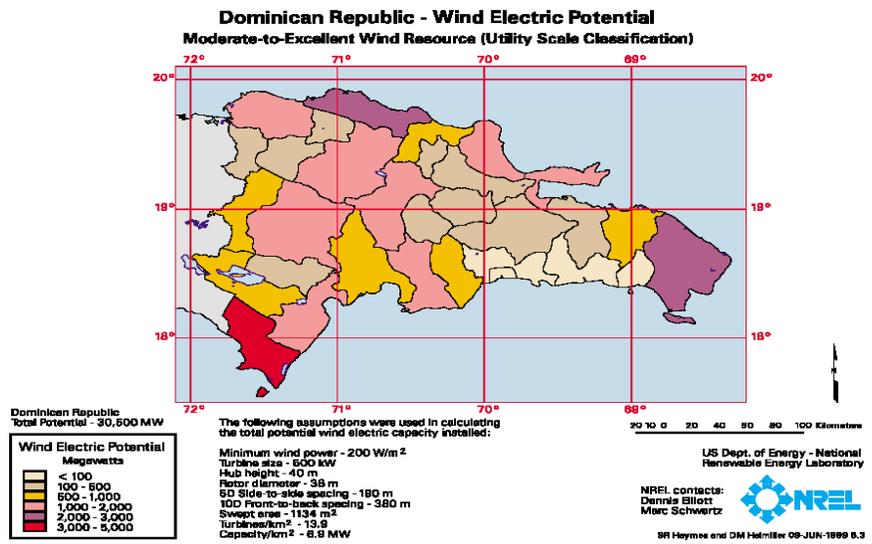


Figura 2: Mapa del potencial eólico de la República Dominicana

Tabla 1: Parámetros energéticos para el viento en Santo Domingo

**COMISION NACIONAL DE POLITICA ENERGETICA**  
**PARAMETROS ENERGETICOS PARA EL VIENTO**

LOCALIDAD : AEROPUERTO DE LAS AMERICAS

MES	E1 KWH/M2	E2 KWH/M2	P1 KWH/M2	P2 KW/M2	T1 HORAS	P %	V1 M/S	V2 M/S	D1 M/S	D2 M/S	T2 HORAS
ENERO	25.43	13.88	0.03	0.14	101.25	13.61	3.17	3.14	1.49	1.51	370.76
FEBRERO	37.86	27.07	0.06	0.18	148.75	22.13	3.65	3.61	1.82	1.85	333.75
MARZO	33.40	22.29	0.04	0.13	171.75	23.08	3.52	3.48	1.63	1.66	369.13
ABRIL	31.04	20.47	0.04	0.12	169.63	23.56	3.49	3.45	1.61	1.64	357.08
MAYO	28.83	17.81	0.04	0.13	138.50	18.62	3.32	3.29	1.57	1.60	369.38
JUNIO	24.90	14.41	0.03	0.11	132.00	18.33	3.25	3.22	1.48	1.51	356.72
JULIO	26.32	15.26	0.03	0.10	146.75	19.72	3.31	3.28	1.46	1.49	368.72
AGOSTO	34.02	22.71	0.04	0.16	143.13	19.24	3.39	3.36	1.66	1.68	368.83
SEPTIEMBRE	21.50	11.29	0.03	0.10	111.75	15.52	3.05	3.00	1.48	1.52	350.38
OCTUBRE	15.22	5.83	0.02	0.10	58.25	7.83	2.72	2.67	1.24	1.29	361.46
NOVIEMBRE	12.15	3.70	0.02	0.10	35.75	4.96	2.57	2.55	1.12	1.14	357.22
DICIEMBRE	13.30	3.75	0.02	0.10	35.50	4.77	2.65	2.63	1.10	1.12	368.85
ANNUAL	303.97	178.47	0.03	0.12	1,393.01	15.95	3.17	3.14	1.47	1.50	4,332.28

E1 es la energía total  
E2 es la energía aprovechable  
P1 es la potencia media total  
P2 es la potencia aprovechable  
T1 es el tiempo aprovechable  
P es el % util del tiempo  
V1 es la velocidad media del período con viento  
V2 es la velocidad media todo el tiempo  
D1 es la desviación estandar del período con viento  
D2 es la desviación estandar todo el tiempo  
T2 es el tiempo de existencia de viento

Esta tabla 1 nos presenta los datos sobre la energía eólica registrada en el área del Aeropuerto de las Américas, Santo Domingo, República Dominicana



Solar facilities map of Dominican Republic

**Figura 3: Mapa del potencial solar de la República Dominicana**

Objetivo General: Desarrollar un sistema de producción de hidrogás a partir de la energía generada por molinos de viento y paneles solares, para ser utilizado en labores agrícolas y en viviendas del sector rural dominicano

Objetivos específico:

1. Instalar el sistema híbrido para la generación de energía eléctrica y su posterior conversión y almacenaje en gas combustible una vez contactada su funcionalidad mediante la modelización computarizada del procedimiento.
2. Promover el desarrollo de habilidades y competencias en estudiantes y docentes, así como la creación de una cultura de investigación y desarrollo mediante jornadas de capacitación sobre el uso e importancia del sistema híbrido de generación de energía eléctrica alternativa.

3. Dar a conocer los resultados del proceso a a las autoridades y personas interesadas en el uso y manejo de fuentes renovables de energía.

### 3. ANALISIS

El Hidrogás se puede generar muy fácilmente para el uso sobre demanda en todos los motores de gasolina, necesitando solamente la adición de los adaptadores simples del producto tales como encontrado en los vehículos de la flota convertidos al funcionamiento en el gas natural o el propano. Este gas se puede también utilizar para aprovisionar de combustible la generación termal de la energía eléctrica, los motores de combustión interna, los hornos, los calentadores, las estufas, y los sistemas de desalinización. El equipo del control de la contaminación se puede tomar de sistemas aprobados para combustible fósil existentes del motor y de la caldera. Los temores del calentamiento global debido al del bióxido de carbono se podrían minimizar con la investigación adicional sobre Hidrogás usando un motor de vapor interno de combustión.

El proceso de AquaFuel- Hidrogás obtiene  $\text{COH}_2$  del agua y consume los electrodos de carbón/grafito. Aparte de ser un combustible ardiente limpio, el AquaFuel se ha probado y se ha confirmado que requiere menos energía para la generación del combustible, ello según lo predicho por Ley de Faraday, a partir de la electrólisis. Ello indica el que un peso equivalente de una sustancia descompuesta, estará producido en cada electrodo durante el paso de unos 96.487 culombios de carga, al aplicársele una pila electrolítica. La tabla 2 muestra un análisis de este gas conducido por la NASA:

**Tabla 2: Análisis del contenido de este gas establecido por la NASA**

Hydrogen	46.483 %
Carbon Dioxide	9.329
Ethylene	0.049
Ethane	0.005
Acetylene	0.616
Oxygen	1.164
Nitrogen	3.818
Methane	0.181
Carbon Monoxide	38.370
<b>Total</b>	<b>100.015</b>

Esta tabla 2 nos presenta los datos sobre el porcentaje de los gases que componen al  $\text{COH}_2$

Nuestro principal aporte como innovación para la producción de Hidrogás, es la manera o forma de almacenar la energía eólica y/o solar en forma química, tal y como se muestra en la figura 2. Donde se presenta que la energía producida en nuestro Centro de Experimentación Eólica o la energía producida por los paneles solares, es almacenada en el momento donde existen las condiciones requeridas de viento o sol, para producir energía eléctrica, esta energía eléctrica se almacena como Hidrogás comprimido, al ser convertida en  $\text{COH}_2$  por el sistema de producción por disociación del agua, para luego ser utilizada cuando se necesite.

Tabla 3: Cronograma de actividades propuesto por producto

Producto/Actividad	Año I (Trimestres)				Responsable	Costo (RD\$)
Producto 1					Externo	\$2,703,800.00
Actividades.....n	x	x	x	x	Construcción de equipo híbrido & auditoría externa, socialización	\$1,787,600.00 \$916,200.00
Producto 2					UNAPEC	\$420,000.00
Actividades.....n	x	x	x	x	Talleres y seminarios de capacitación, seguros, alquiler	\$202,000.00 \$218,200.00
Adquisición de equipos y materiales de construcción					240 hrs	240 hrs
Diseños, Supervisión y construcción y verificación					720 hrs-2,880 hrs	720 hrs - 2,880 hrs

Esta tabla 3 nos presenta los cronogramas para el desarrollo de este proyecto de almacenamiento de energías renovables en forma química

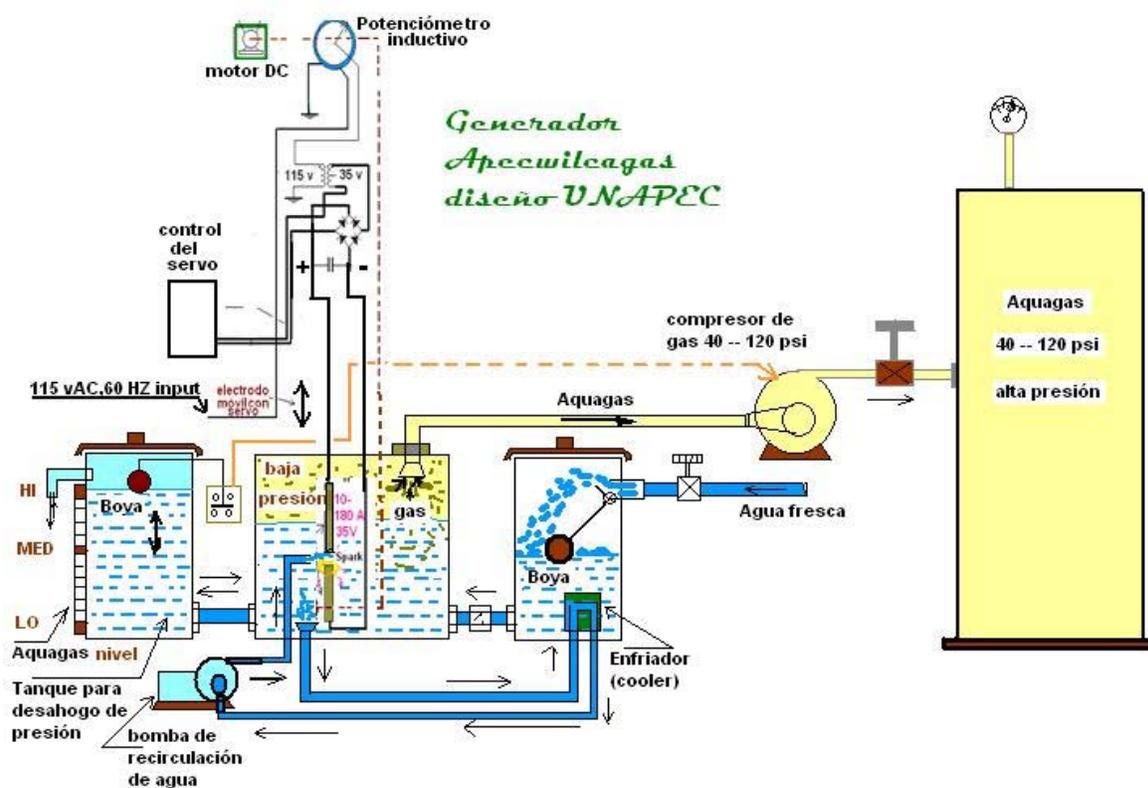
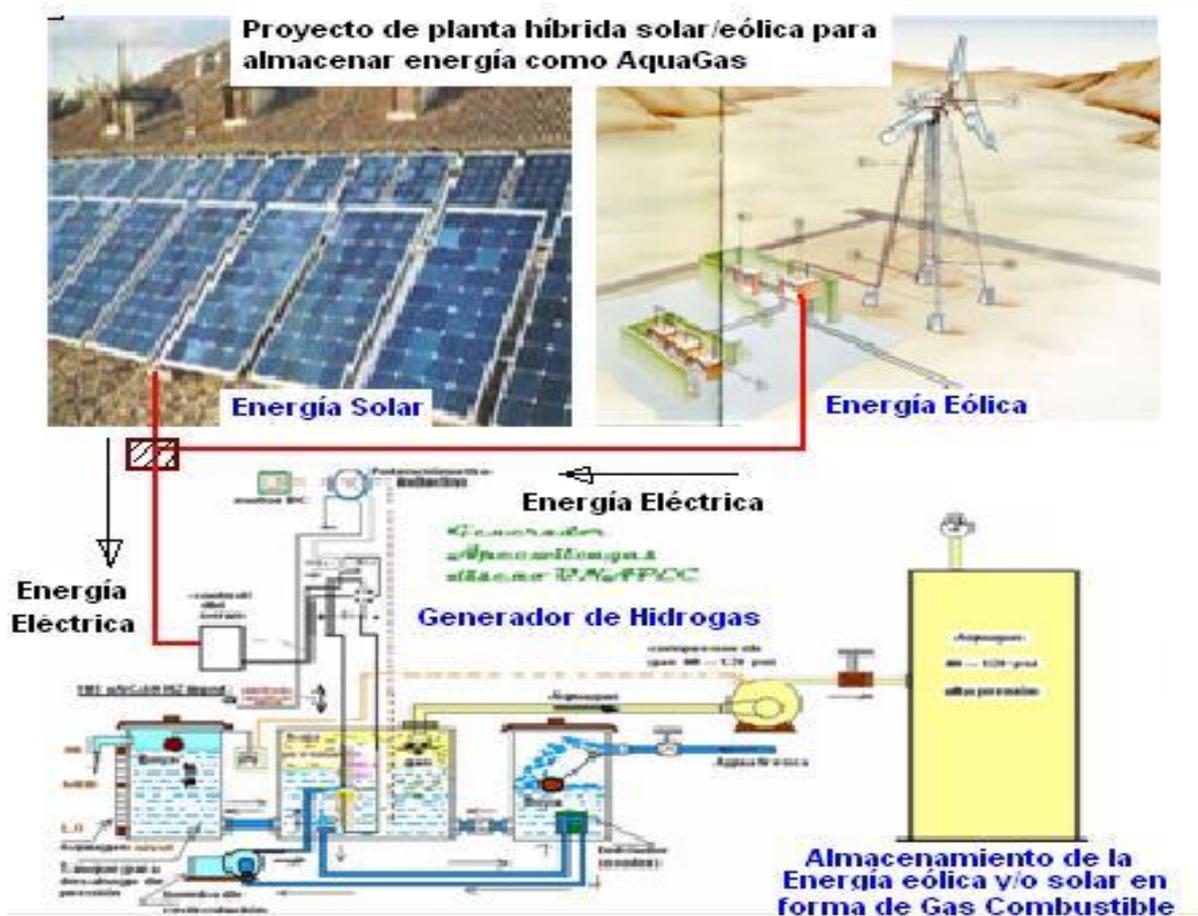
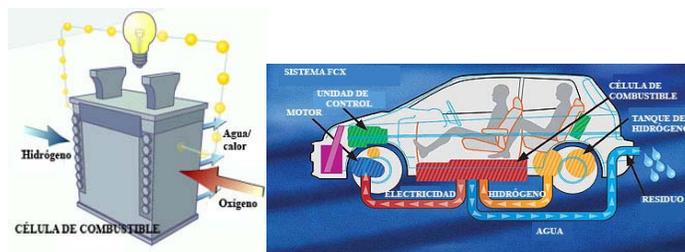


Figura 4: Innovación para la producción de Hidrogás como forma de almacenar la energía eólica y/o solar en forma química 1



**Figura 5: Innovación para la producción de Hidrogén como forma de almacenar la energía eólica y/o solar en forma química 2**

Otra innovación es la de usar el Hidrogén como combustible para los automóviles, esto porque el Hidrogén tiene características muy parecidas al gas natural. Se pueden adecuar los vehículos de gasolina o de Diesel para trabajar con Hidrogén en la parte de tracción por motor de explosión o combustión interna, o en los vehículos eléctricos usando celdas de combustible adaptadas para trabajar con Hidrogén. Una Celda Combustible (CC) es un reactor electroquímico muy parecido a una batería. La diferencia primordial es que una CC se le alimenta los reactivos continuamente versus las baterías en donde los reactivos se encuentran dentro del envase. Los reactivos de nuestra celda de combustible son Hidrogén y aire. El coste de la electricidad necesitada para producir AquaFuel se ha medido en US\$0.02 /kwh, bajo el uso de 3 Máquinas de soldar en serie que absorbían 39 kw con una descarga de 60 VDC, y una producción de AquaFuel de 151 pies<sup>3</sup> /hora. Cuando el AquaFuel resulta de reciclar las aguas residuales, su coste se reduce notablemente.

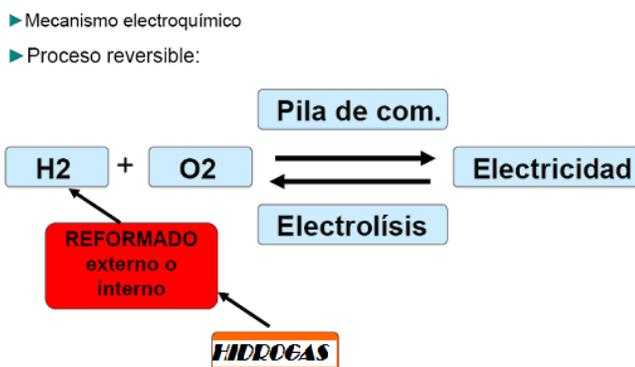


**Figura 3: Celda de combustible con uso de Hidrogás (COH2) para vehículos**

Entre los elementos a considerar para la producción del Hidrogás para la alimentación de las Celdas de combustible, debemos considerar comprimir el Hidrogás a presiones de 2,000 a 3,000 Psi, en tanques adecuados y con el instrumental que es usado para el gas natural.



**Figura 4: Procesos en celdas de combustible que trabajen con Hidrogás**



**Figura 5: Nueva estructura para pilas de combustible con Hidrogás**

## CONCLUSION

La búsqueda para la implementación de fuentes alternas de energía es una realidad mundial en los tiempos actuales, a raíz de proceso de globalización, iniciado en nuestros países con la apertura comercial con pocas restricciones, tenemos la obligación de optar por la explotación de fuentes de energía económicamente rentable y que oferten además una opción posible de desarrollo sostenible a la sociedad y a la biodiversidad.

La República Dominicana cuenta con excelentes potenciales para la explotación de varias fuentes alternas de energía, y las legislaciones actuales, invitan de una manera casi irresistible a la inversión privada y extranjera, por ende creemos que esta ponencia cumple con el papel para la cual fue concebida, que no es más que hacer un aporte con el objetivo de incentivar a los profesionales del área, con el fin de conseguir de forma paulatina, pero sostenida, fuentes de energía cada vez más limpias, más eficientes, más rentables.

En este trabajo se señala una nueva forma para el almacenamiento de energía en forma de Hidrogás, para lograr el abastecimiento de energía continua en sectores rurales, en la ausencia de viento o luz solar apropiada. Además, se plantea como elemento innovador la estructura de una Celda de Combustible que trabaje eficientemente con el gas COH<sub>2</sub>.

Se espera que con la consecución de este proyecto podamos aportar un modelo energético no convencional para una ecología sustentable, acorde con las necesidades del pueblo dominicano y con un aporte a la solución del problema energético de forma sostenible.

**Debemos de procurar modificar nuestros currículos en ingenierías para solventar el pobre desempeño del País en Energías Alternativas.**

**La falta de competencias en el área de las fuentes no convencionales en los estudiantes de ingeniería eléctrica de República Dominicana, debido en parte a las ineficiencias en el área curricular para las Energías alternativas en el contexto actual de la universidad.**

## REFERENCIAS

- [1]. Renewable Energy Consumption and Electricity Preliminary Statistics 2008, Reporte del Departamento de Energía de los Estados Unidos, disponible en <http://www.eia.doe.gov/fuelrenewable.html>, Julio de 2009
- [2]. Europe's Energy Position: Markets and Supply Report 2009, Directorado General de Energía de la Unión Europea, Disponible en <http://www.energy.eu/>, January 2010.
- [3]. J.A. Botas et al. La Economía del Hidrógeno. Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología (ESCET), Universidad Rey Juan Carlos. Disponible en: <http://www.aecientificos.es/empresas/aecientificos/documentos/LAECONOMIADELHIDROGENO.pdf>
- [4]. BP. Statistical Review of World Energy. London. 2004
- [5]. N. Fouquet et al. "Model Based PEM Fuel Cell State-of-Health Monitoring Via AC Impedance Measurements". *Journal of Power Sources*, vol 159, pp 905-913, Dec, 2005.
- [6]. D. Brunner et al. "A Robust Cell Voltage Monitoring System for Analysis and Diagnosis of Fuel Cell or Battery Systems." *Journal of Power Sources*, vol 54, pp 7, Jun, 2010
- [7]. E. Ramschak et al. "Detection of Fuel Cell Critical Status by Stack Voltage Analysis." *Journal of Power Sources*, vol. 157, pp 837-840, Feb, 2006
- [8]. E. Mulder et al. "Evaluation of an On-Site Cell Voltage Monitor for Fuel Cell Systems." *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 33, pp 5728-5737, Sep, 2008
- [9]. H. Cao et al. "Dynamic Modeling of Electrical Characteristics of Solid Oxide Fuel Cells Using Fractional Derivatives." *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 35, pp 1749-1758, Jan, 2010
- [10]. J. O'Rourke et al. "In Situ Detection of Anode Flooding of a PEM Fuel Cell." *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 34, pp 6765-6770, Jul, 2009
- [11]. K.A. Williams et al. "Experimental Investigation of Fuel Cell Dynamic Response and Control." *Journal of Power Sources*, vol. 163, pp 971-985, Nov, 2006
- [12]. <http://jlnlabs.online.fr/bingofuel/html/aquagen.htm>

***Authorization and Disclaimer***

Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.