



REVISTA CIENTÍFICA TRIMESTAL DE CUBASOLAR

**REVISTA CIENTÍFICA de las
FUENTES RENOVABLES de ENERGÍA**

42



Posibilidades y limitaciones para aumentar la potencia y la generación anual unitaria de los aerogeneradores para los futuros proyectos eólicos en Cuba.....	1
Alternativas de producción de agua caliente sanitaria en sistemas de climatización centralizada.....	9
Metodología para la comunicación y la cultura energéticas.....	18
Tecnologías alternativas para el abasto de agua: ahorro de combustibles fósiles y emisiones de CO ₂ evitadas.....	30
Proyecciones del viento hasta el 2059 en la provincia de Villa Clara, Cuba.....	39

Posibilidades y limitaciones para aumentar la potencia y la generación anual unitaria de los aerogeneradores para los futuros proyectos eólicos en Cuba

Possibilities and limitations to increase the power and annual unit generation of wind turbines for future wind projects in Cuba

Por Ing. Guillermo Leiva Viamonte
y Ing. María del Carmen Delgado González*
* Empresa de Ingeniería y Proyectos de la Electricidad (INEL),
Unión Nacional Eléctrica (UNE),
Ministerio de Energía y Minas (MINEM),
La Habana, Cuba.
e-mail: leiva@inel.une.cu*

Resumen

En el presente trabajo se señalan las restricciones identificadas para aprovechar áreas con buen recurso eólico, relacionadas con sus condiciones geotécnicas, usos de suelos o limitaciones ambientales. Las experiencias en la construcción, montaje y operación de los 11,7 MW existentes en Cuba en 2012, y durante el planeamiento del futuro parque eólico de 51 MW Herradura 1; todo ello, junto a referencias internacionales sobre las tendencias de la potencia unitaria y las tecnologías, conducirán a elevar la potencia nominal de los aerogeneradores a instalar en Cuba a más largo plazo, para aumentar la densidad de potencia y la producción anual de energía (PAE). Se destacan las limitaciones de infraestructura y logística a resolver, y la necesidad de asegurar que los futuros aerogeneradores soporten velocidades extremas causadas por fuertes huracanes, y que la industria e ingeniería nacionales aprovechen las oportunidades y tendencias actuales del mercado eólico latinoamericano. **Palabras clave:** Aerogenerador, logística, medioambiente, parque eólico, recurso

Abstract

The current paper points out the restrictions identified to take advantage of areas with good wind resources, in relation to their geotechnical conditions, land uses or environmental limitations. The experiences in the construction, assembly and operation of the 11.7 MW installed in Cuba in 2012, and during the planning of the future 51 MW wind farm Herradura 1; all this, together with international references on the tendencies of the unit power

and the technologies, will lead to raise the nominal power of the wind turbines to be installed in Cuba in the longer term, to increase the power density and the annual energy production (PAE). It highlights the limitations of infrastructure and logistics to be solved, and the necessity to ensure that future wind turbines withstand extreme wind speeds caused by strong hurricanes, and that the national industry and engineering take advantage of current opportunities and trends in the Latin American wind market.

Keywords: Wind turbine, logistics, environment, wind farm, resource

Situación actual

Siendo Cuba un archipiélago en cuya isla mayor se concentran casi toda la población, las principales industrias y las actividades económicas, y por tanto el mayor consumo de energía, debe priorizarse para aprovechar el mejor recurso eólico disponible en tierra, localizado en zonas próximas a la costa norte de la región centro-oriental. La caracterización primaria [Soltura, et al., 2010] demuestra que aunque la velocidad promedio anual en estas zonas es de moderada a baja, se manifiestan patrones muy estables que permiten alcanzar anualmente tiempos útiles para generar, mayores de 83% (dependiendo del sitio y la velocidad de arranque de los aerogeneradores), y muy pocas horas de calmas o con velocidades superiores a la nominal de la generalidad de los aerogeneradores disponibles.

Hoy operan 4 pequeños parques eólicos instalados para adquirir experiencia con esa tecnología, con un total de 20 aerogeneradores y 11,7 MW; la potencia unitaria mayor es de 850 kW (Gibara 1, 2008), y la promedio es de solo 585 kW. La decisión de adquirir aerogeneradores de baja potencia nominal se debió al bajo conocimiento del país en cuanto al recurso eólico (en 2006-2007), poca información sobre la madurez de las gamas de potencia mayores disponibles en el mercado, carecer de un plan de largo plazo para expandir la potencia eólica e invertir en infraestructura y logística, así como la insuficiencia de recursos humanos para el desarrollo a gran escala.

Los pequeños parques eólicos instalados han permitido estudiar soluciones para varias de las limitaciones identificadas, y demostrar la viabilidad técnica, económica y ambiental de acrecentar el aprovechamiento del potencial eólico; varias zonas candidatas por su buen recurso para desplegar cientos de MW [Leiva, et al., 2010], tienen hoy limitaciones que pudieran reducir significativamente el área efectiva disponible, y que se describen en este trabajo. La proyección de desarrollo madura hoy aceleradamente.

Como los pronósticos de la industria internacional [Global..., 2011; Global Wind..., 2012; Annual..., 2011; International..., 2011] coinciden en que la

tendencia principal actual son los aerogeneradores de 1,5 MW, y que la potencia unitaria promedio de los aerogeneradores para instalar en tierra seguirá creciendo hasta 3 MW o más en unos pocos años, la Ingeniería cubana deberá prever y resolver las restricciones que de otro modo harían imposible instalar esos grandes aerogeneradores y aprovechar sus beneficios comerciales, técnicos, económicos y ambientales.

Limitaciones de accesibilidad y logística

Las zonas de mayor recurso eólico son franjas costeras alejadas de zonas urbanas y con poco desarrollo económico; sus infraestructuras viales son débiles e insuficientes para soportar el tráfico de los componentes tecnológicos de grandes aerogeneradores. En la planificación del parque eólico de 51 MW, Herradura 1, que tendrá 34 aerogeneradores de 1,5 MW [INEL, 2011], y en la preparación de los estudios de prefactibilidad para otros 9 parques eólicos, se han identificado las limitaciones de las carreteras y líneas de ferrocarril en cada zona; también se han elaborado diagnósticos sobre las condiciones técnicas de los puertos a utilizar, y ya se estudian las soluciones específicas que permitan la recepción portuaria de los componentes de aerogeneradores de esa potencia, así como el acondicionamiento de zonas de almacenaje temporal.

Los problemas comunes en las carreteras rurales son la existencia de curvas de poco radio, obstáculos próximos a las vías, puentes con altura insuficiente, y puentes y alcantarillas en mal estado técnico para soportar tráfico intenso de grandes pesos. Aunque hay algunas pendientes pronunciadas que no rebasan los límites recomendados, no son frecuentes ni críticas en los itinerarios hacia los emplazamientos en estudio, excepto para la región de Maisí, en el extremo oriental.

Hoy es muy baja la disponibilidad de medios de transporte adecuados para las palas de longitud excepcional [CUBIZA, 2012]. En general, no hay limitaciones para mover componentes de gran peso, como góndolas de hasta 100 t, u otros componentes críticos por su longitud, como los tramos intermedios y superiores de torres, aunque sí hay limitaciones para el paso de las góndolas y tramos inferiores de torres bajo algunos puentes por su altura sobre vehículo, lo que podrá suceder también en el futuro con tramos intermedios de torres si se decide emplear aerogeneradores de mayor potencia y altura.

Para lograr la viabilidad de los pequeños proyectos ya desarrollados, y al no disponerse en el país de una grúa principal con la capacidad requerida para izar máquinas de mayor tamaño, fue necesario limitar la potencia unitaria a instalar, porque el costo de arrendar tal grúa resultaba muy alto comparado con el costo total de esos proyectos. Para desarrollar los futuros parques eólicos de escala comercial (entre 30 y 50 MW cada uno), esta limitación se

resolverá; en Herradura 1 se arrendará la grúa y se prevé la compra de una que asegure los izajes, mantenimientos y reparaciones en los proyectos subsiguientes.

En los puertos estudiados (Carúpano, Vita y Nuevitas) las condiciones de navegación y atraque son satisfactorias, pero deben certificarse; sin embargo, esos puertos no tienen grúas apropiadas para la descarga y manipulación de los grandes componentes, por lo que deben asegurarse por los buques y grúas móviles en tierra, que ya están disponibles.

Resumiendo, las restricciones principales están relacionadas con limitaciones y deficiencias técnicas en las vías, con la cantidad de medios de transporte adecuados para las palas, y con la certificación de las condiciones de los puertos. Deberán aplicarse acciones técnicas correctivas para acondicionar los itinerarios, y programar rigurosamente las maniobras para no crear cuellos de botella en los puertos de recepción.

Condiciones geotécnicas complejas

En las franjas costeras de interés para desarrollar parques eólicos, predominan formaciones cársicas con frecuente presencia de cavernas, fallas y otros accidentes geomorfológicos, así como áreas inundadas temporal o permanentemente por lluvias, o por su conexión hidrogeológica con las mareas.

Desplegar los parques eólicos en áreas vulnerables pudiera hacer muy costoso la construcción de sus cimientos, y crearía riesgos de inestabilidad de los caminos de acceso y cimientos.

Las actuales incertidumbres pueden afectar, tanto a la potencia unitaria de los aerogeneradores a emplear (por sus cimientos masivos y la presión específica que ejercerá toda la máquina sobre el terreno), como a la potencia total y cantidad de unidades que podrá desplegarse en cada zona seleccionada, si fuera necesario restringir las áreas para estas instalaciones.

Por ello, la Ingeniería ya prepara las especificaciones para realizar las investigaciones ingeniero-geológicas e hidrogeológicas que permitan definir las áreas aptas para los emplazamientos, y a partir de sus resultados se ajustarán los Layout estudiados. Estas investigaciones ya avanzan en el emplazamiento del parque eólico Herradura 1.

Restricciones ambientales

Algunos componentes del entorno natural serán amenazados o sufrirán daños por los trabajos de construcción y montaje, y con la operación ulterior

de los aerogeneradores durante la vida útil de los parques eólicos. Aunque en gran parte de las áreas afectadas durante la construcción de los parques existentes, las condiciones naturales se recuperaron rápidamente, y en su operación no se han reportado impactos significativos a las aves y otras especies de la fauna, su pequeña escala y el poco tiempo de explotación no aportan estadísticas fiables acerca de sus impactos.

La Ingeniería e instituciones científicas se unen para elaborar estudios de Línea Base Ambiental que diagnostiquen las condiciones naturales, y pronostiquen los posibles impactos de los futuros parques eólicos sobre los elementos del entorno en las zonas seleccionadas; todo ello ya se elaboró para el parque eólico Herradura 1 [Línea..., 2013], que continuará completándose.

Por Cuba pasan importantes corredores migratorios de aves desde Norteamérica al Caribe y Suramérica, y algunas zonas de alto interés para desarrollos eólicos se hallan sobre esas vías [Colectivo de autores, 2010]. Aunque han sido estudiados, su caracterización es aún insuficiente para permitir pronósticos precisos de la posible interferencia entre los aerogeneradores y las aves durante las migraciones, por lo que a este tema se dedicarán sucesivos trabajos.

Uno de ellos es el posible seguimiento de las migraciones por los radares meteorológicos cubanos, para prever tanto las rutas, períodos y velocidad, como la densidad y altura de vuelo de las bandadas de aves, lo que unido a estudios in situ permitirán caracterizar mejor su comportamiento y la posible incidencia de los futuros parques eólicos.

El incremento de la potencia unitaria de los aerogeneradores a instalar en el futuro, permitiría reducir el número de unidades para igual potencia total en cada parque eólico, aumentar la distancia entre ellas, elevar la altura de sus rotores y reducir su velocidad de giro, elementos todos que seguramente disminuirán los posibles impactos sobre las migraciones.

A ello se unirán medidas rigurosas de limitación de desbroces y otras afectaciones a las condiciones naturales, y posibles decisiones de operación para limitar la potencia y velocidad de rotación, o inclusive la detención transitoria de algunas máquinas durante los plazos más intensos de las migraciones de algunas especies, según sus características.

Eventos extremos

El interés por aprovechar el inmenso recurso eólico disponible en zonas de bajas velocidades del viento, empuja a la industria internacional a desarrollar aerogeneradores con rotores cada vez mayores, aptos para esas condiciones, lo que crea retos notables referidos a la transportación de

las palas. En general, esas máquinas se diseñan como de Clase III o S (según IEC 61400-1 o GL Rules and Regulations), considerando vientos extremos bajos (inferiores a 52,5 m/s, o 189 km/h), y esas normas de diseño y certificación no se concibieron para vientos extremos causados por huracanes, tifones, etcétera.

Cuba se halla en una región geográfica con alta probabilidad general de formación, desarrollo y circulación de ciclones tropicales, que eventualmente alcanzan categorías de huracanes intensos y de gran intensidad [Colectivo de autores, 2006], tendencia que al parecer crecerá debido al cambio climático. Además, las velocidades promedio del viento a más de 50 m de altura en las zonas costeras de alto interés son moderadas, aunque tienen ventajosos patrones de frecuencias de velocidades con alto porcentaje de velocidades próximas a las de potencia nominal, cortos períodos de calmas y de rachas elevadas que detengan los aerogeneradores.

El crecimiento de la potencia unitaria de los futuros aerogeneradores a instalar en Cuba, deberá ser resultado de la cooperación con fabricantes seleccionados para desarrollar máquinas aptas para satisfacer estas condiciones especiales: alcanzar alta PAE en zonas de velocidades promedio bajas a medias, y resistir velocidades extremas causadas por huracanes intensos y de gran intensidad.

Otros riesgos naturales importantes son las inundaciones costeras causadas por mareas de tormenta y otros eventos extremos, y tormentas eléctricas con alta incidencia de rayos.

La Ingeniería ha usado las referencias disponibles sobre los niveles de mareas de tormenta en las zonas de interés, definiendo las distancias límites a la costa en las que deberán ubicarse las filas de aerogeneradores más cercanas, en correspondencia también con la Ley de Costas [Decreto-Ley 212-2000], que impide realizar construcciones en distancias definidas según las características de cada franja costera. El aumento de la distancia a la costa provoca una disminución importante del recurso eólico, lo que conducirá a emplear aerogeneradores con alturas de buje mayores de 70 m, solución más justificada cuando se instalan máquinas de gran potencia (mayor de 1,5 MW).

Los rayos son menos frecuentes en las zonas costeras [Álvarez, 2004], pero este riesgo es elevado y aumentará al emplearse aerogeneradores de mayor potencia unitaria y altura, por lo que la aplicación de medidas técnicas que eleven la protección de las máquinas y sus componentes sensibles contra los impactos directos y efectos inducidos por los rayos, también ocupará la atención de la Ingeniería.

¿Por qué aumentar la potencia unitaria en el futuro? ¿Cuáles aerogeneradores emplear?

Aunque el tema es complejo dado que no es posible emplear aerogeneradores de gran potencia en todas las zonas de interés para desarrollar parques eólicos en Cuba, por limitaciones de accesibilidad y otras, es válido concluir que para la mayoría de las zonas que se estudian hoy debe preverse el aumento de la potencia unitaria de los aerogeneradores a instalar en el futuro, porque:

- Se podrá lograr un uso más efectivo de las áreas disponibles para desplegar parques eólicos, siendo posible obtener PAE más elevadas por cada km² de terreno, y limitar la potencia total que se requeriría para alcanzar igual efecto económico (en términos de toneladas de combustibles fósiles sustituidas).
- Hará posible obtener mayores beneficios ambientales al reducir las áreas de afectación a las condiciones naturales, las interferencias de los rotores eólicos con aves migratorias, endémicas o residentes, y evitar mayor cantidad de emisiones de gases contaminantes.
- De mantenerse la tendencia de la industria, que ha logrado reducir sostenidamente el costo unitario del kW instalado al madurar cada nueva gama de potencia, o lo que es más importante, reducir el costo del kWh generado al elevar la generación por unidad de área barrida por el rotor, entonces el empleo de aerogeneradores de mayor potencia unitaria podrá abaratar el costo de la generación eólica en Cuba, mejorando su competitividad con respecto a las fuentes convencionales.
- Lo anterior deberá complementarse con el empleo de aerogeneradores de tipo Especial, aptos para lograr alta PAE para vientos con velocidades bajas a moderadas, y que puedan resistir vientos extremos de huracanes intensos (de categoría 3) y de gran intensidad (de categorías 4 y 5), cuya frecuencia posiblemente aumente debido a los efectos directos e indirectos del cambio climático.
- También se prevé que el cambio climático ocasionará en el futuro mayor aumento del nivel medio del mar, obligando a que los nuevos parques eólicos se construyan más al interior, en zonas de menor recurso eólico, y para lograr un alto rendimiento energético será imprescindible, tanto aumentar el área barrida, como la altura de instalación de los rotores, lo que será económicamente viable aumentando la potencia nominal unitaria.

Bibliografía

- ÁLVAREZ E., L. (2004). *Estudio de la localización espacial de las tormentas eléctricas en Cuba y su tendencia*. La Habana: INSMET, 2004.
- Annual Report 2011*. IEA Wind.
- Colectivo de autores(2006). Cronología de los huracanes en Cuba. Probabilidad de afectación por huracanes en cada provincia de Cuba. Informe abreviado. La Habana: INSMET, AMA, CITMA, mayo, 2006.
- Colectivo de autores (2010). *Áreas importantes para la conservación de las aves en Cuba*. La Habana: CNAP, CITMA, Editorial Academia, 2010.
- CUBIZA (2012). *Evaluación sobre equipos de izaje para parque eólico de 50 MW en Herradura, Las Tunas*. La Habana: Diciembre, 2012.
- Decreto-Ley 212-2000. Gestión de la Zona Costera*. Consejo de Estado de la República de Cuba, Gaceta Oficial. Cuba, 2000.
- GERMANISCHER LLOYD WINDENERGIE (2004). *Rules and Guidelines. IV Industrial Services. 1 Guideline for the Certification of Wind Turbines*. Edition 2003 with Supplement 2004.
- Global Renewable Energy Market Outlook 2011*. Bloomberg New Energy Finance, 2011.
- Global Wind Report*. Annual Market Update 2012. GWEC. IEC 61400-1. *Wind turbines. Part 1: Design requirements*. Third Edition, 2005-08.
- INEL (2011). *Informe Técnico ER-ING 23/2011. Estudio de Prefactibilidad Técnico-económica del Proyecto de un Parque Eólico de 50 MW en la zona de Playa Herradura a Punta del Lirio, Municipio Jesús Menéndez, Las Tunas*. La Habana: Junio, 2011.
- International Wind Energy Development. World Market Update 2011*. Forecast 2012-2016. March 2012. Published by BTM Consult. A part of Navigant.
- LEIVA, G., et al. (2010). *Informe Técnico ER-ING 25/2010*. Portafolio de Proyectos de Parques Eólicos en Cuba, 2010. La Habana: INEL, octubre, 2010.
- Línea Base Ambiental Parque Eólico de 51 MW Herradura Las Tunas*. Ciego de Ávila: CIEC, enero, 2013.
- SOLTURA, R., et al. (2010). Informe Técnico ER-PE 12/2010. Dictamen de aprobación del Informe Técnico Final de Garrad Hassan sobre Estimación de la producción de energía de 10 parques eólicos en Cuba. La Habana: INEL, septiembre 2010.

Alternativas de producción de agua caliente sanitaria en sistemas de climatización centralizada

Alternatives for the production of domestic hot water in centralized air conditioning systems

Por M.Sc. Yarelis Valdivia Nodal,
M.Sc. Ing. Sherman Alwin Mc. Ivan Edgar*,
Dra. Ing. Margarita Lapido Rodríguez*,
Dr. Ing. Mario Álvarez Guerra Plasencia**

** Universidad de Cienfuegos, Cuba.*

*e-mail: yvaldivia@ucf.edu.cu; mecedgar@gmail.com;
mlapido@ucf.edu.cu; maguerra@ucf.edu.cu*

Resumen

El trabajo presenta un análisis de la producción de agua caliente sanitaria en instalaciones con climatización centralizada, a partir de la recuperación del calor de condensación y calentadores de apoyo, aplicando métodos termoeconómicos y análisis del costo de ciclo de vida (CCV). Se evalúan diferentes alternativas de acuerdo con el sistema de apoyo empleado: calentamiento con resistencias eléctricas, con gas licuado de petróleo (GLP) y energía solar. La evaluación termoeconómica muestra que la variante con calentador de apoyo solar presenta el mayor rendimiento exergético; superior hasta 25% respecto a la del calentador eléctrico. El análisis del costo del ciclo de vida evidencia que la mejor alternativa de complemento a la producción de agua caliente sanitaria, a partir de la recuperación del calor de condensación en instalaciones de climatización centralizada, es la de aprovechamiento de energía solar, con un CCV 4,5 veces menor que el sistema de calentamiento mediante GLP, y 16,4 veces menor que el calentamiento eléctrico. Esto representa un ahorro significativo de energía, y desde el punto de vista ambiental una reducción de las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

Palabras clave: Producción de agua caliente sanitaria, climatización centralizada, recuperación de calor, costo de ciclo de vida, termoeconomía

Abstract

The current paper presents an analysis of the production of hot water for hygienic purposes in centralized air conditioning facilities, from the recovery of the condensation heat and support heaters, applying thermoeconomic methods and life cycle cost analysis (CCV). Different alternatives are evaluated according to the support heating system utilized: electric resistance, liquefied petroleum gas (LPG) and solar energy. The thermoeconomic evaluation shows that the support alternative with solar

water heater has the highest exergy performance; up to 25% higher than the electric heater. The life cycle cost analysis shows that the best complementary alternative to the production of hot water for hygienic purposes from the recovery of the condensation heat in facilities with centralized air conditioning systems is the use of solar energy, with a CCV 4, 5 times lower than the LPG heating system, and 16.4 times less than electric heating. This represents a significant energy saving and from the environmental point of view a reduction of CO₂ emissions to the atmosphere.

Keywords: Production of sanitary hot water, centralized air conditioning, heat recovery, life cycle cost, thermo economics

Introducción

Los sistemas de producción de agua caliente sanitaria (ACS) están muy extendidos. En el sector hotelero, las necesidades de agua caliente sanitaria representan una parte importante del consumo energético. Estas necesidades varían sensiblemente, dependiendo de la categoría del hotel y nivel de ocupación, alcanzando valores de consumo en 15-25% del consumo total de energía.

La producción de agua caliente sanitaria puede lograrse a través de diferentes tecnologías. Una parte significativa es producida por calderas de agua caliente, aunque en la mayoría de los hoteles con sistemas de climatización centralizada se obtiene a partir del aprovechamiento del calor residual. En este último caso es usual incorporar calentadores de apoyo, para suplir los déficits de producción en regímenes de baja carga de climatización. Estos calentadores de apoyo pueden ser eléctricos, a gas, o inclusive con aprovechamiento de energía solar.

La selección adecuada de estos calentadores de apoyo debe realizarse sobre la base de criterios energéticos, económicos y ambientales. En particular, los métodos termoeconómicos y del costo de ciclo de vida, posibilitan evaluar el comportamiento integral del sistema, para facilitar la toma de decisiones.

El objetivo principal de este trabajo es la evaluación de alternativas tecnológicas de producción de agua caliente en sistemas de climatización centralizada con recuperación de calor y calentadores de apoyo, combinando métodos termoeconómicos y del costo del ciclo de vida, para facilitar la selección de la alternativa más adecuada.

Desarrollo

Algunos autores [Montero, s.a.; Cuza, 2010] reportan que no existe una variante absoluta para el ACS, ya que ello depende de varios factores como las características de la edificación, equipamiento disponible, uso de las fuentes de calor residual, disponibilidad y costo del agua, tarifa eléctrica, regulaciones, así como parámetros climatológicos y de operación que aseguren un funcionamiento adecuado del equipamiento y el confort.

Dado esto, la evaluación termodinámica de los sistemas energéticos es esencial, ya que permite identificar las variables que directamente influyen en el funcionamiento del sistema. La evaluación energética se complementa con el uso de métodos termoeconómicos, para la determinación de la eficiencia global del sistema.

Análisis termodinámico del sistema de climatización centralizada con recuperación de calor

En los sistemas de climatización centralizada con recuperación de calor, además del circuito de agua helada encargado de la climatización, existe otro circuito para la obtención de agua caliente sanitaria a partir de la recuperación de parte del calor de condensación. Para ello se dispone un intercambiador de calor refrigerante-agua a la salida de los compresores. La figura 1 muestra un esquema típico de estos sistemas.

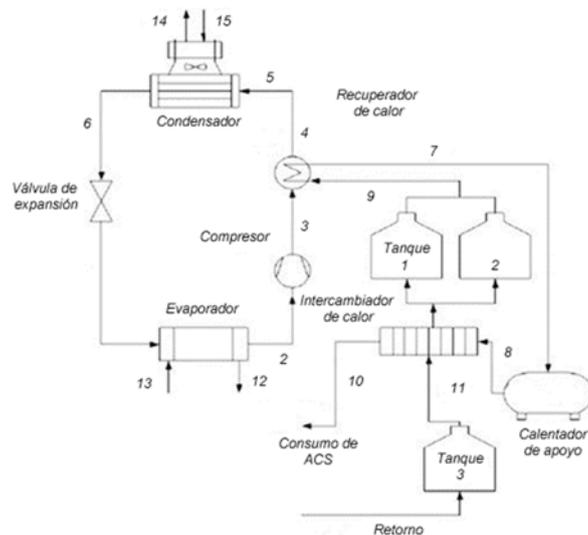


Fig. 1. Instalación del sistema de climatización centralizada con recuperación de calor

Estos sistemas presentan dos productos finales: agua fría para la climatización y caliente para fines sanitarios, y como alimentación energética (fuel) la electricidad necesaria para el accionamiento del *chiller*.

Análisis 1ra ley: Aplicación del método energético

Al aplicar el método energético los dos productos tienen igual valor, y de acuerdo con esto la ecuación de la eficiencia energética del sistema global adopta la forma siguiente:

$$\eta_{sist\ global} = \frac{Q_{ref} + Q_{cal} + Q_{apoyo}}{N_c + N_{apoyo}}$$

$$Q_{ref} = m_{ref} * (h_2 - h_1)$$

$$Q_{cal} = m_{agua} * C_p * (t_9 - t_7)$$

$$Q_{apoyo} = m_{agua} * C_p * (t_7 - t_8)$$

El análisis termodinámico del sistema con recuperación de calor se realizó para tres capacidades de operación; 100, 75 y 50% de carga frigorífica, y además, a 30, 40 y 50% de recuperación de calor. A partir de estos resultados se determina la disponibilidad de producción de agua caliente sanitaria con la recuperación de calor, y las necesidades de calentamiento adicional en los sistemas de apoyo.

Se evaluaron tres alternativas de calentador de apoyo con vistas a seleccionar la alternativa más económica:

1. Calentamiento por resistencia eléctrica.
2. Calentamiento por calderas de gas (GLP).
3. Calentamiento por calentadores solares al vacío.

La tabla 1 resume los valores de eficiencia energética global obtenidos en cada alternativa, considerando la condición de operación más crítica (*chiller* a 50% de capacidad frigorífica y 30% de recuperación del calor de condensación).

Tabla 1. Eficiencia energética del sistema con calentadores de apoyo

Coeficiente de eficiencia energética	
η_s + calentador solar	4,61
η_s + calentador a gas	4,60
η_s + calentador eléctrico	3,84

Análisis 2da ley: Aplicación del método exergético

Para la aplicación de este método se define la eficiencia exergética del sistema global como:

$$\eta_{chiller} = \frac{\Sigma \text{Exergía productos finales}}{\Sigma \text{Exergía fuel}}$$

$$\eta_{chiller} = \frac{Ex_{Agua Fria} + Ex_{Agua Caliente}}{N_{Chiller} + N_{Apoyo}}$$

Tabla 2. Eficiencia exergética del sistema con calentadores de apoyo

Coeficiente de eficiencia exergética	
η_s + calentador solar	0,37
η_s + calentador a gas	0,34
η_s + calentador eléctrico	0,15

Los resultados del método exergético demuestran que el sistema con calentadores solares de apoyo posee una eficiencia exergética global superior en 40% a los otros casos estudiados.

Ello se explica por la notable reducción del consumo energético del sistema y por las irreversibilidades del proceso (Tabla 2).

Análisis del costo del ciclo de vida

El análisis del costo del ciclo de vida se basa en la comparación de alternativas de la producción de agua caliente sanitaria, con el objetivo de obtener una opción que ofrezca un menor costo y procure mayores beneficios para el uso del calentador de apoyo.

Tabla 3. Datos para el análisis de caso de estudio

Costos	Calentador solar	Calentador de gas	Calentador eléctrico
Costo de inversión	\$34 777,00	\$5 787,00	\$17 712,00
Costo de mtto (año)	\$150,00	\$400,00	\$650,00

Consumo de energía	8 596,8 kWh	43 238,98 kg	507 826,26 kWh
Costo de energía	\$2 140,60	\$34 591,19	\$126 448,74

Con los datos de la tabla anterior se desarrolla el procedimiento para la determinación del costo de ciclo de vida, comparando las tres alternativas seleccionadas en el caso de estudio. Los costos de inversión total, mantenimiento y energía (Tabla 4), se obtuvieron de la referencia [CUBASOLAR, 2011; American..., 2011].

Tabla 4. Resultados del análisis del costo del ciclo de vida

Costos	Calentador solar	Calentador de gas	Calentador eléctrico
Costo de inversión total	\$34 777	\$5 787	\$17 712
Costo de mantenimiento	\$7 464	\$8 529	\$13 859
Costo de energía	\$29 575	\$477 927	\$1 747 072
CCV total	\$50 934	\$231 545	\$835 629

Análisis de resultados

En la figura 2 se muestran los resultados. El consumo de energía es la partida con mayor influencia en el costo de ciclo de vida, lo que confirma los resultados que ofrece la literatura [Sanz, 2003] en esta temática.

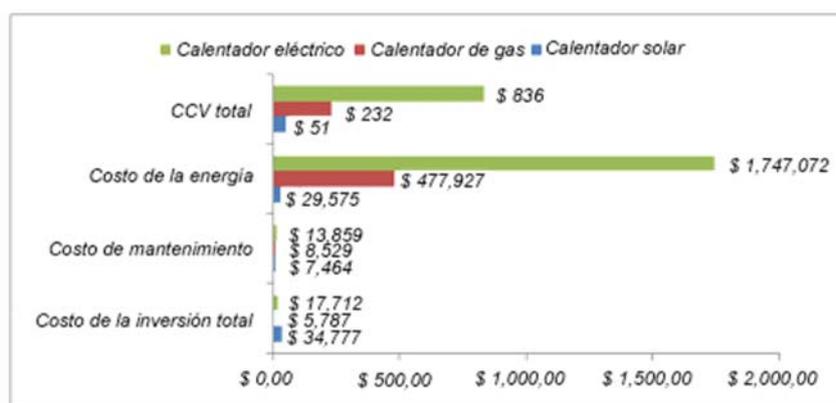


Fig. 2. Costo del ciclo de vida de la producción de agua caliente sanitaria.

El sistema que utiliza como apoyo calentadores solares al vacío, es la alternativa que ofrece el menor costo de ciclo de vida después del período de análisis de 10 años. Aunque tiene el mayor costo en la inversión inicial, su consumo energético es el menor que en las otras alternativas.

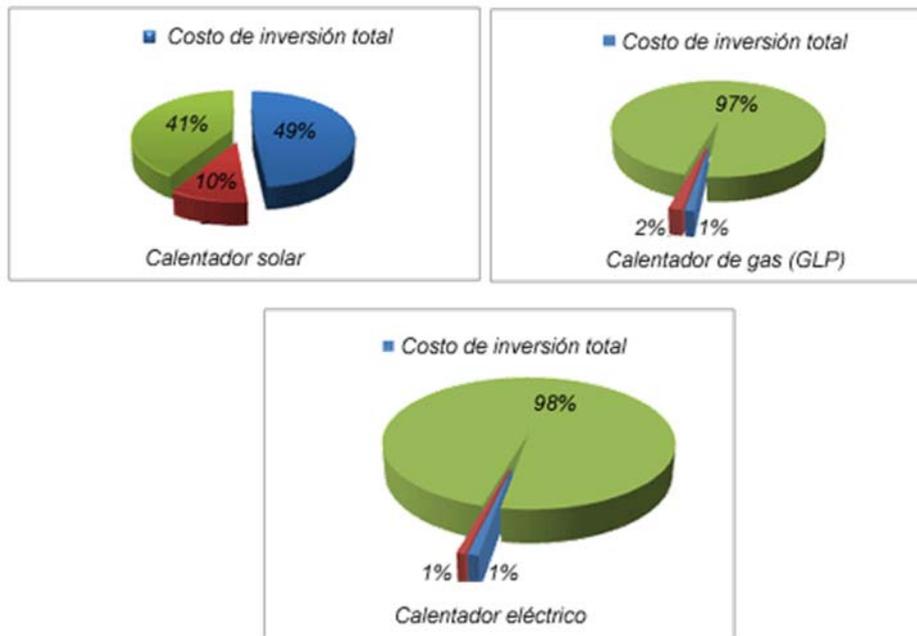


Fig. 3. Resultados obtenidos en función de las alternativas..

En la figura 3 se aprecia que el sistema con calentadores de apoyo eléctricos alcanza el mayor costo de ciclo de vida, por su alto consumo de energía eléctrica (98%), lo que representa 27,35% de costo energético comparado con el calentamiento con gas.

Conclusiones

1. La aplicación de métodos de análisis termodinámico a sistemas de producción de agua caliente sanitaria, a partir de la recuperación de calor de condensación en instalaciones tipo *chiller*, permite valorar la eficiencia integral de estos sistemas, tanto desde el punto de vista energético como exergético.
2. La evaluación termoeconómica muestra que la variante con calentador de apoyo solar presenta el mayor rendimiento exergético, superior hasta 25% respecto a la del calentador eléctrico.
3. El análisis del costo del ciclo de vida evidencia que la mejor alternativa es la de aprovechamiento de energía solar, con un CCV 4,5 veces menor que el sistema de calentamiento mediante GLP, y 16,4 veces menor que el calentamiento eléctrico. Esto representa un

ahorro significativo de energía, y desde el punto de vista ambiental una reducción de las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

4. La integración de métodos termodinámicos y de costo de ciclo de vida resulta una herramienta muy útil para el análisis de alternativas en la selección de equipos o máquinas en sistemas energéticos.

Nomenclatura

COP: Coeficiente de funcionamiento

h: Entalpía, kJ/kg

C_p: Calor específico, kJ/kgK

m: Flujo másico, kg/s

N: Potencia, kW

Q: Capacidad, kW

ACS: Agua caliente sanitaria

t: Temperatura, °C

W: Trabajo, kW

Símbolos

η : eficiencia

Subíndices

C: Compresor

Ex: Exergía

cal: Calentamiento

ref: Refrigeración

7: Salida del recuperador de calor

8: Salida del calentador de apoyo

9: Entrada del recuperador de calor

Bibliografía

American Standard Water Heaters.

En <http://www.legacywaterheaters.com/replacement/american-standard-water-heater-replacement/>. (accessed 25-11-2011).

Armas Valdés, Juan C. (2008). «Procedimiento para la optimización del diseño conceptual de sistemas de climatización centralizada por agua helada», en *Revista Energética*, no. 39, pp. 5-18, 2008.

Colectivo de Autores (2007). *Estrategia Ocupacional: Una vía para el ahorro de energía en hoteles turísticos*. CEEMA/UABC.

CUBASOLAR. Cuban Society for Promotion of Energy Renewable Sources and Environmental Respect. En <http://www.cubaenergia.cu>. (accessed en mayo, 2011).

- CUZA PACHECO, VÍCTOR HUGO (2010). *Estudio energético del sistema de climatización centralizada del hotel Jagua*. Cienfuegos: Universidad de Cienfuegos, 2010.
- HERENA TORIO, ADRIANA ANGELOTTI (2008). *Exergy Analysis of Renewable Energy Bases Climitization Systems for Buildings: A Critical View*. Dietrich Schmidt. 2008.
- MONTELIER HERNÁNDEZ, SERGIO (2008). «Reducción del consumo de energía en instalaciones con sistemas de climatización centralizados todo agua a flujo constante». Cienfuegos: CEEMA, Universidad de Cienfuegos, 2008.
- MONTERO LAURENCIO, REINERIS. «Sanitary Hot Water in Hotels: Realities and Evaluation for Operating Conditions», en *5to Taller Internacional de Energía y Medio Ambiente*. ISBN 978-959-257-186-0
- SANZ FERNÁNDEZ, IÑIGO (2003). *El coste del ciclo de vida en las bombas*. (2003)
- VALDIVIA NODAL, YARELIS (2010). «Exergy Saving Potencial and Real Cost for Centralized Chilled-Water Climatization Systems», en *Proceedings of ECOS 2010*.

Metodología para la comunicación y la cultura energéticas

Methodology for energy communication and culture

*Por M.Sc. Alejandro Montesinos Larrosa**

*y M.Sc. Madelaine Vázquez Gálvez***

** Máster en Periodismo. Director de la Editorial
CUBASOLAR, Cuba.*

*** Máster en Ciencias de la Educación
Superior. Editora de la Editorial CUBASOLAR, Cuba.*

e-mail: amonte@cubasolar.cu; madelaine@cubasolar.cu

Resumen

El objetivo de este documento es ofrecer una herramienta de trabajo para los comunicadores, educadores y profesionales de las fuentes renovables de energía, mediante una metodología que propicie la intervención social hacia una educación energética basada en los presupuestos del desarrollo sostenible. La metodología constituye uno de los aportes del proyecto de colaboración internacional «Comunicación y cultura energéticas», de CUBASOLAR, en colaboración con el Imperial College de Londres y la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE). En la metodología se exponen orientaciones sobre las acciones de comunicación y cultura energéticas implicadas en los procesos educacionales, en las intervenciones comunitarias y en el trabajo de los medios de comunicación masiva, para el desarrollo de las fuentes renovables de energía y el respeto ambiental. También se argumenta la pertinencia del desarrollo de los procesos comunicacionales y educacionales que sustentan las fuentes renovables de energía y sus perspectivas a corto y medianos plazos, desde la identificación y socialización de buenas prácticas en fuentes renovables de energía, seguridad alimentaria, uso de los recursos agua y suelo, y desarrollo sostenible.

Palabras clave: Comunicación energética, cultura energética, fuentes renovables de energía

Abstract

The objective of this paper is to offer a working tool for communicators, educators and professionals of renewable energy sources, through a methodology that encourages social intervention towards an energy education based on a sustainable development paradigm. The methodology is one of the contributions of the international collaboration project "Communication and energy culture", carried out by CUBASOLAR in collaboration with the Imperial College of London and the Swiss Agency for Cooperation and Development (COSUDE). The methodology puts forward

guidelines on energy communication and culture actions involved in educational processes, community interventions and the mass media, for the development of renewable energy sources and environmental respect. It also argues the relevance of the development of communication and educational processes that support renewable energy sources and their short and medium term perspectives, from the identification and socialization of good practices in renewable sources of energy, food security, use of resources water and soil, and sustainable development.

Keywords: Energy communication, energy culture, renewable energy sources

Introducción

La presente metodología tiene como objeto la comunicación y la cultura energéticas, con un campo de acción referido a los ámbitos de intervención de las fuentes renovables de energía (FRE), y asociado al trabajo institucional de CUBASOLAR (Sociedad Cubana para la Promoción de las Fuentes Renovables de Energía y el Respeto Ambiental).

La comunicación y la cultura energéticas constituyen una función estratégica de CUBASOLAR, y tienen como objetivo la promoción de las FRE y el respeto ambiental, mediante la aplicación de estrategias comunicacionales y educacionales que permitan alcanzar una mayor conciencia sobre la importancia de sustituir el modelo energético convencional por otro sostenible, y lograr el empoderamiento de una cultura solar, como la alternativa para la preservación de los recursos naturales y la salud planetaria. Es, además, un proceso transversal y multidisciplinario, que se encuentra presente en todas las acciones que desempeñan investigadores, científicos, educadores, comunicadores, actores locales, líderes comunitarios, entre otros múltiples intervinientes, vinculados al desarrollo de las FRE.

La metodología constituye uno de los aportes del proyecto de colaboración internacional «Comunicación y cultura energéticas», de CUBASOLAR, en colaboración con el Imperial College de Londres y la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), con el objetivo de contribuir al fortalecimiento de la cultura ambiental, energética y alimentaria de la población cubana, mediante acciones de capacitación, promoción y gestión del conocimiento, encaminadas a mejorar la comunicación de los efectos de proyectos en estos ámbitos desarrollados en diferentes regiones del país, además de validar una metodología de trabajo que pueda ser utilizada en otros países, especialmente latinoamericanos y caribeños.

Para la confección de esta metodología se tuvieron en cuenta los métodos teóricos y prácticos que desarrollan las ciencias sociales, con énfasis en la

investigación cualitativa. La metodología de investigación se fundamenta en la dialéctica materialista, teoría que estudia las leyes del desarrollo del pensamiento en su vínculo con la naturaleza y la sociedad, método general que permite una aproximación objetiva de la realidad.

De gran valor resultó el estudio de los presupuestos de la investigación y acción participativa, para articular la producción de conocimientos con la intervención social, y posibilitar la transformación de la realidad, así como el análisis y aplicación de los referentes teóricos sobre comunicación y cultura, como ejes estratégicos que garantizan la conexión de la metodología con sus objetivos. Los principales problemas identificados y relacionados con la comunicación en materia de FRE, a partir de estudios bibliográficos, las experiencias de los autores y de CUBASOLAR, son:

- Subestimación de las posibilidades reales de las FRE para garantizar el desarrollo energético de la humanidad.
- Aceptación pasiva de los modelos energéticos convencionales, con alto nivel de pragmatismo.
- Insuficiente dominio de los comunicadores profesionales sobre el tema.
- Poca sistematización de las buenas prácticas.
- Escaso uso de los medios de comunicación, por los profesionales de las FRE.
- Escasa sistematización de las acciones de comunicación en materia de FRE.
- Necesidad de acelerar los procesos de desmitificación inherentes a las FRE.

Para superar las contradicciones existentes entre el modelo actual de comunicación sobre las FRE y la pertinencia de su transformación, se presenta esta metodología, con amplio espectro de acciones orientadoras.

En un inicio se abordan los presupuestos teóricos que conformaron su elaboración, teniendo en cuenta las teorías actuales de los procesos de comunicación e intervención comunitaria. Para su instrumentación se diseñó una ruta metodológica, con varios ejes de salida, que constituyen propuestas metodológicas con los procedimientos correspondientes. Para cada una de estas propuestas se diseñaron acciones que permiten la adecuación de las intervenciones al contexto donde se desarrollan, y la consecuente transformación de la realidad. Finalmente, se exponen algunos ejemplos de intervenciones relevantes, en la categoría de estudios de caso.

La metodología se destaca por sus aportes en el terreno teórico, y por su actualidad y carácter novedoso. En tal sentido, no se disponen de

referentes teóricos específicos para el diseño de una estrategia comunicacional en materia de FRE. Desde el punto de vista epistemológico se abordan nuevos conceptos adecuados a la temática de las FRE. La actualidad de la metodología se basa en la pertinencia de potenciar los procesos de comunicación y cultura energéticas, dada la creciente necesidad de buscar un modelo de desarrollo energético sostenible. La metodología es abierta; se construye con la experiencia cotidiana de los actores intervinientes y las acciones desarrolladas. Su flexibilidad posibilita una adecuación crítica según las necesidades contextuales y los avances del conocimiento.

Objetivos

General:

Ofrecer una herramienta de trabajo para los comunicadores, educadores y profesionales de las fuentes renovables de energía, mediante una metodología que propicie la intervención social hacia una educación energética basada en los presupuestos del desarrollo sostenible.

Específicos:

- Orientar las acciones de comunicación y cultura energéticas implicadas en los procesos educacionales, en las intervenciones comunitarias y en el trabajo de los medios de comunicación masiva, para el desarrollo de las fuentes renovables de energía y el respeto ambiental.
- Argumentar la pertinencia del desarrollo de los procesos comunicacionales y educacionales que sustentan las fuentes renovables de energía y sus perspectivas a corto y mediano plazos.
- Favorecer la sistematización de las buenas prácticas en fuentes renovables de energía, seguridad alimentaria, uso de los recursos agua y suelo, y desarrollo sostenible, mediante su identificación y socialización.

Fundamentación

Para la mayor comprensión del tema es necesario conceptualizar los términos de desarrollo sostenible y de cultura solar.

Cada día la humanidad comprende con mayor claridad que el actual sistema energético mundial, basado en el uso irracional de las fuentes fósiles y nucleares de energía, debe sustituirse por una cultura energética respetuosa del medio ambiente, que permita la consecución del desarrollo sostenible. Este es entendido como el proceso de mejoramiento sostenido y equitativo de la calidad de vida de las personas, mediante el cual se

asegura el crecimiento económico y social, con respeto pleno a la integridad étnica y cultural (local, nacional y regional), y el fortalecimiento de la participación democrática de la sociedad, en convivencia pacífica y en armonía con la naturaleza, de modo tal que se satisfagan las necesidades de las generaciones actuales, sin poner en riesgo la satisfacción de las necesidades y aspiraciones de las generaciones futuras. Este proceso es viable (sostenible) siempre que se asuman dos principios básicos: a) lo que se «recolecte» no debe sobrepasar la capacidad de regeneración, y b) el ritmo de emisión de «residuos» debe ser menor o igual al ritmo de asimilación de los ecosistemas.

El hombre necesita una nueva cultura solar ante el antropocentrismo de hoy, y el holocausto que provoca el imperio neoliberal, para asegurar la definitiva libertad de la sociedad humana y la consecución del desarrollo sostenible.

Sus vectores principales son:

1. El progresivo e inevitable cambio de la estructura energética mundial, desde los combustibles fósiles y nucleares hacia la energía solar, directa e indirecta.
2. El acceso a la educación con iguales oportunidades para todos, desde la herencia humanista, y hacia el enriquecimiento espiritual e intelectual del hombre.
3. La seguridad alimentaria de todas las personas, con énfasis en la agricultura ecológica y los alimentos naturales.
4. La asunción de un sistema de salud preventivo para todos que incorpore la sabiduría ancestral.
5. El aseguramiento de una vida plena y armónica con los procesos de la naturaleza, como soporte conceptual para preservar nuestro hábitat, y las imprescindibles socio y biodiversidad.
6. El fortalecimiento de las relaciones interpersonales y entre los pueblos, sobre la base de la ética y el amor, en paz y con la brújula de la solidaridad.

A diferencia de los combustibles fósiles (carbón, petróleo) y nucleares (uranio), las fuentes renovables de energía son aquellas cuya disponibilidad se repite en el tiempo según períodos fijos o variables, y en cantidades no necesariamente constantes; es decir, se renuevan continuamente de manera natural y se originan a partir de la energía del Sol. Nunca se agotan mientras exista el Sol, y entre ellas se encuentran las siguientes: solar pasiva (relojes solares, iluminación y ventilación naturales), solar térmica (calentadores y secadores solares, centrales termoeléctricas solares, equipos que utilizan el gradiente termooceánico, arquitectura bioclimática), solar fotovoltaica (módulos y sistemas fotovoltaicos), viento

(aerogeneradores, molinos de viento, navegación a vela), agua (centrales hidroeléctricas, arietes hidráulicos, sistemas de abasto por gravedad) y biomasa (cogeneración con la producción de electricidad y calor, plantas de biogás), además de la energía de los mares (olas, mareas, corrientes marinas). Estas fuentes no conllevan desequilibrio ambiental, en tanto desaparecen las causas del efecto invernadero, las lluvias ácidas y las contaminaciones por radiactividad u otras. Su distribución y disponibilidad en todo el planeta facilitan la necesaria democratización del acceso a la energía, además de no propiciar la conexión civil-militar inherente al petróleo y los combustibles nucleares.

En cuanto a la epistemología del objeto de estudio, se destacan las variables siguientes:

Comunicación energética: Se puede definir la comunicación como un conjunto de transmisiones, tratos, correspondencias o actividades entre una o más personas, mediante un código común entre los sujetos discursivos. En ese contexto, cuando se conceptualiza la comunicación energética, se infiere que esos procesos tienen lugar en el ámbito de la energía, con una proyección hacia la matriz energética basada en el desarrollo de las fuentes renovables de energía. Esa comunicación presupone un carácter multidireccional.

La comunicación, como estrategia global de este proyecto, implica no solo difundir información, sino también utilizarla como una herramienta capaz de facilitar el tránsito hacia un nuevo paradigma de desarrollo en FRE. El proceso de comunicación es de carácter transversal y multidisciplinar, y para garantizar su eficiencia es necesario que sea participativo y flexible para responder a las necesidades de los protagonistas, que en definitiva son los que pueden propiciar un cambio de mentalidad. Por su carácter pluridimensional también asume en sus contenidos los aspectos referidos a la alimentación y los recursos agua y suelo.

Cultura energética: Para la mejor comprensión de este concepto se aborda inicialmente el significado de cultura. Etimológicamente, *cultura* deriva del latín *colere* (cultivar) y su acepción primitiva se refiere al cultivo de la tierra (agricultura). Cicerón lo aplicó al espíritu y de ahí su acepción humanista y clásica. En el caso de la cultura energética, referida al conjunto de representaciones, creencias, imaginarios, percepciones, conocimientos y prácticas que están asociadas a la esfera de la energía, en un contexto histórico determinado, signado por los presupuestos del desarrollo sostenible y con la educación como herramienta transformadora.

Estas dos dimensiones se complementan entre sí, y ambas poseen un marcado carácter transdisciplinar e imbricación dentro de las relaciones ciencia-tecnología-sociedad.

De forma general se aplicaron métodos teóricos de investigación (histórico-lógico, análisis y síntesis, inducción y deducción, y enfoque en sistema), junto a métodos empíricos (observación, entrevistas y análisis documental).

La metodología identifica al método interpretativo, y a los presupuestos de la investigación-acción participativa, como estrategias que posibilitan el diálogo y las relaciones horizontales entre los actores clave. Como proceso se identifica con la observación participante, la descripción, la inferencia y la interpretación. Es decir, una vez creadas las bases metodológicas para la preparación de talleres sobre comunicación y cultura energéticas, a partir de las experiencias de los involucrados desde sus creencias, percepciones y problemas reconocidos, se procedió a la descripción de los contextos a intervenir, mediante el registro de referencias, detalles empíricos, crónicas gráficas, intercambios con los distintos actores y resultados tangibles de las intervenciones. Para la inferencia, basada en un concepto de inducción, se llegaron a conclusiones generales y posiciones teóricas basadas en la reflexión crítica de la realidad. En la fase interpretativa, se analizaron los resultados de las inferencias para trazar una plataforma teórica (en este caso, la presente metodología), basada en los supuestos, subjetividades, contradicciones, imaginarios, resultados prácticos y significados (socio-históricos, científicos, culturales, económicos), que alcanzan en este proceso una dimensión mayor, más tamizada y retraducida, que permite la recursividad o circularidad del proceso descrito. Al finalizar se pudo obtener una herramienta de trabajo abierta y participativa.

Como principios orientadores para la acción en esta metodología, se privilegian los siguientes:

- Tomar la realidad como punto de partida dentro de un contexto desafiante: La situación con relación a las FRE encuentra un contexto adverso, por el predominio en el ámbito mundial del modelo energético basado en los combustibles fósiles, lo que requiere de una lectura reflexiva y crítica de la realidad para producir las transformaciones hacia un nuevo paradigma. Ello presupone una actitud proactiva, consecuente y creativa para lograr los cambios necesarios.
- Participación democrática y crítica: Significa que se debe promover el involucramiento activo de los diferentes actores en los procesos de la comunicación en FRE, para lograr que se sientan corresponsables de las relaciones y espacios socio-educativos que se van construyendo, y que sus acciones estén enmarcadas en los

presupuestos de las FRE, con un carácter reflexivo y crítico, junto al desempeño de una gestión democrática en los procesos de comunicación.

- **Construcción compartida del conocimiento:** Se generan nuevos conocimientos y aprendizajes, a partir de las experiencias significativas que adquieren los individuos y las instituciones. En este proceso se «negocian» los saberes y se brinda la misma atención a la teoría y a la práctica, para propiciar su articulación; se seleccionan, analizan y aplican procedimientos que contribuyan a la aprehensión del conocimiento, en calidad de atributo, para el logro de bienes sociales, de carácter humanista.
- **Planificación participativa y estratégica:** Implica la elaboración de proyectos de trabajo de forma compartida, para que sus principales actores sean capaces de replicar las experiencias, y adecuarlas a sus respectivos contextos. De esta forma, se diseñan políticas de comunicación en FRE, en un amplio campo de actuación.
- **Investigación-innovación:** Las intervenciones se organizan procurando el desarrollo de procesos investigativos desde la propia práctica, mediante procesos de asesorías y acompañamiento, o para fortalecerlos.
- **Sistematización de la práctica:** Se busca la apropiación de nuevos referentes y estrategias, que permitan una reflexión crítica y organizada de esta práctica, y propiciar su ajuste a las nuevas condiciones. Se tienen en cuenta las especificidades locales de cada territorio.

Estrategias metodológicas

Para la conformación de los procesos de comunicación se tuvieron en cuenta diferentes escenarios, donde los procesos comunicacionales y de cultura energéticas lograban una mejor visualización. Durante el curso de la investigación se produjeron hallazgos que amplificaron el radio de acción de las intervenciones, ya que en cada proceso de confluencia de las FRE se producían acciones de comunicación que incluían aspectos de gran convergencia, sujetos a regularidades, independientemente de las características muy particulares de cada uno.

Los ejes metodológicos identificados para la aplicación de estrategias comunicacionales se relacionan a continuación, y cada uno contiene procedimientos que permiten su aplicabilidad.

Talleres de comunicación y cultura energéticas: Se realizaron un taller nacional, en La Habana, y cuatro provinciales, en Pinar del Río, Villa Clara, Granma y Santiago de Cuba, además de otros dos talleres sectoriales con

el Círculo de Periodismo Científico y estudiantes de la Universidad de Ciencias Informáticas (UCI); así como talleres, cursos y conferencias en otros ámbitos. En esos eventos se logró la participación de los medios de comunicación, bibliotecas públicas, profesores de las instituciones de la educación superior y otros espacios vinculados a las FRE. Esta intervención fue la de mayor relevancia en tanto logró la participación de más de trescientos delegados, con la incidencia de entidades que constituyen, de facto o potencialmente, espacios comunicativos en FRE. La matriz de actuación en cada taller contó con sesiones interactivas, exposiciones, entrega de productos comunicativos en FRE, base de datos, toma de acuerdos, entre otras referencias; todo ello registrado en las relatorías, documentos que describieron con profundidad cada encuentro. Los programas de los talleres se adecuaron a las necesidades y propuestas de los territorios y entidades participantes.

Talleres asociados: Se identificó la realización y consiguiente participación en talleres asociados a las FRE como espacios idóneos para desarrollar una eficiente política comunicacional. El proyecto pudo participar en otros talleres nacionales vinculados a las FRE, además de exponerse las experiencias alcanzadas en Ecuador, Italia, Turquía, Egipto y Alemania.

Productos comunicativos: Se distribuyeron productos comunicativos de la Editorial CUBASOLAR y de otras entidades, como CUBAENERGÍA, y se discutieron las bases metodológicas para la realización de publicaciones alternativas, bajo el principio de *aprender haciendo*.

Proyectos de colaboración internacional: Durante la realización de los talleres y visitas realizadas a comunidades beneficiadas con proyectos de colaboración extranjera, se pudo crear un procedimiento para el desarrollo de políticas comunicacionales dentro de dichos proyectos.

Utilización de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (NTIC): Durante la celebración de los talleres se fue incrementando la base de datos de protagonistas en comunicación para las FRE, lo que posibilitó el intercambio para la participación en «listas de distribución» y discusión. De igual forma, se privilegiaron los enlaces entre el sitio Web de CUBASOLAR y los medios de los territorios, además de la creación de nuevos sitios Web y otros productos comunicativos.

Estudios de caso: En cada uno de los ejes que desarrolla la metodología, concursan elementos integradores que permiten su instrumentación, y a la vez consideran su pluralidad de objetivos, acciones y resultados. Particular atención se dedicó a los procesos de solarización territorial que se llevan a cabo en los municipios de Bartolomé Masó y Guamá, de las provincias de Granma y Santiago de Cuba, respectivamente.

Otras intervenciones relevantes

Alto de Aguacate: Se realizó una intervención comunitaria en esta comunidad perteneciente al municipio de Media Luna, de la provincia de Granma, donde mediante la observación participante se pudo dar seguimiento a un proceso relacionado con la instalación de tecnologías de las FRE para la electrificación de las viviendas con sistemas fotovoltaicos, la construcción de un acueducto comunitario con bombeo solar y la instalación de fogones eficientes de biomasa para la cocción de alimentos.

Finca del Medio: En este lugar, situado en el municipio de Taguasco, de la provincia de Sancti Spíritus, se monitoreó un proceso relacionado con la producción de alimentos en ciclo cerrado, con uso mayoritario de fuentes renovables de energía en todos los procesos productivos y de la vida familiar.

Intervenciones en espacios no formales de la Educación Superior: Se realizaron tres cursos sobre cocina para adultos mayores del sistema de estudios perteneciente a la Universidad del Adulto Mayor en Cuba, y una edición de asignatura electiva de la facultad de Biología de Universidad de La Habana, en donde se aplicaron sendos programas con la temática sobre cultura y sostenibilidad alimentaria, con la participación de más de cien cursantes.

Conclusiones

Para la aplicación de una metodología de comunicación en fuentes renovables de energía, se necesita:

- Capacitar a los profesores, profesionales de los medios de comunicación y otros actores locales en los presupuestos de las FRE.
- Identificar a los actores intervinientes y propiciar el vínculo institucional.
- Demostrar la relevancia del desarrollo de las FRE en el contexto actual, y contribuir a su desmitificación.
- Favorecer el trabajo en equipos para la socialización del conocimiento.
- Identificar las buenas prácticas en cada territorio.
- Promover la gestión de proyectos en FRE que incluya el perfil de comunicación y cultura.
- Utilizar las NTIC como herramienta para elevar la cultura en FRE.
- Desarrollar el proceso de formación en FRE en los decisores, para fortalecer la voluntad política e institucional.

- Identificar y aprovechar todos los espacios para la comunicación de las FRE (bibliotecas públicas, museos, talleres, instituciones de la Educación Superior, reuniones de decisores, etcétera).
- Sistematizar el proceso.
- Ofrecer esta experiencia como herramienta de trabajo para la aplicación de una cultura y comunicación energéticas, que propicie resultados loables para un futuro deseable y posible de las FRE, en la realidad cubana.

Bibliografía

- DIÉGUEZ, ALBERTO JOSÉ (2002). «Tres modelos de intervención comunitaria: K. Lewin, S. Alinsky y O. Fals Borda», en *Periódico de Trabajo Social y Ciencias Sociales*, edición electrónica, no. 27, primavera de 2002.
- GARCÍA ROMERO, DINORAH (2006). «Comunicación: Experiencia significativa. Metodología de educación en derechos humanos», en Congreso Iberoamericano Educación en Derechos Humanos. Brasil: Secretaría de Educación en Derechos Humanos, Ministerio de Educación, agosto-septiembre, 2006.
- HERNÁNDEZ CORUJO, MANUEL ANTONIO Y MARLENE GALO ZORRILLA (2008). «Gestión de las habilidades de comunicación interpersonal», en *EAEHT. Apuntes 15*, suplemento: 62-88. ene.-jun., 2008. ISSN 1727-1487.
- MARTÍNEZ ROJO, MARÍA ELENA (2008). «Comunicación y competencia intercultural», en *EAEHT. Apuntes 15*: 64-68. ene.-jun., 2008. ISSN 1727-1487.
- MONTESINOS LARROSA, ALEJANDRO (2006). *Hacia la cultura solar*. La Habana: Ed. CUBASOLAR, 2006. 176 p. ISBN 959-7113-30-9.
- MORI SÁNCHEZ, MARÍA DEL PILAR (2008). «Una propuesta metodológica para la intervención comunitaria», en *LIBERABIT*, Lima (Perú) 14: 81-90, 2008.
- NÚÑEZ JOVER, JORGE (2003). *La ciencia y la tecnología como procesos sociales*. La Habana: Ed. Félix Varela, 2003. 248 p. ISBN 959-258-274-2.
- QUIROGA, SILVIA GRACIELA Y MARÍA ALEJANDRINA VIDELA (2000). «Metodología de comunicación e interacción socio-municipal para proyectos integrados de desarrollo territorial», en *Scripta Nova. Revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, Barcelona: Universidad de Barcelona, v XIV, no. 331 (38), 1 de agosto de 2010. ISSN 1138-9788.
- SANGUINETI DE BRASESCO, SUSANA (1998). «Talleres: ¿solo una relación entre teoría y práctica?», en *Revista Latina de Comunicación Social*, 9: sep., 1998.
- TURRINI, ENRICO; ALEJANDRO MONTESINOS LARROSA, AMADO CALZADILLA FIGUERAS, et al (2010). *Solarización territorial*. La Habana: Ed. CUBASOLAR, 2010. 176 P. ISBN 978-959-7113-39-3.

VÁZQUEZ GÁLVEZ, MADELAINE (2010). «Programa de formación de profesores en cultura alimentaria para la Cátedra Universitaria del Adulto Mayor», Tesis en opción al grado de Máster en Ciencias de la Educación Superior. La Habana: Centro de Estudios para el Perfeccionamiento de la Educación Superior (CEPES), Universidad de La Habana, 2010.

VIZER, EDUARDO A., «Metodología de intervención en la práctica comunitaria: investigación-acción, capital y cultivo social». Consultado en *Ciberlegenda* 10, 2002.

Tecnologías alternativas para el abasto de agua: ahorro de combustibles fósiles y emisiones de CO₂ evitadas

Alternative technologies for water supply: saving fossil fuels and avoiding CO₂ emissions

*Por M.Sc. Fernando Rafael Puente Borrero**

** Centro Integrado de Tecnologías del Agua (CITA),
Camagüey, Cuba.
e-mail: fernando@cita.hidro.cu*

Resumen

Se evalúa el ahorro de combustibles fósiles y las emisiones de CO₂ evitadas por este concepto, asociados al uso de sistemas de bombeo y purificación de agua, energizados con fuentes renovables de energía (FRE). Estas tecnologías han sido objeto de estudios en el Centro Integrado de Tecnologías del Agua (CITA), mediante procesos endógenos de investigación + desarrollo + innovación (I+D+i) y transferencia de tecnología desde el extranjero. Entre las tecnologías evaluadas se encuentran el ariete hidráulico y el destilador solar. Primeramente, se explica la metodología general de cálculo del ahorro anual de combustibles fósiles y de las emisiones de CO₂ evitadas durante el bombeo de agua con el uso de las FRE, para luego evaluar el uso del ariete hidráulico; por último, se presentan las bondades que en este sentido produce el uso del destilador solar en la potabilización del agua de mar. Los resultados de cálculo se muestran en las tablas correspondientes a cada equipo, conjuntamente con su fotografía. La evaluación tiene carácter aproximado, pues las condiciones de instalación de los sistemas pueden ser muy variadas, además del comportamiento aleatorio de la disponibilidad energética de las FRE. Los cálculos se basan en valores promedios, reportados en la bibliografía consultada.

Palabras clave: Sistemas de bombeo, purificación de agua, fuentes renovables de energía, ahorro de combustibles fósiles, emisiones de CO₂ evitadas

Abstract

The presente paper evaluates the saving of fossil fuels and the CO₂ emissions avoided associated with the use of pumping and water purification systems, powered by renewable energy sources (FRE). These technologies have been evaluated at the Integrated Center for Water Technologies (CITA), through endogenous research + development + innovation (R&D+i) processes and technology transfer from abroad. Among

the technologies evaluated are the hydraulic ram and the solar distiller. First, we explain the general methodology for calculating the annual savings of fossil fuels and the emissions of CO₂ avoided during the pumping of water using FRE and later we evaluated the use of the hydraulic ram. Finally, we present the benefits of the use of the solar distiller in the purification of seawater. The calculation results are shown in tables for each equipment including a photograph. The evaluation is approximate, since the conditions of the installation of the systems can be very different, in addition to the variability of availability of the FRE. The calculations are based on average values reported in the accessed bibliography.

Keywords: pumping systems, water purification, renewable energy sources, fossil fuel savings, emissions of CO₂ evit ADAS

Introducción

Las fuentes renovables de energía (FRE) son la solución a la crisis energética mundial de los combustibles fósiles: escasez y altos precios, y de los problemas medioambientales globales que su explotación indiscriminada ha engendrado. Es necesario un nuevo paradigma tecnológico: mejora continua y búsqueda de nuevas tecnologías amigables con el medio ambiente, que desaceleren y detengan el cambio climático, coherente con el contexto actual cubano y del mundo, acorde con los principios del desarrollo sostenible.

El ahorro de combustibles fósiles y las emisiones de CO₂ evitadas por este concepto, se producen como resultado de la sustitución, siempre que sea técnico-económicamente viable, de sistemas de bombeo y purificación energizados sobre la base del petróleo, por otros que utilicen las fuentes renovables de energía, o por nuevas instalaciones de este tipo. Para calcular el ahorro y las emisiones evitadas totales en estos casos, es necesario analizar los gastos de combustibles en todo el ciclo de vida de las tecnologías que se confrontan, desde las materias primas y materiales para su fabricación, hasta la deposición y tratamiento de la tecnología como desecho. El presente trabajo solo abarca el cálculo del ahorro y las emisiones evitadas durante el uso del sistema en cuestión: bombeo o purificación de agua, por lo que tiene carácter aproximado. Se analiza la sustitución de equipos energizados por el Sistema Eléctrico Nacional (SEN), o motores de combustión interna (MCI), así como las nuevas instalaciones de sistemas energizados con FRE, alternativas de los mismos.

Metodologías de cálculo

a. Cálculo del ahorro anual de combustibles fósiles y de las emisiones de CO₂ evitadas, durante el bombeo de agua con el uso de las FRE

Durante el bombeo de agua se consume energía como en cualquier proceso. La energía consumida por la bomba depende de la energía útil ($E_{\text{útil}}$) y del coeficiente de rendimiento mecánico (η_M), que contempla las pérdidas de energía consumida en vencer las resistencias mecánicas al movimiento de las piezas de la bomba y del agua por el sistema: bomba - red hidráulica. Si la bomba es accionada por un motor eléctrico, entonces también hay que tener en cuenta las pérdidas de energía que ocurren en el mismo al transformarse la energía eléctrica en mecánica, utilizando en este caso el coeficiente de rendimiento eléctrico (η_e). Por lo que la energía eléctrica consumida por el sistema de bombeo en un año, se puede calcular según la ecuación:

$$E_e = \frac{E_{\text{útil}}}{\eta_M \times \eta_e \times 1000} = \frac{\rho \times g \times Q \times H \times t}{\eta_M \times \eta_e \times 1000} ; \dots [kWh/\text{año}] \quad (1)$$

Donde:

$\rho = 1 \text{ kg/dm}^3 = 1 \text{ kg/L}$: Densidad del agua.

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$: Aceleración de la gravedad.

$Q(\text{L/s})$: audal de bombeo.

$H(\text{m})$: Carga de bombeo.

$t(\text{h})$: Tiempo de bombeo en un año.

$\eta_M = 0,45 \dots 0,80$: Coeficiente de rendimiento mecánico [INRA, 1974].

$\eta_e = 0,75 \dots 0,95$: Coeficiente de rendimiento eléctrico [Induction..., 2002; Norma..., 2002].

Si se utiliza un sistema de bombeo energizado con FRE para hacer el mismo trabajo del sistema energizado por el SEN (las energías útiles aportadas por ambos sistemas son iguales), entonces el ahorro de energía eléctrica en el SEN, se puede calcular según la ecuación (1), donde el numerador: energía útil ($E_{\text{útil}}$), sería la energía útil aportada por el sistema de bombeo energizado con FRE, bajo condiciones específicas de caudal, carga y tiempo ($Q(\text{L/s})$, $H(\text{m})$, $t(\text{h})$), en dependencia del tipo de sistema, y el denominador se mantendría referido al sistema que se reemplaza, energizado por el SEN. En lo adelante, en las ecuaciones, el subíndice «e» se refiere al SEN.

De forma análoga se puede calcular el ahorro de energía convencional que representa la sustitución de sistemas de bombeo, impulsados por motores de combustión interna (MCI). En este caso, de la ecuación (1), se elimina el coeficiente de rendimiento del motor eléctrico (η_e). Entonces:

$$E_{MCI} = \frac{E_{util}}{\eta_M \times 1000} = \frac{\rho \times g \times Q \times H \times t}{\eta_M \times 1000}; \dots [kWh/año] \quad (2)$$

Conociendo el consumo específico de petróleo equivalente para generar un kilo Watt hora de energía en el SEN, y los consumos específicos de diesel y gasolina de los MCI, se puede calcular el ahorro anual según las ecuaciones (3) y (4), respectivamente:

$$\begin{aligned} A_s &= CPE_s \times E_s \times 10^{-6}; \dots [t/año] \\ A_{MCI} &= C_{MCI} \times E_{MCI} \times 10^{-6}; \dots [t/año] \end{aligned} \quad (3) \text{ y } (4)$$

Donde:

$A_s(t/año)$: Ahorro de petróleo equivalente en el SEN.

$A_{MCI}(t/año)$: Ahorro de diesel o gasolina en el MCI.

$CPE_s(g/kWh)$: Consumo específico de petróleo equivalente para generar un kilo Watt hora de energía en el SEN. $CPE_s = 300 \dots 350 g/kWh$

$C_{MCI}(g/kWh)$: Consumo específico de diesel o gasolina para generar un kilo Watt hora de energía en el MCI.

$C_{MCI} = 215 \dots 268 g/kWh$ para motores diesel [INRA, 1974].

Para el SEN, se entiende por consumo específico de petróleo, o combustible equivalente (base 10 000 kcal/kg), al consumo de combustible por unidad de energía eléctrica generada, determinado mediante la suma de todos los tipos de combustibles gastados en la generación, previamente convertidos a combustible equivalente en base a sus respectivos valores calóricos reales; esta suma se divide entre la generación de energía eléctrica [ONE, 2002].

Según [Directrices..., 1996], el cálculo estimado de emisiones de CO₂ por quema de combustibles se realiza sobre la base del contenido de carbono de los mismos (Método de Referencia), siguiendo la metodología:

1. Estimación del consumo aparente de combustibles en unidades originales.
2. Conversión a una unidad común de energía.
3. Multiplicación por los factores de emisión para calcular el contenido de carbono.
4. Corrección para dar cuenta del carbono no oxidado.
5. Conversión del carbono oxidado a emisiones de CO₂.

El algoritmo de cálculo es:

1. Se tienen, como datos iniciales para el cálculo, los valores de los ahorros anuales de petróleo equivalente en el SEN y de diesel o gasolina en el MCI: A_e (t/año); A_{MCI} (t/año).

2. Se calculan los valores calóricos de los combustibles ahorrados según las ecuaciones (5) y (6):

$$Q_{\alpha(e)} = Q_{\alpha(e)}^i \times A_e \times 10^3; \dots [J / \text{año}] \quad (5)$$

$$Q_{\alpha(MCI)} = Q_{\alpha(MCI)}^i \times A_{MCI} \times 10^3; \dots [J / \text{año}] \quad (6)$$

Donde:

$Q_{\alpha(e)}$ y $Q_{\alpha(MCI)}$: Valores calóricos (también conocidos como calores específicos de combustión o poderes caloríficos) de los combustibles ahorrados en el SEN o en el MCI, respectivamente.

$Q_{\alpha(e)}^i$ y $Q_{\alpha(MCI)}^i$, (J/kg): Valores calóricos netos (también conocidos como calores específicos de combustión o poderes caloríficos inferiores) de los combustibles ahorrados en el SEN, o en el MCI, respectivamente.

Para el SEN, según el concepto de petróleo o combustible equivalente, el valor calórico neto es:

$$Q_{\alpha(e)}^i = 10000 \text{ kcal/kg} = 41,868 \times 10^6 \text{ J/kg}$$

En el caso del MCI:

$Q_{\alpha(MCI)}^i = 43,33 \times 10^6 \text{ J/kg}$ para gasóleo/fuelóleo (diesel o fuel oil), tabla 1-3 [Directrices..., 1996].

$Q_{\alpha(MCI)}^i = 44,80 \times 10^6 \text{ J/kg}$ para gasolina, tabla 1-3 [Directrices..., 1996].

3. Se calcula el contenido aproximado de carbono en los combustibles ahorrados según las ecuaciones (7) y (8):

$$C_e = FEC_e \times Q_{\alpha(e)} \times 10^{-3}; \dots [t / \text{año}] \quad (7) \text{ y } (8)$$

$$C_{MCI} = FEC_{MCI} \times Q_{\alpha(MCI)} \times 10^{-3}; \dots [t / \text{año}]$$

Donde:

C_e y C_{MCI} : Contenidos aproximados de carbono en los combustibles ahorrados, en el SEN o en el MCI, respectivamente.

FEC_e y FEC_{MCI} : Factores de emisión de carbono de los combustibles ahorrados, en el SEN o en el MCI, respectivamente.

Para el SEN:

$FEC_s = 20,2 \times 10^{-9} \text{ kg/J}$ para gasóleo/fuelóleo (diesel o fuel oil), tabla 1-2 [Directrices..., 1996].

Para el MCI:

$FEC_{MCI} = 20,2 \times 10^{-9} \text{ kg/J}$ para gasóleo/fuelóleo (diesel o fuel oil), tabla 1-2 [Directrices..., 1996].

$FEC_{MCI} = 18,9 \times 10^{-9} \text{ kg/J}$ para gasolina, tabla 1-2 [Directrices..., 1996].

4. Se calcula la cantidad aproximada de carbono oxidado, de los combustibles ahorrados en el SEN o en el MCI, respectivamente.

Según la tablas 1-4 [Directrices..., 1996], solo 99% del contenido de carbono en el petróleo y sus derivados se oxida durante la combustión, por lo que:

$$C_{s(O)} = 0,99 \times C_s; \dots [t / \text{año}]$$

$$C_{MCI(O)} = 0,99 \times C_{MCI}; \dots [t / \text{año}]$$

(9) y (10)

5. Finalmente, se calcula la emisión de CO₂ evitada.

La emisión de CO₂ evitada es el resultado de multiplicar la cantidad de carbono oxidado por la razón 44/12 (masa molecular del CO₂/masa atómica del carbono):

$$C_{s(O)} = 0,99 \times C_s; \dots [t / \text{año}]$$

$$C_{MCI(O)} = 0,99 \times C_{MCI}; \dots [t / \text{año}]$$

(11) y (12)

En calidad de ejemplo se muestran los resultados de cálculo del ariete hidráulico multipulsor AHM CITA 6" L3V, para $q = 2,5 \text{ L/s}$, $h = 30 \text{ m}$, $H = 4,75 \text{ m}$ (Fig. 1).

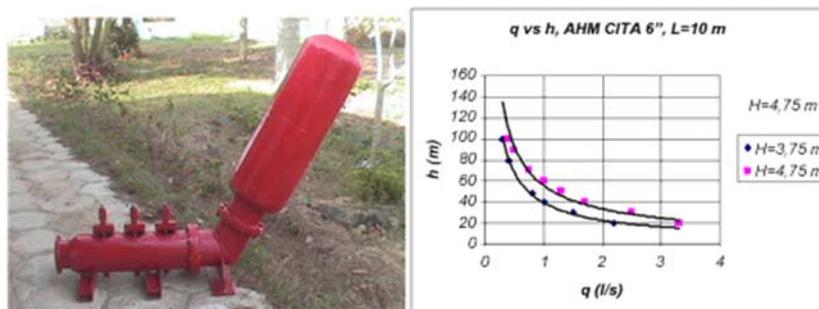


Fig. 1. Ariete hidráulico multipulsor AHM CITA 6" L3V (tubería de impulso de 6 pulgadas de diámetro). Curvas características (q -caudal, h -carga de bombeo, H -carga de impulso, L -longitud de la tubería de impulso).

Tabla 1. AHM CITA 6" L3V: Ahorro anual de combustibles y emisión de CO2 evitada

No	Parámetro calculado	Símbolo	Valor	Unidad de medida
1.	Energía útil	E_{util}	6 122,9	kWh/año
2.	Ahorro de energía eléctrica en el SEN	E_e	11 434,0	kWh/año
3.	Ahorro de energía convencional en el MCI	E_{MCI}	9 718,9	kWh/año
	Ahorro anual de combustibles			
4.	Petróleo equivalente en el SEN	A_e	3,71605	tep/año
5.	Diesel en el MCI	A_{MCI}	2,35197	tep/año
	Emisión de CO₂ evitada por ahorro de combustibles			
6.	De petróleo equivalente en el SEN	$CO_{2(e)}$	11,4083	tep/año
7.	De diesel en el MCI	$CO_{2(MCI)}$	7,47273	tep/año

tep: tonelada equivalente de petróleo.

b. Cálculo del ahorro anual de combustibles fósiles y de las emisiones de CO₂ evitadas, durante la purificación del agua con destiladores solares

Se muestran las bondades que el destilador solar de agua RSD F8-250 (Fig. 2) produce al medio ambiente, por el ahorro de combustibles fósiles en la transportación de agua potable a puntos de guardafronteras. Este sistema de destilación tiene una productividad promedio de 10 L/día (4 L/día/m²): 6 L/día (2,4 L/día/m²) en días nublados y 14 L/día (5,6 L/día/m²) en días de verano de mucho sol (mes de agosto) [Puente, 2006].



Fig. 2. Instalación RSD F8-250.

Se calcula la emisión de CO₂ evitada en el Punto de Guardafronteras Cayo Cruz, debido al ahorro mensual de 131,4 L de diesel en la transportación de agua potable, gracias a la instalación de 3 unidades de destilación solar RSD F8-250 para potabilizar el agua de mar.

1. Si en 1,17855 L de diesel se contiene una masa de 1 kg, entonces 131,4 L de diesel tienen una masa de 111,5 kg.

Cálculo:

$$(131,4 \text{ L} \times 1 \text{ kg}) / 1,17855 \text{ L} = 111,5 \text{ kg}$$

2. Según la tabla 1-3 [Directrices..., 1996], considerando al diesel como gasóleo/fuelóleo, este tiene un valor calórico neto igual a 43,33x10⁶ J/kg, por lo que 111,5 kg de diesel tendrán un valor calórico de 4 831,295 x 10⁶ J.

Cálculo:

$$43,33 \times 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \times 111,5 \text{ kg} = 4831,295 \times 10^6 \text{ J.}$$

3. Según la tabla 1-2 [Directrices..., 1996], considerando al diesel como gasóleo/fuelóleo, este tiene un factor de emisión de carbono igual a 20,2x10⁻⁹ kg/J, por lo que 111,5 kg de diesel, que tienen un valor calórico de 4 831,295x10⁶ J, tendrán un contenido de carbono igual a 97,6 kg, aproximadamente.

Cálculo:

$$20,2 \times 10^{-9} \frac{\text{kg}}{\text{J}} \times 4831,295 \times 10^6 \text{ J} = 97592,159 \times 10^{-3} \text{ kg} \approx 97,6 \text{ kg}$$

4. Según la tabla 1-4 [Directrices..., 1996], solo 99% del contenido de carbono en el petróleo y sus derivados se oxida durante la combustión, por lo que la cantidad de carbono oxidado será igual a 96,6 kg.

Cálculo:

$$97,6\text{kg} \times 0,99 = 96,624\text{kg} \approx 96,6\text{kg}.$$

5. Entonces la emisión de CO₂ evitada será el resultado de multiplicar la cantidad de carbono oxidado por la razón 44/12 (masa molecular del CO₂/masa atómica del carbono): 354,2 kg.

Cálculo:

$$96,6\text{ kg} (44/12) = 354,2\text{ kg}$$

Conclusiones

Los sistemas de bombeo y purificación de agua, como el ariete hidráulico y el destilador solar, energizados por FRE, hidráulica y solar directa, respectivamente, producen ahorros significativos de combustibles fósiles, que al no quemarse, evitan emisiones de gases de efecto invernadero como el CO₂ a la atmósfera. Estos son ejemplos de tecnologías amigables con el medio ambiente que pueden ayudar al desarrollo sostenible en Cuba y el mundo.

Bibliografía

- Directrices del IPCC para los inventarios de gases de efecto invernadero.* Versión revisada en 1996. Libro de Trabajo, 1996.
- Induction Motor Efficiency Standards.* April 3, 2002, Revised July 17, 2002. WSUCEEP020229. Prepared by: Johnny Douglass. Washington State University. Cooperative Extension Energy Program 925.
- INRA (1974). *Curvas características para bombas y motores.* La Habana: Departamento de Equipos de Bombeo, Dirección General de Riego y Drenaje, agosto, 1974.
- Norma Oficial Mexicana NOM-016-ENER-2002.* Eficiencia energética de motores de corriente alterna, trifásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, en potencia nominal de 0,746 a 373 kW. Límites, método de prueba y marcado. 2004.
- ONE (2002). *Anuario Estadístico de la República de Cuba.* La Habana: 2002.
- PUNTE BORRERO, FERNANDO RAFAEL (2006). «Evaluación y validación del destilador solar de agua RSD F8-250». Camagüey: CITA, 2006.

Proyecciones del viento hasta el 2059 en la provincia de Villa Clara, Cuba

Wind projections until 2059 in the province of Villa Clara, Cuba

Por M.Sc. Ricardo Osés Rodríguez,
Dr. Guillermo Saura González*,
M.Sc. Alfredo Pedraza Martínez*
y M.Sc. Otero Martín Meylin*
* Centro Meteorológico
Provincial (CMP), Santa Clara,
Cuba.e-mail: ricardo.oses@vcl.insmet.cu*

Resumen

La provincia de Villa Clara cuenta con cuatro estaciones meteorológicas utilizadas en la investigación, georeferenciadas según el sistema de coordenadas planas rectangulares, Yabú: ubicada entre los 603773N y 293054E, Sagua entre los 593187N y los 330955E, Caibarién entre los 657356E-297297N, e Inivit entre los 579532N-306594E en el sistema Cuba Norte. Los datos mensuales comprenden el período desde 1977 hasta 2009. Se modeló la variable velocidad del viento media a través de la metodología de variables dummy en la escala provincial. Se presentan gráficos de dos estaciones climáticas con las proyecciones del comportamiento hasta el 2059, observándose tendencias a disminuir la velocidad del viento en Yabú y Sagua, mientras que se aprecia un aumento en Inivit. En Caibarién no se observó una tendencia al aumento ni a la disminución. Se observa una relación inversa entre la tendencia de la presión y la tendencia de la velocidad media del viento.

Palabras clave: Impacto climático, modelo, series, tendencia, viento

Abstract

The province of Villa Clara has four research meteorological stations, georeferenced according to the rectangular flat coordinate system,

Yabu: located at 603773N and 293054E, Sagua at 593187N and 330955E, Caibarién at 657356E-297297N, and Inivit at 579532N-306594E in the Cuba Norte-system. The monthly data includes the period from 1977 to 2009.

The average wind speed variable was modeled using the dummy variables methodology at provincial scale. Graphs of two climatic seasons are presented with the projections of the behavior until 2059, observing trends decreasing wind speed in Yabu and Sagua, while an increase is appreciated in Inivit. In Caibarién, there was no trend to the increase or decrease in wind

speed. An inverse relationship is observed between the trend of the pressure and that of the average wind speed.

Keywords: Climate impact, model, series, trend, wind

Introducción

El clima se puede definir como el tiempo atmosférico promedio en una región, para un período relativamente largo de tiempo, por lo general meses, años y más; es decir, cuando se aborda el concepto de clima de un lugar se hace referencia a un conjunto de condiciones meteorológicas en determinado lugar y tiempo. Estos factores actúan sobre todos los componentes del clima de forma desigual y establecen el comportamiento de cada uno de ellos. Las complejas interacciones entre los diferentes medios que componen el sistema climático tienen una profunda influencia en la variabilidad del clima a diferentes escalas temporales. Muchos de los eventos de la variabilidad interanual observados, tienen su origen en los efectos de interacción entre los componentes del sistema climático.

La mayoría de las anomalías interanuales de los climas regionales están relacionadas con cambios en la circulación oceánica y atmosférica. La temperatura superficial del mar posee una significativa influencia sobre la circulación atmosférica [Hernández, 2006].

En la década de los 90 se incrementó el interés del país por el evento El Niño; el evento ENOS 1997-1998 ha sido catalogado como el más intenso del presente siglo y su influencia en nuestra provincia se hizo sentir en anomalías de temperatura y lluvia [Osés, et al., 2003].

La capacidad de predecir con antelación las variables climáticas ofrece la posibilidad de poder actuar a tiempo y reducir los impactos adversos, es decir, adaptarse a los efectos de la variabilidad climática. El incremento de la preparación ante eventos climáticos extremos contribuye notablemente a la reducción de la vulnerabilidad [IPCC, 2007b].

La predicción climática es aquella que prevé las condiciones medias del clima para plazos de duración de un mes, hasta uno o dos años. En la práctica se distinguen dos grandes grupos: los que hacen pronósticos del valor del elemento en cuestión, pronósticos determinísticos, y los que pronostican la probabilidad de ocurrencia de cierto valor del elemento, pronósticos probabilísticos. En este trabajo se utilizarán los estadísticos determinísticos.

En el más reciente informe de Evaluación Científica del Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático [IPCC, 2007a] se concluye que el calentamiento es inequívoco, lo que resulta evidente a partir del incremento promedio observado en las temperaturas mundiales

del aire y los océanos, el progresivo derretimiento de los hielos y el aumento del nivel medio del mar, lo que influenciará en otras variables climáticas. En estudios realizados sobre cambio climático en Cuba, no se ha incluido la variable viento [Centella, et al., 1997].

El objetivo de este trabajo es la modelación de la velocidad media del viento en las 4 estaciones meteorológicas citadas, así como visualizar las tendencias de las mismas para el período de tiempo estudiado (1977-2059), y ver si existe alguna relación con las tendencias de la presión en esas estaciones.

Materiales y métodos

Para la realización de este trabajo se utilizaron los registros de las cuatro estaciones meteorológicas con que cuenta el Centro Meteorológico Provincial de Villa Clara (Yabú, Sagua, Caibarién e Inivit); los datos mensuales comprenden el período desde 1977 hasta 2009. Se modelaron las velocidades del viento medio utilizando la modelación con variables *dummy* [Oses, et al., 2009]; por último, se estimó la tendencia numérica del viento y la presión, y se visualizan las series de viento para el período de tiempo estudiado. Se presentan gráficos de las diferentes estaciones con las proyecciones del comportamiento hasta el 2059.

Resultados y discusión

En la tabla 1 se presentan algunos parámetros de los modelos de regresión obtenidos. Se observa que todas las regresiones fueron significativas a 92%; se aprecian dos tendencias negativas en Yabú y Sagua, mientras en Caibarién este valor es nulo y en el INIVIT la tendencia es positiva. Todas las ecuaciones son significativas, presentándose correlaciones entre los valores reales y predichos, superiores a 50%.

Tabla 1. Algunos parámetros de los modelos de regresión

Variable	VmYabu	VmSagua	VmCaib	Vmlnivit
RAdj	0,929	0,938	0,922	0,923
Tendencia	-0,116	-0,279	0.000	0,054
Significación	0,00	0,00	0,00	0,00
Correlación	0,798	0,533	0,505	0,643

VmYabu: Velocidad del viento media en la estación meteorológica del Yabú.

Vmsagua: Velocidad del viento media en la estación meteorológica de Sagua.

VmCaib: Velocidad del viento media en la estación meteorológica de Caibarién.

Vminivit: Velocidad del viento media en la estación meteorológica de Inivit.

En la figura 1 se aprecia el comportamiento de la velocidad media del viento en la estación del Yabú, donde la tendencia es significativamente negativa. Podemos afirmar que de continuar esta tendencia en el 2028, se alcanzará un valor de 2,29 m/s, o sea, 2,31 m/s menor que el valor de 2008 (4,60 m/s); consecuentemente, en el 2040 la velocidad del viento pasará a ser cero, lo que indicaría un grave problema para esa región. Es de señalar que el equipo registrador de viento ha sido revisado con constancia y regularidad, y todo parece indicar que están observándose cambios en los alrededores de la estación con construcciones nuevas y árboles creciendo, lo que pudiera ser el factor que influye en esta tendencia decreciente del viento, por lo que debe comprobarse esta hipótesis con estudios posteriores. Si la tendencia observada no fuera debida al entorno de la estación, ni a desperfectos en el equipo de medición, entonces habría que comenzar a tomar medidas de mayor envergadura por la presencia de un cambio climático peligroso, al disminuir grandemente los valores de velocidad del viento por razones naturales. En este sentido analizamos la relación de la tendencia del viento con la tendencia de la presión (Tabla 2). Se puede afirmar que existe una relación inversa, ya que cuando la tendencia de la presión es a aumentar (positiva), entonces la tendencia de la velocidad del viento es a disminuir (negativa), y viceversa.

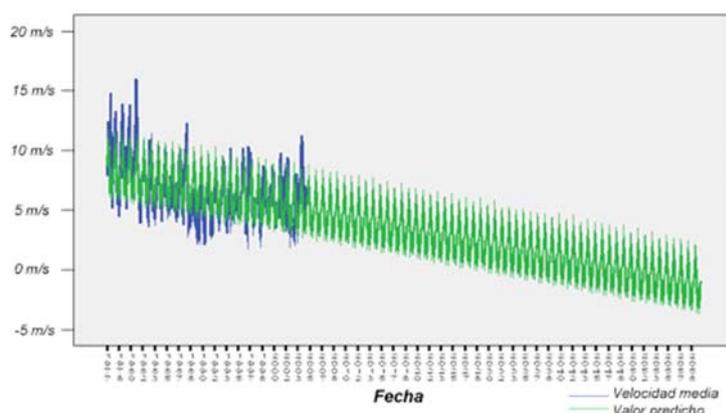


Fig. 1. Comportamiento de la velocidad media del viento en la estación Yabú, y pronóstico hasta el 2059

Tabla 2. Algunos parámetros de la tendencia viento-presión en las estaciones

Variable	Yabu	Sagua	Caib	Inivit
Tendencia viento	-0,116	-0,279	0,000	0,054
Tendencia presión	0,004	0,036	-0,240	-0,023

En la figura 2 se puede apreciar el comportamiento de la velocidad media del viento en la estación de Sagua, donde la tendencia es significativamente negativa. Podemos afirmar que de continuar esta tendencia en el 2015, la velocidad del viento pasará a ser cero, lo que indicaría un grave problema para esa región. Este comportamiento es semejante a la estación Yabú, por lo que debieran de tomarse las mismas medidas de revisar los datos y el entorno, pues podríamos nuevamente estar en presencia de un cambio climático peligroso.

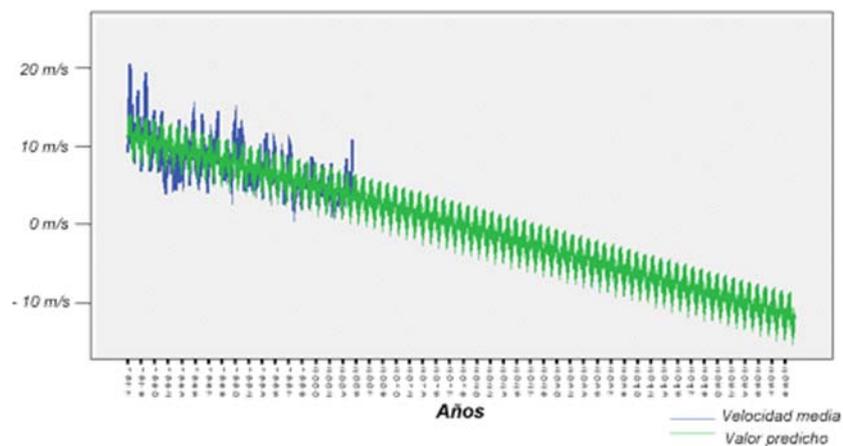


Fig. 2. Comportamiento de la velocidad media del viento en la estación de Sagua, y pronóstico hasta el 2059.

Conclusiones

- Los parámetros de los modelos son significativos para las 4 estaciones.
- Se aprecia una tendencia negativa de la velocidad del viento en Yabú y Sagua, mientras en Caibarién no existe y para el Inivit la tendencia es a aumentar.
- Se debe realizar un estudio más profundo sobre los datos y el entorno de las estaciones estudiadas.

- Existe una relación inversa entre la tendencia de la presión y la tendencia de la velocidad del viento.

Bibliografía

CENTELLA, A., L. NARANJO, L. PAZ, P. CÁRDENAS, B. LAPINEL, M. BALLESTER, R. PÉREZ, A. ALFONSO, C. GONZÁLEZ, M. LIMIA Y M. SOSA (1997). *Variaciones y cambios del clima en Cuba*. Informe Técnico. La Habana: Centro Nacional del Clima, Instituto de Meteorología, 1997. 58 pp.

HERNÁNDEZ, M. (2006). «Tendencia del nivel medio del mar en el archipiélago cubano», en *Proceedings del Seminario sobre Desarrollo Sostenible del Medio Costero en el Caribe y Taller sobre Vulnerabilidad de las zonas Costeras en el Caribe*. ISPJAE – HR Wallingford UNISA. 28/X – 1/XII, 9 pp., 2006.

IPCC (2007a). *Summary for Policymakers. Climate Change 2007: Mitigation*. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. METZ, O. R. DAVIDSON, P. R. BOSHC, R. DAVE, LA. MEYER, eds.]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 24 pp.
<http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg3/ar4-wg3-spm-sp.pdf>.

IPCC (2007b). *Summary for Policymakers* (Resumen para decisores). En: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (M. L. PARRY, O. F. CANZIANI, J: P. PALUTIKOF, P. J. VAN DER LINDEN AND C; E. HANSON, eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK, 7-22.

OSÉS, R.; G. SAURA, PEDRAZA, et al. (2003). «Algunas Consideraciones sobre el impacto del evento ENOS 97-98 en Villa Clara», en *Simposio de Cambio Global: Hacia una visión sistémica*. Punta Arenas: 2003.
http://www.cmm.uchile.cl/scc2003/doc/archivos_pdf/oses_r.pdf.

OSÉS, R.; G. SAURA Y PEDRAZA (2009). «El impacto climático en la provincia de Villa Clara». MAS XXI 2009 Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Santa Clara, Cuba, en VI Conferencia Científica Internacional Medio Ambiente Siglo XXI. Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Santa Clara, 3-6 de noviembre de 2009. ISSN 978-959-250-456-1.

Eco Solar es una publicación científica electrónica trimestral para los especialistas de las fuentes renovables de energía. Se dedica a la promoción de temas relacionados con la energética, las energías alternativas, la física ambiental, la arquitectura bioclimática, el impacto sobre el medio ambiente la educación ambiental, la termoconversión, la eficiencia energética, y las energías de origen hidráulico, fotovoltaico, eólico, solar, biomasa y ciencias relacionadas

DIRECTOR GENERAL:

Dr. Luis Bérriz Pérez.

DIRECTOR:

M.Sc. Manuel Álvarez González.

EDITOR JEFE:

M.Sc. Alejandro Montesinos Larrosa.

EDITORA:

M.Sc. Madelaine Vázquez Gálvez.

CORRECCIÓN:

Ing. Jorge Santamarina Guerra.

CONSEJO EDITORIAL:

Dr. Luis Bérriz Pérez.

M.Sc. Manuel Álvarez González.

Dr. Conrado Moreno Figueredo.

M.Sc. Manuel Fernández Rondón.

M.Sc. Alejandro Montesinos Larrosa.

M.Sc. Daniel López Aldama

DISEÑO ELECTRÓNICO:

D.I. Antonio Romillo Polaino.

WEB MASTER:

M.Sc. Fernando González Prieto.

CONSEJO ASESOR:

Dra. Elena Vigil Santos.

Dr. Conrado Moreno Figueredo.

Dr. Sergio Corp Linares.

Dr. José Guardado Chacón.

Dr. Deny Oliva Merecio.

Dra. Dania González Couret.

Dr. Juan José Paretas.

Lic. Bruno Henríquez Pérez.

M.Sc. Leonor Turtós Carbonell.

M.Sc. Alejandro Montesinos Larrosa.

Lic. Ricardo Bérriz Valle.

Dr. David Pérez Martín.

Dr. César Cisnero Ramírez



**SOCIEDAD CUBANA PARA LA PROMOCIÓN
DE LAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA Y EL RESPETO
AMBIENTAL**

Calle 20 no. 4113, esquina a 47, Miramar, Playa,
Ciudad de La Habana, Cuba. Código Postal: 11300.

Teléfono: (537) 205-9949.

Apartado postal: 6611, CP: 10600, Ciudad de La Habana, Cuba.

e-mail: editora@cubasolar.cu

<http://www.cubasolar.cu>