



REVISTA CIENTÍFICA TRIMESTAL DE CUBASOLAR

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

56



Sistema tecnológico SENIT para la gestión técnico-energética en hoteles	1
Contaminantes atmosféricos procedentes de centrales azucareros	15
Recuperación de agua, energía y níquel del efluente de la Empresa Ernesto Che Guevara	23
Valoración de indicadores del ecosistema agrícola y su relación con la energía. Estudios de caso	37
Estudio Técnico-económico de la introducción en una central fotovoltaica, en el Centro de Inmunología Molecular.....	48
Fuentes de energía y su impacto en el medio ambiente	57

Sistema tecnológico SENIT para la gestión técnico-energética en hoteles

SENIT technological system for the step technical and energy management in hotels

Por M.Sc. Arnaldo Molina González,
Dr. Aníbal E. Borroto Nordelo**,
Dr. José P. Monteagudo Yanes**
y Dr. Cosme Santiesteban Toca****

** Oficina Nacional para el Control del Uso Racional de la Energía (ONURE), Cuba.*

***Universidad de Cienfuegos, Cuba.*

**** Centro de Bioplantas, Cuba.*

*e-mail: amolina49@nauta.cu; aborroto@ucf.edu.cu;
jpmmyanez@ucf.edu.cu; cosme@bioplantas.cu*

Resumen

La hotelería en Cuba es una importante fuente de ingresos, pero además es una actividad altamente consumidora de energía. En 2008 Varadero consume 30 % de la energía que utiliza Matanzas. El destino Jardines del Rey en 2014 consume 12,5 % de la energía que utiliza Ciego de Ávila, y en 2015 aumentó a 12,6 %. El Sistema Tecnológico de Gestión SENIT integra los análisis técnico-económicos referentes a la explotación y administración de los portadores energéticos, homogenizando la información que se emite a las casas matrices. Ofrece una ruta personalizada para cada instalación en función de la toma de decisiones para el control de operaciones en la gestión energética. Con evidencias técnicas tangibles permite una adecuada evaluación del desempeño a partir de un nuevo indicador que integra al análisis, las variables climatológicas. A partir de un predictor incorporado se logra un conocimiento más preciso del comportamiento futuro y con ello mayor objetividad en la contratación de la demanda máxima. En el sistema se logra además un ordenamiento habitacional y compactación óptimos, a partir de incluir en estos análisis administrativos las consideraciones energéticas. Por último, el Sistema integra estos resultados en una aplicación que se incorpora en la instalación, formando parte de la Norma ISO 50001 de gestión energética. Luego de una intervención transversal en el Hotel Meliá Cayo Guillermo de dos meses, se corroboró su efectividad en la gestión energética hotelera, por lo que se considera apto para su

generalización, que se proyecta en todos los hoteles del Grupo Hotelero Gran Caribe en Jardines del Rey.

Palabras clave: Indicadores de desempeño, supervisión y control energético, eficiencia energética, predicción, control de operaciones, cargas térmicas

Abstract

Hotel industry is an important source of income in Cuba, but it is also a highly energy consuming activity. In 2008 Varadero consumed 30 % of the energy used by Matanzas. Touristic development area Jardines del Rey consumed 12.5 % of the energy consumed in Ciego of Avila in 2014, and about the same in 2015. The Technological Management System SENIT integrates the technical and economical analyses regarding the exploitation and management of energy carriers, homogenizing the information sent to main office. It offers an individual route for each facility in terms of the decision making for the control of operations in the management of energy. With tangible technical evidences it permits a satisfactory performance evaluation from a new indicator that integrates the analysis: weather variables. From an incorporated predictor a most precise knowledge of the future behavior and with it better objectivity is achieved in hiring peak load. The system also achieves an optimum room organization, starting from including energy considerations in these administrative analyses. Finally, the System integrates these results into an application that is used in the facility, being a part of the ISO 50001 energy management standard. After a two-month intervention in Meliá Cayo Guillermo Hotel, we corroborated its effectiveness in energy management in hotels. This is why we consider it suitable for generalization which will be done in all hotels of Gran Caribe Company in Jardines del Rey touristic development area.

Keywords: Performance indicators, energy administration and control, energy efficiency, prediction, control of operations, thermic loads

Introducción

Como parte del diagnóstico realizado se aplica una encuesta a un grupo de especialistas energéticos de hoteles del polo Jardines del Rey [Powell, 2015]. Los resultados:

- Prescinden de metodologías y herramientas adecuadas para alertar y asesorar a los directivos en función de la mejora del desempeño energético;
- Falta de capacitación técnica;
- Empleo de diferentes esquemas y recursos informáticos para los análisis;

- Cuestionamientos por empleo de indicadores inadecuados;
- Deficientes condiciones objetivas de trabajo como aseguramiento informático y pocos puntos de intervención para las mediciones;
- Deficiente esquema de trabajo para la gestión energética, y
- Subordinación a la dirección de mantenimiento, incumpliendo con indicaciones del Minem.

A partir de estas carencias se plantea el objetivo general: Elaborar un sistema tecnológico para la gestión energética que logre elevar el desempeño de las instalaciones hoteleras y sirva de plataforma para la aplicación de la Norma 50001.

El ahorro y uso racional de la energía, que se maneja como concepto en la literatura contemporánea, se define en tres dimensiones: la técnica, la social y la medioambiental. La primera es referida a la capacidad de un equipamiento de ser novedoso en cuanto a la eficiencia en su consumo energético; la segunda es referida a la cantidad de energía consumida por unidad de servicio obtenido, y la tercera es referida a la cuantificación de los daños al medioambiente ocasionados en el proceso de producción de bienes o servicios [Molina *et al.*, s/a]. El concepto para lograr su concepción holística se formula como gestión energética.

Para establecer un sistema de gestión energética en una organización, se requiere en primer lugar de mecanismos de supervisión y control eficaces.

El proceso de control, en su organización, consta de las siguientes etapas, [Borroto, 2001]:

- Establecer los lugares de control (áreas, equipos);
- Establecer los indicadores de control;
- Establecer las variables de control y su relación con los indicadores de control;
- Establecer las herramientas de medición de los indicadores de control;
- Establecer los estándares, y
- Establecer las herramientas de comparación de los indicadores con los estándares de detección de causas de desviaciones o de diagnóstico.

Se proyecta el sistema SENIT en función de cumplir con estas expectativas organizativas y además integrar a los análisis los argumentos técnicos necesarios que aporten solidez a las decisiones. Además, el sistema tiene la particularidad de que está abierto a la escalabilidad que requiera el

usuario: él puede establecer nuevas variables, relacionarlas, definir nuevos cálculos fijos, etc.

En los hoteles no están definidos los puntos de medición necesarios para establecer un correcto esquema de control de consumo, a partir de una red de sensores de los equipos con uso significativo de la energía.

El indicador utilizado para la evaluación del desempeño energético distorsiona la realidad, desestimulando el esfuerzo por la eficiencia energética.

A partir de estudios realizados en hoteles de la ciudad de Cienfuegos [Díaz, 2003], y en el polo turístico Jardines del Rey, se demuestra que el indicador utilizado en la actualidad para medir la eficiencia energética en las instalaciones hoteleras no es adecuado [Molina *et al.*, s/a-a]. Las variables climatológicas ejercen una influencia relevante sobre el consumo energético hotelero. Esta influencia no está reflejada en el indicador tomado en cuenta a nivel de país para evaluar la efectividad en el uso de la energía de las instalaciones. Esta relación entre HDO y consumo es corroborada también en el polo turístico de Santa Lucía en Camagüey. Se establecen coeficientes de determinación R^2 del orden de 0.7615 [Borges, 2011].

Este tiene en cuenta solamente el consumo de energía por unidad de alojamiento rentada, o sea, kilowatt hora por Habitación Día Ocupada. En el sector hotelero, existe una tendencia mundial a expresar dicho índice en esta unidad. En Cuba se considera de la misma manera, no obstante, existen diferencias en magnitudes. Por ejemplo, en la Florida, el índice oscila entre 75 – 95 kWh/HDO, mientras que en Cuba la media oscila entre un 30 – 60 kWh/HDO. [Díaz, 2003].

No existe uniformidad en las marcas establecidas, y solo en el caso del portador agua existe similitud, lo cual se debe a que existe una norma general de proyecto que rige el suministro a las instalaciones. El resto de los indicadores se han establecido sobre bases empíricas, y en la práctica estas marcas se hallan funcionando como parámetros fijos sin que previamente se hayan realizado estudios minuciosos en cada hotel, ni se haya validado la efectividad de estos índices de consumo para caracterizar la eficiencia energética de los hoteles [Cabrera, *et al.*, 2004].

Tabla 1. Indicadores energéticos utilizados por las diferentes cadenas hoteleras cubanas.

Cadena hotelera	Electricidad kWh/HDO	Agua M ³ /HDO	Diésel L/HDO	GLP L/HDO
Gran Caribe	14-30	0,8-1	0,65-0,7	1,9
Horizontes	35-40	0,8-1	2,5	1,9-2
Gaviota	35-40	0,8-1	2-3,5	1,9-2
Cubanacán	30-60	0,8-1	-	1,5-2
Islazul	27-60	0,8-1	2-2,5	1,5-2

Fuente: Cabrera, et al. [2004]

Por esta causa no es confiable la evaluación que se realiza en el sector con respecto a los portadores energéticos. Se evalúan como deficientes varios hoteles que realizan esfuerzos significativos en función del ahorro, y se reconocen otros que derrochan recursos energéticos, escudados en que cumplen con el mencionado indicador.

Los estándares para evaluar están distorsionados, y se requiere una línea base acorde a cada instalación.

Los hoteles cubanos no poseen supervisión y control de la demanda máxima. Se contratan con el suministrador del servicio eléctrico valores de demanda a partir de relacionar records históricos, y dejando una reserva para evitar las penalizaciones, que se cobran al triple del kW contratado. Las acciones para cortar las crestas de consumo son nulas. No se cuenta con herramientas que logren una predicción certera en función de las variables climatológicas estimadas y de la ocupación prevista en el *booking* hotelero, además de los consumos históricos.

Otra oportunidad de ahorro lo constituye la entrega de habitaciones en recepción a partir del conocimiento del consumo energético de cada una. También existen oportunidades no aprovechadas a la hora de compactar las instalaciones al contraerse la ocupación, al no tener en cuenta en el análisis los edificios con menores consumos.

Otra carencia que se trata con el Sistema SENIT es que logra homogenizar la gestión energética en las diferentes instalaciones del territorio. En cada una de ellas la información es recogida y procesada a partir de aplicaciones

diseñadas por los especialistas, con especificidades a la manera de quien las diseñó. Esto entorpece el análisis hotelero a nivel de grupos hoteleros y de territorio.

Además en SENIT se diseña un módulo para el control de operaciones, que a partir de tablas de inferencias basadas en reglas aporta un árbol de decisiones elegibles, teniendo en cuenta las diferentes variables que intervienen.

Desarrollo Nuevo indicador

Se muestra en SENIT un módulo para el cálculo de índices de consumo e indicadores de desempeño. Se propone en el análisis un nuevo indicador energético que tiene en cuenta la variable ocupacional y la influencia de los factores climáticos. Como aporte adicional se presenta también el indicador patrón o línea base, no menos importante. Este da al explotador la posibilidad de comparar su desempeño no contra un indicador global y ajeno, sino con el indicador ideal para el período evaluado y para su instalación. Estas herramientas sirven por igual al explotador hotelero que al auditor energético o evaluador. Darán al traste con el derroche de energía en los hoteles favorecidos por el actual indicador y evitarán el enjuiciamiento a los más consumidores, que no deben ser los más derrochadores pues están constantemente cuestionados en su desempeño energético.

En los hoteles de ciudad estudiados la relación entre la Habitación día ocupada (HDO) y el consumo energético es bajo, el coeficiente de determinación R^2 puede ser de 0,014, o sea, la variable ocupación influye sobre el consumo energético en 1,4 %. Este nivel de relación es débil, por lo que no debe ser el patrón por el cual se evalúe el desempeño energético de la instalación. En hoteles de playa la relación es más significativa, con valores entre 30 y 45 %. De igual manera, al integrar al análisis la variable Horas Grado como expresión de la temperatura, los valores de R^2 alcanzan valores de 0,647 en hoteles de ciudad [Molina, 2011], que pueden llegar a 0,91 en los de playa. En estudios realizados en el polo turístico de Varadero se llegó a la misma conclusión [Landa, 2005].

También se estudió la manera de registrar la magnitud temperatura, de forma que fuera representativa de su intensidad en valor y de la duración en el tiempo. Se evaluó el término *Colling degree day*, o grados día de enfriamiento, calculado a partir de las temperaturas máximas, mínimas y de confort. No se obtuvieron los resultados esperados. Entonces se evaluó el término Horas grado.

La temperatura ambiente de una región se registra de manera horaria durante un determinado periodo de tiempo. Mientras más se aleje dicha temperatura de las condiciones de confort, mayor es la necesidad de climatización de un espacio, y esto puede ocurrir tanto en un sentido o en otro, es decir, puede requerirse enfriamiento en climas cálidos o calefacción en climas fríos.

Por tanto, las horas-grado reflejan no sólo el alejamiento de las condiciones de confort, sino también el tiempo que en cada nivel de temperatura permanece en el ambiente. De manera formal, las horas-grado se definen como:

$$HG = \int_{T_{ref}}^{T_{ext}} \int_{t=1}^{24} T(t) dt dT \quad (1)$$

Donde T_{ref} y T_{ext} son la temperatura de referencia o de confort, y la temperatura ambiente exterior, respectivamente. La integración se efectúa para cada día por lo que el intervalo de tiempo es de la hora 1 a la 24 en intervalos de 1 hora. En la Figura 1 se muestra el concepto de horas-grado en forma gráfica, y donde T_H y T_L definen las temperaturas límite consideradas de confort en verano e invierno, respectivamente. [Pérez, et al., 2006].

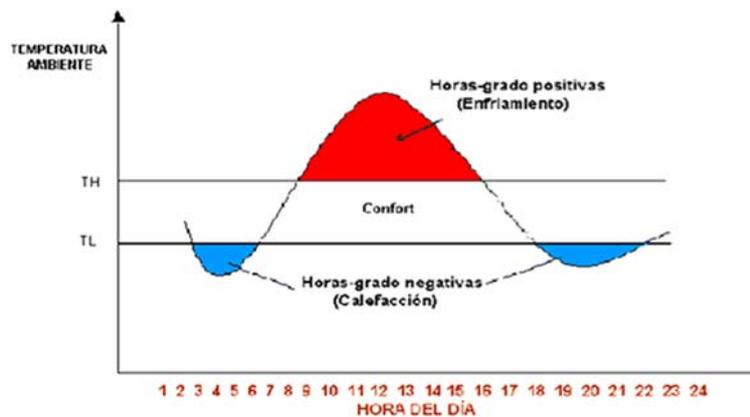


Fig.1. Visualización gráfica del concepto de horas-grado.

Fuente: Pérez, et al. [2006].

Se calculó entonces un factor de temperatura que modifica a las HDO como si estas fueran de mayor o menor magnitud, para acercar el análisis a lo que se realiza en la actualidad. Se muestra un ejemplo.

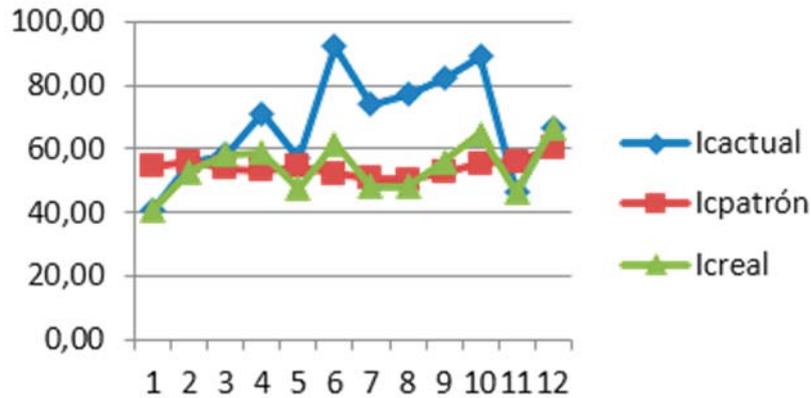


Fig. 2. Desempeño energético de la instalación.

Del gráfico anterior se puede apreciar del que el desempeño energético de esta instalación no fue de excelencia, pero tampoco fue caótico, según fue valorado a partir del comportamiento del índice de consumo actual. Esta situación ocurre en varias instalaciones del país y es motivo de análisis continuos por parte de las casas matrices y direcciones tecnológicas de las cadenas hoteleras.

El indicador propuesto con nomenclatura I_{creal} , puede dar al traste con las dificultades creadas por la aplicación del indicador actual. $I_{cactual}$.

El indicador propuesto con nomenclatura $I_{cpatrón}$, puede ser usado para la elaboración de los planes de consumo energético reales para las instalaciones hoteleras.

Tabla de inferencia

Este módulo para el control de operaciones se basa en la metodología de elaboración de diagramas de decisión, que es muy efectiva para elegir la mejor alternativa entre un conjunto de ellas. Se realizaron estudios de consumo y demanda máxima de energía, para poder aplicar con efectividad las acciones resultantes del camino seleccionado por el diagrama de decisión. También se utilizó como complemento del Diagrama de Inferencia la tabla de decisiones, la cual permite según determinadas condiciones y varias acciones a realizar en distintos puestos clave. Este análisis se basó en el estado de las variables HG, HDO y horario del día, los cuales delimitan las condiciones o nodos de incertidumbre que hacen efectiva las acciones a tomar, producto a la decisión del diagrama.

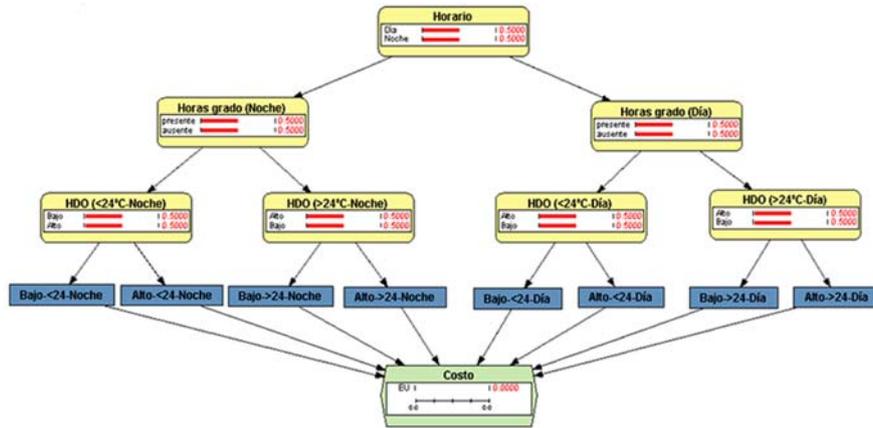


Fig. 3. Estado de las variables HG, HDO y horario del día.

A partir del camino recorrido en función de las condiciones que imperan en el momento del análisis, se muestra la tabla de decisiones con sus correspondientes valores de ahorro en consumo electro-energético.

Predicción

El módulo dedicado a la predicción consiste en un análisis a partir de la base de datos de la instalación. Luego de ser normalizada esta con todas las variables que intervienen: HDO, turistas día, horas grado, etc., el predictor a partir de la introducción a su interfaz de comunicación de las variables estimadas para el próximo período, por aproximación logra pronosticar el valor de consumo futuro con un bajo porcentaje de error.

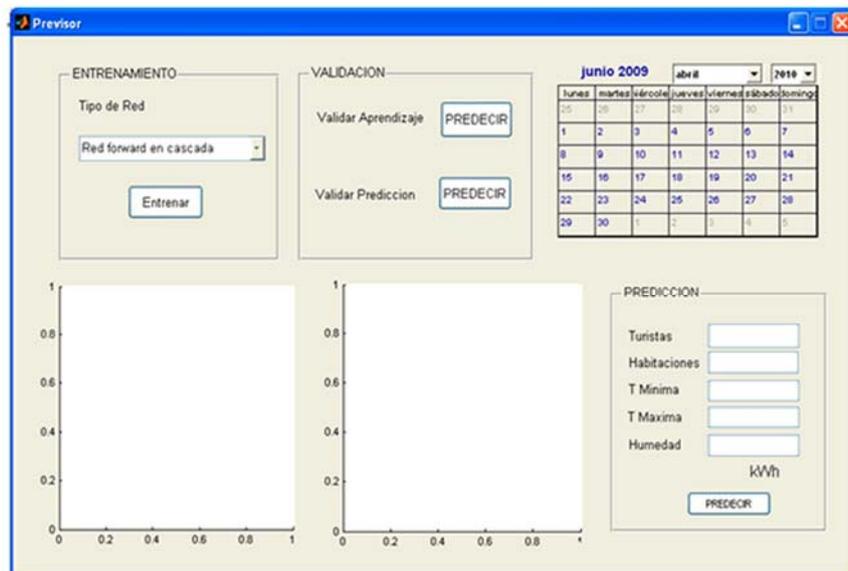


Fig. 4. Valor de consumo futuro.

Ordenamiento habitacional

En contadas instalaciones hoteleras del país se controla el consumo de energía en habitaciones, que constituyen la mayor carga a vencer por los sistemas de clima y por lo tanto, el área de mayor oportunidad de ahorros, a partir de que en estos sistemas se consume entre 50 y 70 % de la energía eléctrica de una instalación hotelera. La mayor dificultad para ejercer el control energético en estas áreas es el financiamiento.

Se incluye en SENIT un módulo para el ordenamiento de las habitaciones de un hotel. El explotador puede calcular el orden en que debe ocupar el hotel y tiene además la posibilidad de variar ese orden. El ordenamiento se realiza a partir del cálculo de la carga térmica de cada habitación, de la aceptación de la habitación a partir de la opinión de los clientes reflejada en las encuestas, y del nivel de ocupación real.

Luego el explotador tiene la posibilidad de cambiar los pesos del análisis para modificar el ordenamiento. Para esta decisión tomará en cuenta el tipo de cliente, el régimen de explotación, los ingresos por turista, el comportamiento de las variables climatológicas y el nivel de ocupación previsto en el *booking*.

El objetivo principal es que la instalación se ocupe en función de la eficiencia energética, sin descuidar el factor calidad. Existe una oportunidad de ahorro que es aprovechada, al dejar sin uso los espacios habitacionales menos eficientes.

También es importante el análisis para la compactación a la hora en que baja la ocupación, pues se tienen los valores de cargas térmicas de los bloques habitacionales y pesa entonces en la decisión el consumo energético de cada cual.



Fig. 5. Evaluador de habitaciones, hotel Tryp, Cayo Coco.

SENIT

El Sistema Tecnológico desarrollado es compatible con los sistemas existentes que utilizan los hoteles cubanos para la transferencia de datos. También cumplimenta las tendencias actuales de gestión a través de sistemas informáticos con tecnología cliente-servidor, sobre formato WEB. Entre sus potencialidades está que permite la escalabilidad, está abierto para ser desarrollado por el cliente y posee un fácil mantenimiento posventa.

Además de los módulos descritos se incluyen otros en el Sistema tecnológico.

Entrada de datos:

- Configuración (Datos predeterminados con características de la instalación, acceso administrativo);
- Configuración del sistema eléctrico de alimentación, (incluye los grupos electrógenos de emergencia);
- Registro de equipos y elementos consumidores de electricidad (fichas técnicas), explotación horaria (consumos reales) y ubicación en la red de distribución;
- Registro de las protecciones y conductores de la red de distribución;
- Configuración de elementos de medición de parámetros;
- Organización civil de la instalación;
- Adquisición de datos;
- Adquisición de parámetros eléctricos;
- Registro de parámetros climatológicos;
- Registro de ocupación;
- Registro de ingresos económicos;
- Registros de planes operativos de portadores energéticos;
- Registro de presupuestos de gastos de portadores energéticos;
- Registros de facturación eléctrica;
- Gestión;
- Registros de bancos de problemas energéticos (oportunidades de ahorro), y
- Registros de medidas para resolver las oportunidades de ahorro.

Salida de datos

- Análisis del desempeño energético;
- Análisis de la estructura de gastos y del consumo de portadores energéticos;
- Análisis de comportamientos energéticos (reales vs. planes);

- Gestión de medidas correctivas de oportunidades de ahorro;
- Toma de decisiones (Tabla de inferencia);
- Estrategia de compactación (Organización habitacional por desempeño energético);
- Cálculo de factor de potencia y su corrección, factor de carga, y del factor de coincidencia y eficiencia del banco de transformadores;
- Predictor de comportamientos eléctricos, y
- Consultor tecnológico.



Fig. 6. Sistema de control energético.

Las medidas técnico-organizativas que contiene el sistema son:

1. Control de los consumos y costos energéticos;
2. Identificación y control de parámetros energéticos;
3. Regímenes de operación;
4. Reevaluación de los parámetros eléctricos contractuales;
5. Acomodos de cargas térmicas y eléctricas;
6. Racionalización y programación adecuada de los procesos;
7. Disminución de interrupciones;
8. Capacitación y motivación del personal;
9. Definición exacta de esquemas electro-energéticos;
10. Consultor para la toma de decisiones basadas en reglas;
11. Consultor tecnológico para buenas prácticas y calidad de la energía, y
12. Emisión de reportes y partes predefinidos.

Validación

El sistema SENIT fue probado de manera piloto en el hotel Meliá Cayo Guillermo, mostrando inminentes cualidades organizativas y logrando ahorros en la instalación, y está propuesta su introducción en todos los hoteles de Gran Caribe del territorio.

Conclusiones

Se logra una herramienta en forma de sistema, por la integración de funciones, que mejora el desempeño energético de los hoteles.

SENIT es una buena plataforma para la aplicación de la norma 50001 en los hoteles cubanos.

Se desarrolla la herramienta de gestión integral energética que organiza, facilita y uniforma la actividad en las instalaciones.

Referencias

- BORGES, DAVEL (2011). «Hacia un indicador de consumo de energía eléctrica más efectivo en hoteles del grupo Cubanacán de la provincia de Camagüey». Ingeniería energética. Vol. XXXII, No. 1/2011 Enero – marzo. ISSN 1815 – 5901.
- BORROTO NORDELO, ANÍBAL (2011). *Gestión Energética Empresarial*. ISBN 959-257-040-X Editorial Universidad de Cienfuegos.
- CABRERA, O, BORROTO, A. *et.al* (s/a). *Evaluation of KWh/HDO electrical efficiency indicator in Cuban hotels facilities*. 2, Matanzas: s.n., 2004, Retos Turísticos, Vol. 3, págs. 1-8.
- DÍAZ, SORIANO, JAIME (2003). «Gestión energética. Definición de índices en el sector turístico». Trabajo de diploma. Universidad de Cienfuegos.
- LANDA, GARCÍA, JUAN (2005). «Correlación lineal entre el consumo de energía eléctrica y parámetros climatológicos y ocupacionales». Revista Retos Turísticos. No. 2. Vol. 3. ISSN. 1681-9713.
- MOLINA GONZÁLEZ, ARNALDO *et al.* (s/a). «Implicaciones energético-económicas de la espontánea gestión tecnológica en los hoteles turísticos del polo Jardines del Rey». Revista electrónica «TURyDES, Turismo y Desarrollo Local» (ISSN: 1988-5261), indexada en RePEc, LATINDEX, C.I.R.E.T. <http://www.eumed.net/turydes/index.htm>
- MOLINA GONZÁLEZ, ARNALDO (2011). «Nuevo indicador para el consumo energético de la hotelería cubana». VII Conferencia Internacional de Energía Renovable, Ahorro de Energía y Educación Energética. CIER 2011. Cuba. ISBN: 978-959-261-350-8.

MOLINA, GONZÁLEZ, ARNALDO *et al.* (s/a a). «Predicción energética como herramienta de supervisión y control». X Semana tecnológica del MIC. ISSN 2076-9792.

PÉREZ TELLO, CARLOS *et al.* (2006). Horas-grado, un criterio realista para caracterizar climatológicamente una región con propósitos de uso eficiente y ahorro de energía eléctrica. Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, México. p.3.

POWELL SARDISON, IVÁN (2015). Herramienta de gestión para la evaluación del desempeño energético del hotel Meliá Guillermo. Trabajo de diploma. Maestría de Eficiencia Energética. UNICA.

Notas

Entre 2010 y 2012 se desarrolló el proyecto No 1711 «Procedimientos tecnológicos para la gestión energética en hoteles».

Se han presentado estos resultados en 7 eventos internacionales:

- V, VI, VII Taller Internacional de Energía y medio ambiente, Universidad de Cienfuegos. Cuba.
- CIER 2011. Cuba.
- Universidad 2016. Cuba
- Conferencia Mundial de Energías Renovables 2013. Cuba.
- XXII Congreso Internacional de eficiencia energética. México.

Los resultados del proyecto fueron premio de la Academia de Ciencias de Cuba y catalogados como los de mayor impacto económico en 2013.

Contaminantes atmosféricos procedentes de centrales azucareros

Atmospheric pollutants sugar from sugar cane mills

Por M.Sc. Anel Hernández Garces,
M.Sc. Mirtha Reinoso Valladares**,
Ing. Yan Carlos Ordoñez Sánchez**
y Lic. Francisco Hernández Bilbao****

**Centro de Estudios de Ingeniería de Procesos (Cipro).
Facultad de Ingeniería Química. Instituto
Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Ispjae), Cuba.*

***Centro de Ingeniería e Investigaciones
Químicas (Ciiq), Cuba. ***Azcuba, Cuba.*

*e-mail: anel@quimica.cujae.edu.cu; mirtha@inor.ciiq.minem.cu;
yancarlos@inor.ciiq.minem.cu; francisco.bilbao@azcuba.cu*

Resumen

La contaminación del medio ambiente constituye uno de los problemas más críticos en la actualidad. La diversificación de la matriz energética evitaría la emisión de gases producto de la quema de hidrocarburos. La Política de Desarrollo Perspectivo de las Fuentes Renovables y el Uso Eficiente de la Energía en Cuba estableció como objetivo la introducción de 755 MW en plantas bioeléctricas con bagazo como combustible. Este trabajo estima el SO₂, los NO_x y el MP emitidos por generadores de vapor de centrales azucareros mediante factores de emisión, como antecedente para evaluar las emisiones de las futuras bioeléctricas a instalar. Como resultado se obtuvieron resultados de emisión inferiores a los de termoeléctricas y grupos electrógenos, pero con varios órdenes mayores que los de los generadores de vapor convencionales que emplean hidrocarburos como combustible. La comparación de las emisiones con las EMA de la NC/TS 803: 2010 arrojó que ninguna de las emisiones sobrepasa los valores establecidos para SO₂. Sin embargo, para el NO_x una de las chimeneas de los centrales Héctor Molina y Fajardo violan la norma, mientras que para el MP todos los centrales superan los límites establecidos.

Palabras claves: Emisiones, contaminantes atmosféricos, generadores de vapor, centrales azucareros

Abstract

Environmental pollution is one of the most critical problems nowadays. The diversification of the energy mix would avoid the emission of gases due to the burning of hydrocarbons. The Policy for the Perspective Development of

Renewable Energies and the Efficient Use of Energy in Cuba, set up a goal of introducing 755 MW in bio-power plants using bagasse as fuel. This paper estimates the SO₂, NO_x and the Particulate Material (PM) emitted from sugar cane mills using emission factors as a previous step for evaluating the emissions of the future bio-power plants to be installed. As a result we obtained lower emissions compared to the ones of thermal power plants and generating sets, but with several orders of magnitude than those of the conventional steam generators that use hydrocarbons as fuel. The comparison of the emissions with the EMA of the NC/TS 803:2010 gave as a result that none of the emissions surpasses the values defined for SO₂. However, for the NO_x one of the chimneys of Héctor Molina and Fajardo sugar cane industries surpasses the standard, while for PM all sugarcane mills exceeded the standard.

Keywords: Emissions, atmospheric pollutants, steam generators, sugarcane mills

Introducción

La contaminación del medioambiente constituye uno de los problemas más críticos en el mundo, después de que se hiciesen evidentes las consecuencias de las emisiones indiscriminadas a la atmósfera, fundamentalmente de la quema de hidrocarburos para la obtención de energía.

El incremento del uso de energías renovables para diversificar la matriz energética pudiera solucionar dicho problema. Acorde con este principio, en junio de 2014 se aprobó la Política de Desarrollo Perspectivo de las Fuentes Renovables y el Uso Eficiente de la Energía en Cuba que establece, entre otros objetivos, introducir 755 MW en plantas bioeléctricas.

Estas utilizan subproductos de la caña de azúcar como el bagazo y otros residuales de la cosecha en la producción de energía. Pudieran utilizar además, residuos forestales y otros de origen agrícola cuya factibilidad económica de esta alternativa ha sido demostrada [Torres *et al.*, 2015].

Quemar biomasa cañera no exime a las bioeléctricas de emitir gases contaminantes a la atmósfera (Domenech-López *et al.*, 2011]. Esta posibilidad siempre está presente y depende, entre otros factores, del estado técnico de las calderas, de la existencia de sistemas de tratamiento y de la composición del combustible.

Teniendo en cuenta lo anterior, este trabajo propone como objetivo estimar los contaminantes atmosféricos (SO₂, NO_x y MP) emitidos por generadores de vapor de centrales azucareros mediante factores de emisión, como

antecedente para evaluar las emisiones de las futuras bioeléctricas a instalar.

Materiales y métodos

Se decidió estudiar los generadores de vapor de los centrales de la provincia de Mayabeque por estar próximos a La Habana, la ciudad más importante del país, para la evaluación de las futuras bioeléctricas.

Las emisiones de los contaminantes atmosféricos se calcularon a partir de la ecuación (1) recomendada por la EPA [1998], y se emplearon los factores de emisión publicados por la Agencia de Protección de Medio Ambiente de Estados Unidos, EPA, en la serie AP 42 para este tipo de fuente puntual o estacionaria [EPA, 1993].

$$E = A \cdot f \cdot \left[1 - \frac{\epsilon}{100} \right] \quad (1)$$

Donde:

E es la emisión (g/s)

A es el consumo de combustible (kg/s)

f es el factor de emisión no controlada (g/kg)

ϵ es la eficiencia de reducción de emisiones (%), cuando se utiliza tecnología de reducción. Como no existe tecnología de reducción de emisiones, entonces $\epsilon=0$.

En las tablas 1 y 2 se muestran los factores de emisión considerados en este estudio. Aunque el SO₂ es subestimado por la EPA [1993], se incluye en el estudio debido a su importancia como contaminante criterio. Se toma el factor de emisión reportado por NPI [2001].

Tabla 1. Factores de emisión (EPA, 1993)

Sustancia	Factor de emisión (g/kg bagazo)
MP	7,8
NO _x	0,6

Tabla 2. Factores de emisión (NPI, 2001)

Sustancia	Factor de emisión (g/kg bagazo)
SO ₂	0,25

El combustible que alimenta los generadores de vapor es bagazo, cuya composición elemental aparece en la tabla 3.

Diversos autores reportan una composición similar para el bagazo. En todos los casos, el contenido de azufre es muy bajo o no se reporta, en correspondencia con eso la EPA aclara que las emisiones de SO₂ provenientes de la quema de bagazo son muy bajas (EPA, 1993).

Tabla 3. Composición elemental del bagazo

Carbono %	Hidrógeno %	Nitrógeno %	Azufre %	Fuente
19,2	2,6	0,15	< 0,1	EPA, (1993)
42,2	5,47	0,23	0,0	Manals-Cutiño <i>et al.</i> , [2015]
42,54	5,17	0,63	0,3	Oliva y Antolín [2003]
47,0	6,5	-	0,0	Reyes <i>et al.</i> , [2003]

Cálculo del consumo de combustible

La cantidad de bagazo quemado se calculó según la cantidad de caña molida por el central (Tabla 4) y considerando tuviese 27 % de bagazo. Posteriormente se le restó 8 %, cantidad destinada a la casa de bagazo para estar disponible para un supuesto arranque de la caldera (Tabla 5).

Tabla 4. Consumo de caña de los centrales

Central/Municipio	# de chimeneas	# de calderas	Consumo de caña (t/h)
Cmdte. Manuel Fajardo /Güira de Melena	1	1	77
Héctor Molina /San Nicolás de Bari	2	3	288
Boris L. Santa Coloma	1	3	125

Tabla 5. Consumo de caña de los generadores de vapor

Central	Consumo de bagazo (t/h)	Temperatura salida gases de combustión (K)
Cmdte. Manuel Fajardo	19,0	473,15
Héctor Molina	71,4	453,15
Boris L. Santa Coloma	30,9	470,65

La temperatura de salida de los gases de combustión se consideró como el promedio de todas las calderas en el caso de centrales que tuviesen más de una en la misma chimenea.

Para la determinación del consumo de combustible se empleó la masa de combustible gastado, calculada anteriormente y convenientemente transformada en kg/s. Mientras, el flujo de gases emitido se obtuvo por medio de la ecuación (2):

$$Q = V \times C \quad (2)$$

Donde:

Q: es el flujo de los gases de combustión (m³/s)

V: es el volumen de gases húmedos (m³/kg), para condiciones normales (0 °C y 760 mmHg)

C: es el consumo de combustible en kg/s

El volumen de gases V se calcula según la ecuación (3):

$$V = 22,4 \left[\left(\frac{P_C}{12} + \frac{P_{H_2}}{2} + \frac{S}{32} - \frac{O_2}{32} \right) \frac{n}{0,21} + \frac{P_{H_2}}{2} + \frac{O_2}{32} \right] \quad (3)$$

Donde :

P_C , P_H , P_S y P_O son las composiciones de un combustible formado por carbono, hidrógeno, azufre y oxígeno, y, N es el coeficiente de exceso de aire. En este caso, $n=1+\text{exceso de aire}$.

Análisis de los resultados

En la tabla 6 aparecen los resultados de las emisiones de los contaminantes atmosféricos emitidas por las bioeléctricas objeto de estudio.

Tabla 6. Emisiones y flujos volumétricos

Central	Emisiones (g/s)			Flujo de gases (m ³ /s)
	MP	NO _x	SO ₂	
Cmdte. Manuel Fajardo	41,26	3,17	1,32	12,96
Héctor Molina chimenea 1	103,16	7,94	3,31	62,10
Héctor Molina chimenea 2	51,58	3,97	1,65	15,52
Boris L. Santa Coloma	67,05	5,16	2,15	68,63

Los valores obtenidos de caudal y emisión son inferiores a los de termoeléctricas y grupos electrógenos, pero son varios órdenes mayor que los de los generadores de vapor convencionales que emplean hidrocarburos como combustible, y que están instalados en distintas industrias e instituciones de la región.

La norma NC/TS 803: 2010 establece las Emisiones Máximas Admisibles (EMA), las cuales se han establecido en dependencia de las características de las instalaciones que generan los contaminantes; para el caso de las calderas de vapor se distinguen diferentes clasificaciones, que se subdividen en correspondencia con el tipo de combustible que utilizan. Los generadores de vapor objeto de estudio se clasifican como c-1 (calderas de vapor. Biomasa).

Para realizar la comparación de las emisiones con la norma cubana NC/ 803: 2010 fue necesario convertir los valores de concentración de los contaminantes en unidades de mg/Nm³. Las EMA solo están referidas en la NC/TS 803: 2010 a los contaminantes SO₂, NO_x y material particulado.

Tabla 7. Comparación normativa de las emisiones

Central	Emisiones (mg/Nm ³)		
	MP	NO _x	SO ₂
EMA Fuentes existentes	400	100	1000
Cmdte. Manuel Fajardo	5516,6	424,4	176,8

Héctor Molina chimenea 1	2757,3	212,1	88,4
Héctor Molina chimenea 2	5516,6	424,4	176,8
Boris L. Santa Coloma	1714,7	131,9	55,0

De estos resultados obtenidos se observa que ninguna de las emisiones resultantes de los contaminantes sobrepasa las EMAs establecidas en la NC/TS 803: 2010 para SO₂ debido a las pequeñas concentraciones de azufre presente en la composición elemental del bagazo. Los mayores aportes, como era de esperar, están referidos al MP, causados fundamentalmente por el tipo de combustible que se emplea, el bagazo. El NO_x proveniente de la chimenea 2 del Héctor Molina, el Boris Luis Santa Coloma y el Fajardo, violan la norma. Mientras que para el MP todas las chimeneas superan los límites establecidos.

Sería necesario determinar el valor real de estas emisiones con analizadores de gases, con el objetivo de corroborar los valores alcanzados en este trabajo.

Por la altura de las chimeneas se puede suponer a priori que las emisiones no afecten a las comunidades cercanas a los centrales, influyendo, después la lógica dispersión, fundamentalmente en zonas rurales donde se prioriza el uso agrícola del suelo. Sería útil modelar la dispersión de estas emisiones para poder estimar la zona de influencia y el impacto de las inmisiones de los gases estudiados.

Conclusiones

Como resultado de la estimación de los contaminantes atmosféricos emitidos por los generadores de vapor de centrales azucareros estudiados, se obtuvieron resultados de emisión inferiores a los de termoeléctricas y grupos electrógenos, pero varios ordenes mayor que los de los generadores de vapor convencionales que emplean hidrocarburos como combustible.

La comparación de las emisiones con las EMA de la NC/TS 803: 2010, para la categoría de fuentes existentes arrojó que ninguna de las emisiones sobrepasa los valores establecidos para SO₂. El NO_x proveniente de las chimeneas 2 del Héctor Molina y el Fajardo violan la norma, mientras que para el MP todas las chimeneas superan los límites establecidos. Sería necesario determinar el valor real de estas emisiones con detectores de gases para validar estas conclusiones.

Agradecimientos

A los especialistas de generación de vapor de los grupos técnicos, Sergio y Omar, del Manuel Fajardo; Polledo y Juanito Nieves del Héctor Molina; Lago del Boris L. Santa Coloma, por el suministro de los datos y especificaciones con que se realizó este trabajo.

Referencias

- DOMENECH - LÓPEZ, F., Y. LORENZO-ACOSTA, M. LORENZO-IZQUIERDO Y L. ESQUIVEL - BARÓ (2011). «Diagnóstico preliminar de las emisiones gaseosas en la industria de los derivados de la caña de azúcar». ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar, 45 (3), 30–37.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY [EPA] (1993). Emission factor documentation for AP-42 section 1.8 Bagasse combustion in sugar mills.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY [EPA] (1998). Emissions Factors & AP-42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors, 1.
- MANALS - CUTIÑO, M.; M. PENEDO - MEDINA Y D. SALAS – TORT (2015). «Caracterización del bagazo de caña como biomasa vegetal». Tecnología Química, 35 (2), 244-255.
- NC/TS 803. 2010. Calidad del aire - emisiones máximas admisibles. De contaminantes a la atmósfera en fuentes fijas puntuales de instalaciones generadoras de electricidad y vapor. Oficina Nacional de Normalización.
- National Pollutant Inventory [NPI] (2001). «Emission estimation technique manual for Combustion in boilers», Version 3.6.
- OLIVA, D. Y G. ANTOLÍN (2003). Aproximación experimental a la combustión del bagazo de caña en lecho fluidizado. En *Eco Solar* 3, 1-5.
- REYES, J. L., R. PÉREZ Y J. BETANCOURT (2003). «Uso de la biomasa cañera como alternativa para el incremento de la eficiencia energética y la reducción de la contaminación ambiental». En *Eco Solar* 5, 1-7.
- TORRES, A., O. ALMAZÁN Y B. HERNÁNDEZ (2015). «Estudio de factibilidad económica de un proyecto de generación eléctrica, a partir de la gasificación de bagazo en un central azucarero cubano». Revista Centro Azúcar, 42 (1), 1-8.

Recuperación de agua, energía y níquel del efluente de la Empresa Ernesto Che Guevara

Recovery of water, energy and nickel from the effluents of Ernesto Che Guevara enterprise

Por Ing. Gerardo Menés Vuelta,
Ing. Sorangel Rivas Romero* e Ing. Aimet Rómulo Rodríguez*
*Centro de Investigaciones del Níquel (CEDINIQ),
arretera Yagrumaje Km 7, Moa, Holguín, Cuba.
e-mail: gmenes@cil.moa.minem.cu; srivas@cil.moa.minem.cu*

Resumen

En el Centro de Investigaciones del Níquel se desarrolló una investigación que evaluó a escala de laboratorio un método de tratamiento del efluente del sedimentador de carbonato de la empresa niquelífera Ernesto Che Guevara, mediante coagulación-floculación para la obtención de un agua con parámetros que permita ser utilizada en el proceso, además de aprovechar la energía térmica y recuperar el níquel presente en la misma. Se demostró mediante corridas a escala de laboratorio que la coagulación con sulfato de aluminio, dosis de 600 mg/L, la floculación con floculante saniónicos de alto peso molecular y baja densidad de carga, dosis de 1,0 mg/L, y utilizando cal hidratada de coadyuvante, dosis de 300 mg/L, logra recuperar el 97,56 % del níquel, obteniendo un agua con características físico-químicas adecuadas para reutilizar 1 597 068 m³/año en el transporte del mineral procesado, dejando de tomar este volumen del embalse que abastece la población del municipio de Moa. Se diseñó un esquema tecnológico y su análisis económico, demostrando que el tratamiento al efluente trae consigo un ahorro de 1,98 pesos/m³ de efluente en los gastos directos de operación, y es de fácil inserción en la industria.

Palabras clave: coagulación, floculación, efluente, sedimentador de carbonato

Abstract

A laboratory-scale research was carried out at the Centro de Investigaciones del Nickel that evaluated a treatment effluent method of the carbonate settler tank at the Ernesto Che Guevara company. It was used coagulation flocculation for obtaining water with parameters that enables using it in the process, in addition to taking advantage of the thermal energy to recover the nickel present in it. It was demonstrated at laboratory scale that the coagulation with aluminum sulfate, 600-mg dose L, the flocculation with saniónicos flocculant of high molecular weight and carrying low charge

density, 1.0-mg/L dose, and using lime hydrated as coadjutant, 300-mg/L dose, it achieves to recover 97.56% of the nickel, obtaining water with acceptable physical-chemical characteristics to reuse 1 597 068 m³/year in the transportation of the processed mineral, stopping to take this volume from the reservoir that supplies the population of Moa municipality. It was designed a technological scheme and its economic analysis was done, evidencing that the treatment of the effluent entails a saving of 1.98 pesos/m³ of effluent in direct operational expenses, and it is easy to implement in the industry.

Keywords: Coagulation, flocculation, effluent, settler tank of carbonate

Introducción

En la tecnología de lixiviación carbonato amoniacal empleada en la empresa niquelífera Ernesto Che Guevara, las pérdidas de níquel, agua y energía por el efluente del sedimentador de carbonato de la planta de calcinación, y sin terminar han constituido un problema a lo largo de los 30 años de operación de dicha planta.

Con el propósito de recuperar el níquel perdido en el efluente se han estudiado varios métodos, entre estos: la adición de carbonato de sodio, el tratamiento con resinas de intercambio iónico, el intercambio iónico mediante el uso de zeolitas y la precipitación de los metales con hidrosulfuro de amonio [Aguirre, 2000; Alfonso, 1985; Moreno, 2002].

De esas variantes, ninguna contempló la forma de recuperar el agua y el calor que ella acompaña; y solo la tecnología de precipitación con hidrosulfuro de amonio logró recuperar 99 % del níquel, pero con una alta contaminación ambiental, elevado costo de operación y sin la recuperación del calor contenido en el efluente.

El efluente es un residual muy coloreado, 49,70 U Pt/Co, con un elevado contenido de amoníaco, 1362,21 mg/L, y un pH de 8,56; su alcalinidad total es 592,75 mg/L para un pH de saturación de 6,95, lo que trae como resultado que su índice de Langelier promedio sea de 1,61, clasificando como un líquido con características medianamente corrosivas y severamente incrustantes; su temperatura de vertimiento es 85 °C y su contenido de níquel 183,03 mg/L, con 81,3 % en forma de níquel disuelto y el resto formando partículas menores a 10 µm; el contenido elevado de cloruros, 580,96 mg/L, imposibilita cualquier utilización de este en los sistemas de absorción y enfriamiento de la empresa [Menés y Rivas, 2015].

Un proceso de coagulación-floculación podría ser una solución económica y menos contaminante para la recuperación del agua, y precipitar el níquel contenido en el efluente [Strauss, 1987].

El objetivo de este estudio fue evaluar a escala de laboratorio mediante la técnica de jarra, la calidad del agua obtenida, utilizando diferentes tipos de coagulantes orgánicos a base de aluminio, con cal hidratada como coadyuvante y floculantes aniónicos.

Materiales y métodos

Para determinar la dosis óptima de los coagulantes y floculantes a utilizar, es necesario realizar pruebas de jarras en una mesa de coagulación para, de forma analítica y visual, determinar la eficacia de cada coagulante y floculante en el proceso [Association..., 2001; Cox, 1979; GLEGG, 2002; LIPESA, 2008].

Toma de la muestra:

Se toma una muestra de efluente de aproximadamente 25 L, suficiente para hacer no menos de tres réplicas en una mesa de coagulación de 6 jarras.

Materia prima:

- Suspensión de cal hidratada (pureza 90 %) a 10 g/L de concentración.
- Coagulante sulfato de aluminio fabricado en Sagua la Grande (Cuba), a una concentración de 10 g/L.
- Coagulante policloruro de aluminio (PAC) fabricado por Chematek (Italia), a una concentración de 10 g/L.
- Coagulante clorhidrato de aluminio (ACH) fabricado por SNF (Francia), a una concentración de 10 g/L.
- Floculantes de SNF: Dryfloc 1122, Dryfloc 1124, Dryfloc 1131, Dryfloc 1132, Dryfloc 1134, AN 923 PWG, AN 910 SH y AN 210, a una concentración de 0,1 g/L. [NF..., 2014].
- Floculantes de Chematek: Chemadd A115v y Chemadd A501, a una concentración de 0,1 g/L.

Equipos:

- Mesa de coagulación (ASTEL).
- Equipo para determinar turbiedad (HACH 210Q is).
- Equipo para determinar color (HACH DR-2800).
- Equipo para determinar pH (HANNA HI 9126).
- Balanza analítica (KERN ABS 120-4).
- Equipo para determinar distribución granulométrica (FRITSCH Analysette 22).

Cristalería:

- Vasos de vidrio de 1,0 L.
- Pipetas de 1,0, 5,0 y 10 mL.
- Probeta 2,0 L.

Miscelánea:

- Recipientes plásticos (0,5, 5, 10 y 25 L).
- Frascos plásticos para muestras (100 y 250 mL).

Metodología para la prueba de jarra:

- Tomar aproximadamente 25 L de efluente y homogeneizar bien la muestra.
- Medir 1,1 L de efluente y tomar 100 mL de muestra para determinar pH, turbidez, color, níquel total y níquel disuelto.
- Añadir el litro restante en cada jarra.
- Agitar las jarras de 30 rpm para mantener una turbulencia uniforme, mientras se miden los reactivos que se añadirán.
- Adicionar primero la suspensión de cal hidratada y esperar un minuto.
- Añadir después la solución de coagulante a cada jarra.
- Aumentar la velocidad hasta 100 rpm durante un minuto.
- Bajar la velocidad hasta 30 rpm.
- Adicionar la solución del floculante a cada jarra.
- Agitar la mezcla a 30 rpm durante 15 minutos.
- Una vez transcurrido el tiempo de mezcla, retirar los agitadores o paletas de cada jarra y dejar el sistema en reposo durante 15 minutos, en los cuales deberá observarse la apariencia o consistencia de los flóculos formados.
- Pasados los 15 minutos de sedimentación, tomar de cada jarra un volumen de 100mL para la determinación de turbidez, color, pH, níquel total y níquel disuelto.

Métodos de análisis físico-químico:

- Análisis del níquel total y disuelto (mg/L): absorción atómica.
- Análisis del color (U Pt/Co): método colorimétrico.
- Análisis de la turbiedad (NTU): método de nefelometría.
- Análisis del pH: método de electrometría.
- Análisis de tamaño de partículas (μm): método de rayo láser.

Resultados

La figura 1 muestra el comportamiento de precipitación de níquel utilizando como coagulantes el sulfato de aluminio, policloruro de aluminio y clorhidrato de aluminio a diferentes dosis [Menés y Rivas, 2015-a, b].

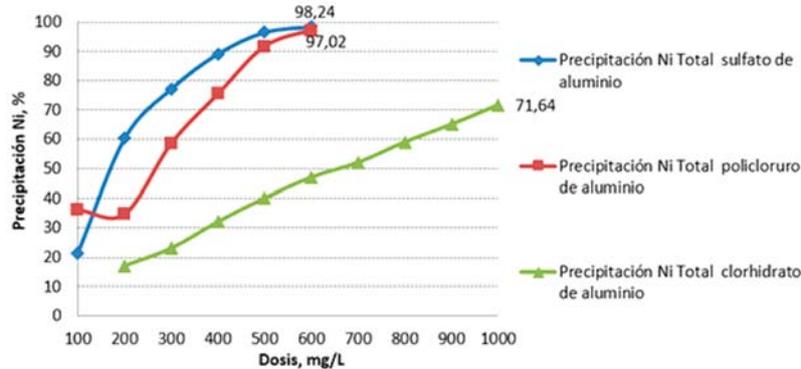


Fig. 1: Curva de precipitación de níquel total en función de la dosis de coagulantes.

La mayor precipitación de níquel (98,24 %) se logró con el sulfato de aluminio a una dosis de 600 mg/L. Con el policloruro de aluminio se obtuvo una precipitación de níquel (97,02 %) menor en comparación con el sulfato de aluminio para la dosis de 600 mg/L; no obstante, se consideran buenos los resultados por los bajos valores de níquel disuelto residual obtenido, 3,03 mg/L.

Los resultados obtenidos con el clorhidrato de aluminio no fueron buenos, se obtuvo una precipitación de níquel total de 71,64 % aplicando una dosis de 1000 mg/L; además, a esta dosis la velocidad de formación de los coágulos y su sedimentación fue cualitativamente baja en comparación con el sulfato de aluminio y el policloruro de aluminio.

Teniendo en cuenta esos resultados, se escogieron el coagulante sulfato de aluminio y policloruro de aluminio, ambos a una dosis de 600 mg/L para realizar las pruebas de coagulación-floculación.

La figura 2 muestra los resultados de remoción del color a varias dosis de floculante (0,50, 1,00 y 1,50 mg/L) con diferentes combinaciones de coagulante/floculante, donde a la dosis de 1,0 mg/L se logró la mayor remoción del color para todas las combinaciones evaluadas [Menés y Rivas, 2015-c].

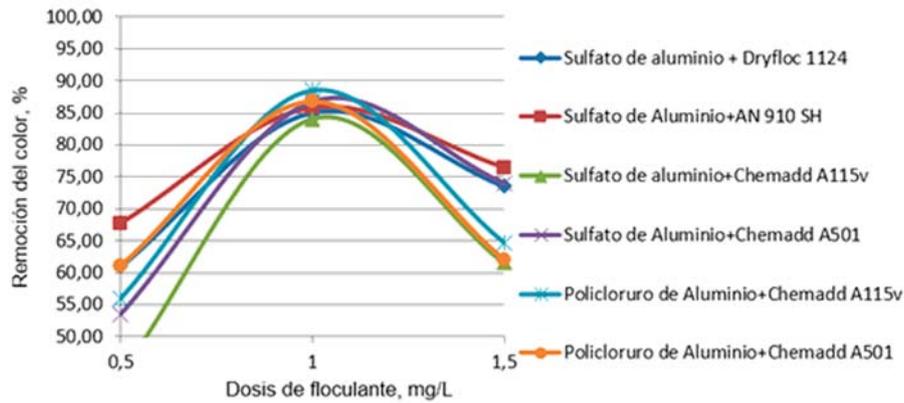


Fig. 2: Remoción del color contra dosis de floculante.

Para definir la mejor combinación de coagulante/floculante se tomó el promedio de remoción del color de las tres dosis evaluadas de floculante, mostrándose en la figura 3.

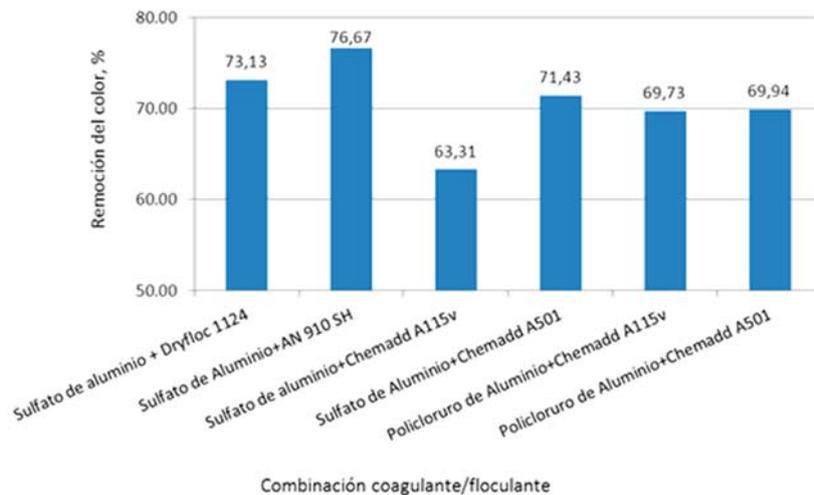


Fig. 3: Remoción del color promedio vs combinación coagulante/floculante.

Con excepción de la combinación sulfato de aluminio/floculante Chemadd A115v, el resto tuvo desempeños similares, destacándose como mejor la combinación sulfato de aluminio/floculante AN 910SH.

Teniendo en cuenta esos resultados, se realizaron corridas para definir qué combinación brinda mejor velocidad de clarificación.

La figura 4 muestra el contenido de níquel en suspensión en función del tiempo para las diferentes combinaciones de coagulantes/floculantes, utilizando una dosis de 1,00 mg/L de floculante [Menés y Rivas, 2015-c].

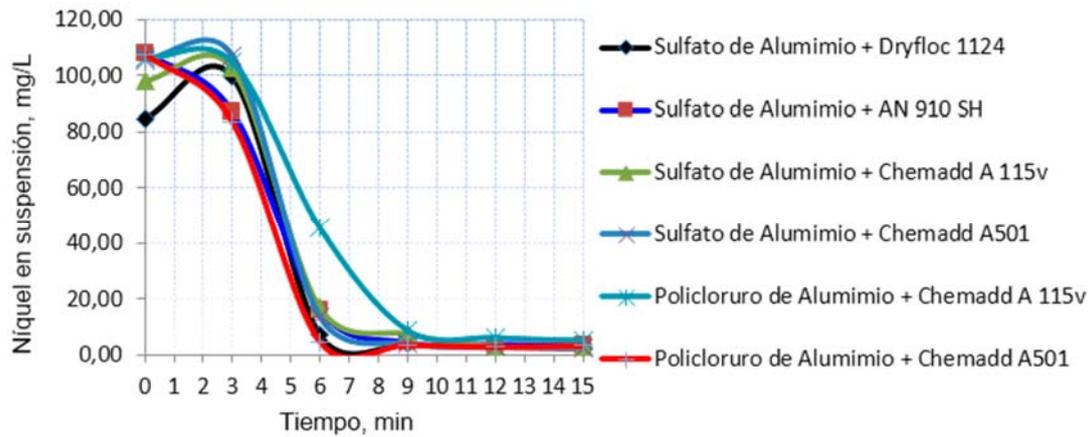


Fig. 4: Concentración de níquel en suspensión vs tiempo de sedimentación.

Todas las combinaciones a los 6 minutos lograron concentraciones bajas de níquel en suspensión ($\leq 20,00$ mg/L), con excepción de la combinación policloruro de aluminio/floculante Chemadd 115v. Los mejores resultados de concentración de níquel en suspensión a los tres minutos se lograron con las combinaciones sulfato de aluminio/floculante AN 910 SH y el policloruro de aluminio/floculante Chemadd A501.

El sólido sedimentado es de color verde, con una apariencia gelatinosa y malas propiedades de densificación; según los resultados de la figura 5 se trata de un producto muy fino; 50 % del sólido tiene un tamaño de partícula menor que $7,79 \mu\text{m}$, el 70 % del sólido tiene un tamaño menor que $10,46 \mu\text{m}$ y solo 30 % tiene un tamaño entre $10,46 \mu\text{m}$ y $44,84 \mu\text{m}$.

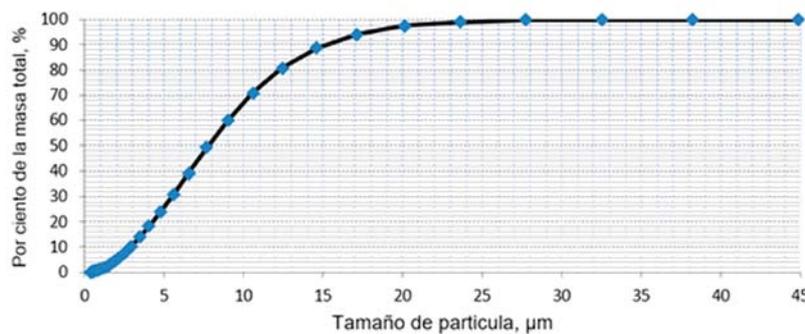


Fig. 5: Distribución granulométrica del sólido coagulado.

Los componentes químicos del agua de entrada y salida al proceso de coagulación-floculación con hidróxido de aluminio y policloruro de aluminio se muestran en la tabla 1.

ER: efluente residual del sedimentador de carbonato.

ET1: efluente tratado después de la coagulación con sulfato de aluminio.

ET2: efluente tratado después de la coagulación con policloruro de aluminio.

Tabla 1: Caracterización química del efluente de entrada y salida al proceso de coagulación-floculación

Tipo de residual	UM	Ni	Na	Ca	Mg	Al	SO ₄ ⁻²	NH ₃
ER	mg/L	113,08	32,90	3,74	11,26	2,98	1515,78	1306,57
ET1	mg/L	0,50	31,48	137,00	7,20	3,32	1526,21	1082,98
ET2	mg/L	0,68	31,84	158,00	7,78	3,52	1233,98	1034,08

Tanto en la coagulación con sulfato de aluminio y policloruro de aluminio existe un incremento del contenido de calcio de 3,74 a 137,0 y 158,0 mg/L, respectivamente, y un incremento en el contenido de aluminio de 2,98 a 3,32 y 3,52 respectivamente. La precipitación del magnesio con sulfato de aluminio fue de 36,06 %, mientras que con policloruro de aluminio fue de 30,91 %. El contenido de sodio no sufre mucha variación, disminuyendo en 4,32 % con el sulfato de aluminio y 3,22 % con el policloruro de aluminio. La concentración de sulfatos aumenta muy poco 0,69 % con el coagulante sulfato de aluminio y disminuye 19,50 % con el empleo de policloruro de aluminio. La concentración de amoníaco disminuye en ambos casos, en 17,11 % cuando se utiliza sulfato de aluminio y 20,86 % cuando se utiliza policloruro de aluminio. La precipitación de níquel en ambos casos fue elevada, logrando una concentración de níquel residual con sulfato de aluminio de 0,50 mg/L y con el policloruro de aluminio de 0,68 mg/L.

Inserción de la tecnología en la industria

El efluente del sedimentador de carbonato se enfriaría en un intercambiador de calor de placas, auto - recirculando el licor producto contenido en el tanque de recepción del licor descobaltizado que se alimenta a los alambiques.

En la línea del efluente una vez enfriado se le inyectaría una solución de cal hidratada, luego esta mezcla se alimentará a un reactor con tres compartimientos, cada uno provisto de un mecanismo de agitación. El primer compartimiento se encargará de culminar el mezclado del efluente y

la cal hidratada; en el segundo compartimiento con una agitación superior se le inyectará la solución de coagulante y en el tercer compartimiento con agitación lenta, la solución de floculante.

La mezcla que sale del reactor será alimentada a un sedimentador. El agua obtenida por el reboso del sedimentador se bombeará al pozo de colas y la pulpa de fondo será bombeada a un sedimentador estático para ser decantada.

El licor de reboso del decantador estático se incorporará con el del primer sedimentador para ser bombeado al pozo de cola y la pulpa de fondo al alambique de licor. El anexo 1 muestra el flujo tecnológico general [Menés y Rivas, 2015-d].

Valoración económica

El costo de operación del tratamiento actual es de 6,32 pesos/m³ de efluente procesado; de ellos, 5,48 pesos/m³ de efluente corresponden al gasto de energéticos y 0,84 pesos/m³ corresponden a los materiales de operación. La tabla 2 muestra esa distribución por partidas [Menés y Rivas, 2015-e].

Tabla 2: Costo de operación directo del esquema actual

Partidas	Ic* t/m ³ Efluente	Consumo t	Precio CUC	Precio CUC	Gasto CUC	Gasto CUP	Gasto total	Gasto x m ³ Efluente
Datos de proceso								
Volumen efluente (m ³)	1597068,00							
Materiales de operación								
Floculante A100	4,41	7,04	4200,00		29 580,89		29 580,89	0,02
Ácido Sulfhídrico	0,00033	524,34	1219,47		639 416,90		639 416,90	0,40
Amoniaco	0,00051	821,02	818,13		671 701,74		671 701,74	0,42
Energéticos								

Vapor	0,243	387 718,00	22,11		8 572 444,98		8 572 444,98	5,37
Electricidad (kW)	0,640	1 021 440,00	0,18		178 557,93		178 557,93	0,11
Salarios								
Operador A de Plantas(1)					295,00	6320,50	6615,50	0,004
Total					10 091 997,44	6320,50	10 098 317,94	6,32

*Ic: Índice de consumo.

El costo de operación del tratamiento propuesto es 4,34 pesos/m³ de efluente procesado; de ellos, 4,02 pesos/m³ de efluente corresponden al gasto de energéticos y 0,31 pesos/m³ corresponden a los materiales de operación. La tabla 3 muestra esa distribución por partidas.

Tabla 3: Costo de operación directo del esquema propuesto

Partidas	Ic* t/ m ³ Efluente	Consumo, t	Precio, CUC	Precio, CUP	Gasto, CUC	Gasto, CUP	Gasto, Total	Gasto x m ³ Efluente
Datos de proceso								
Volumen efluente (m ³)	1 597 068,00							
Materiales de operación								
Floculante AN910 SH	0,000001	1,60	3900,00		6228,57		6228,57	0,004
Sulfato de aluminio	0,00060	958,24	407,09	92,74	390 090,25	88 867,25	478 957,50	0,30
Cal hidratada	0,00030	479,12	195,30		93 572,21		93 572,21	0,06
Ácido sulfúrico	0,00003	45,01	158,00		7111,31		7111,31	0,004
Energéticos								
Vapor	0,173	276 055,22	22,11		6 103 580,83		6 103 580,83	3,82

Electricidad (kw)	1.144	1 827 648,00	0,18		319 491,15		319 491,15	0,20
Salarios								
Operador A de Plantas (2)					590,00	12 641,00	13 231,00	0,008
Total					6 827 092,09	101 508,25	6 928 600,35	4,34

*Ic: Índice de consumo.

Discusión de los resultados

Las corridas de precipitación de níquel con cal hidratada, sulfato de aluminio y floculantes demostraron poder obtener agua residual con una concentración de níquel total promedio de 0,5 mg/L, igual a la obtenida con la tecnología actual aplicada en la industria, precipitando con hidrosulfuro de amonio.

El proceso de coagulación con sulfato de aluminio y floculación con un polímero aniónico de alto peso molecular y densidad de carga baja, logra 97,57% de precipitación del níquel, valor superior en 0,71 % al obtenido con policloruro de aluminio y floculantes aniónicos de alto peso molecular y densidad de carga baja; lo cual reafirma los resultados obtenidos en estudios anteriores [Menés y Rivas, 2015-c; SNF..., 2014; Strauss, 1987].

La remoción del color para todas las combinaciones de coagulantes/floculantes evaluadas tuvieron un mejor desempeño para dosis de floculante de 1,00 mg/L (Fig. 2). El mejor comportamiento lo alcanzó la combinación sulfato de aluminio/floculante AN 910 SH, logrando la más alta remoción (67,71 %) a la menor dosis de floculante (0,50 mg/L); además, la más alta remoción promedio (76,67 %) entre las dosis 0,50, 1,00 y 1,50 mg/L (Fig. 3). Por otra parte, los mejores resultados con el coagulante policloruro de aluminio se obtuvieron utilizando el floculante Chemadd A501, obteniendo 61,08 % de remoción a una dosis de 0,50 mg/L y 71,43 % de remoción promedio de las dosis 0,50, 1,00 y 1,50 mg/L.

La clarificación del agua ocurre en 9 minutos para todas las combinaciones de coagulante/floculante (Fig. 4), obteniendo similares concentraciones de níquel en suspensión para todos los casos.

El esquema propuesto de tratamiento al efluente trae consigo un ahorro de 1,98 pesos/m³ de efluente en los gastos directos de operación, y es de fácil inserción en la industria. La principal disminución de los gastos está en que el índice de consumo de vapor disminuye de 0,243 a 0,173 t_{vapor}/m³ con la

operación de pre-calentamiento del licor de entrada al proceso de destilación, utilizando la energía térmica excedente del efluente contaminado, que actualmente se vierte a la presa del mineral procesado. Los gastos de los materiales de operación también manifiestan una disminución de 0,84 a 0,31 pesos/m³ con la nueva tecnología de tratamiento.

El agua tratada resultante disminuye su temperatura hasta 40 °C, lo cual permite utilizarla como medio de transporte del mineral ya procesado, dejándose de utilizar 1 597 068 m³ /año de agua cruda del embalse que abastece la población del municipio de Moa, además de un ahorro a la industria de 399 267 pesos/año.

Conclusiones

- El proceso de coagulación-floculación al efluente utilizando el sulfato de aluminio y floculantes aniónicos de alto peso molecular y baja densidad de carga, con cal hidratada como coadyuvante, logra obtener un agua con características físico-químicas adecuadas para reutilizarla como medio de transporte del mineral procesado.
- Con la aplicación de una dosis de 600 mg/L de sulfato de aluminio, 1,0 mg/L de floculante y 300 mg/L de cal hidratada se logra recuperar 97,56 % del níquel total presente en el efluente.
- Se logra un ahorro de 1,98 pesos/m³ de efluente por disminución de los gastos directos de operación, y 399 267 pesos/año por la reincorporación al proceso de 1 597 068 m³ /año de agua.

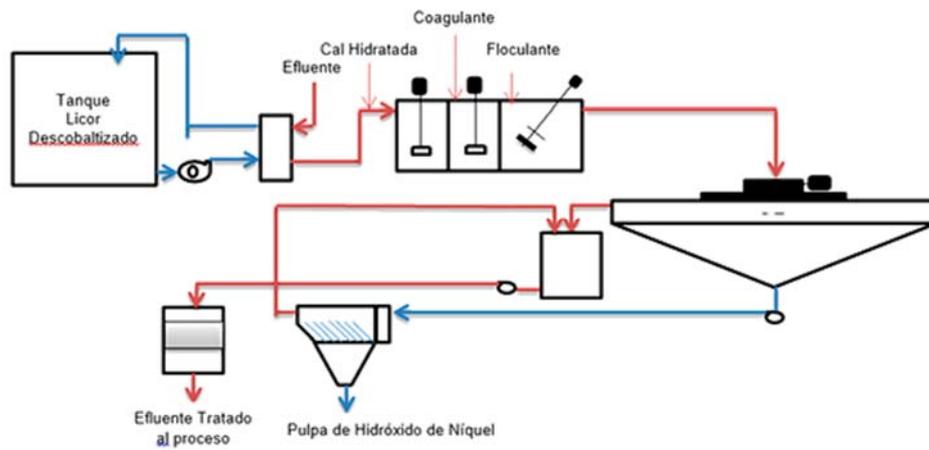
Bibliografía

- AGUIRRE AGUIRRE, J (2000). «Uso de Zeolita natural en el Tratamiento del Licor Residual carbonato Amoniacal». Moa. Tesis de maestría, 2000. 42 pp. ISMM.
- ALFONSO OLMO, E (1985). «Recuperación por absorción de Ni y Co de licores residuales de la planta de recuperación de amoníaco de Nicaro». Informe de Investigación 16, 1985.32 pp. CIPIMM.
- Association of Water Technologies. Inc (2001). *Water Treatment AWT.USA. Technical Manual, 2001*. 850 pp. Autor corporativo.
- COX RAYMOND, CHARLES (1979). *Práctica y vigilancia de las operaciones del tratamiento del agua*. La Habana: Ed Científico – Técnica, 1979. 424 pp.
- GLEGG (2002). *Water Treatmenthand book of GLEGG*. UK.2002, p 889. Autor corporativo.
- MENÉS VUELTA, GERARDO Y SORANGEL RIVAS ROMERO (2015). «Tratamiento por coagulación-floculación del efluente del sedimentador de carbonato de la ECG – caracterización del efluente. Etapa 02». Moa. Febrero, 2015. 12 pp. CEDINIQ.

- MENÉS VUELTA, GERARDO Y SORANGEL RIVAS ROMERO (2015-a). «Tratamiento por coagulación-floculación del efluente del sedimentador de carbonato de la ECG – estrategia y variantes de tratamiento. Etapa 03». Moa. Junio, 2015. 20 pp. CEDINIQ.
- MENÉS VUELTA, GERARDO Y SORANGEL RIVAS ROMERO (2015-b). «Tratamiento por coagulación-floculación del efluente del sedimentador de carbonato de la ECG – selección del coagulante adecuado. Etapa 04». Moa. Agosto, 2015. 22 pp. CEDINIQ.
- MENÉS VUELTA, GERARDO Y SORANGEL RIVAS ROMERO (2015-c). «Tratamiento por coagulación-floculación del efluente del sedimentador de carbonato de la ECG – selección del floculante adecuado. Etapa 05». Moa. Diciembre, 2015. 31 pp. CEDINIQ.
- MENÉS VUELTA, GERARDO Y SORANGEL RIVAS ROMERO (2015-d). «Tratamiento por coagulación-floculación del efluente del sedimentador de carbonato de la ECG – tarea técnica. Etapa 06». Moa. Diciembre, 2015. 18 pp. CEDINIQ.
- MENÉS VUELTA, GERARDO Y SORANGEL RIVAS ROMERO (2015-e). «Tratamiento por coagulación-floculación del efluente del sedimentador de carbonato de la ECG – costo de operación. Etapa 07». Moa. Diciembre, 2015. 6 pp. CEDINIQ.
- MORENO DAUDINOT, AURORA (2002). «Recuperación de níquel disuelto mediante un intercambiador catiónico a escala de laboratorio ampliada». Informe técnico. Moa. Julio, 2002. 35 pp. CEINNIQ.
- LIPESA (2008). Química del agua. Disponible en <http://www.lipesa.com.ve>. Enero, 2015. 52 pp. Autor Corporativo
- SNF FLOERGER (2014). *Drinking water production*. Francia. 2014, 29 pp. Autorcorporativo.
- STRAUSS, SHELDON (1987). *Boiler water treatment for low and moderate, pressure plant*. New York. June, 1987. 16 pp.

Anexos

Anexo 1: Flujo de inserción en la tecnología actual



Valoración de indicadores del ecosistema agrícola y su relación con la energía. Estudios de caso

Assessment of indicators of the agricultural ecosystem and its relation with energy. Case studies

Por Dr. Ing. Raúl Olalde Font, M.Sc. Yoan Rodríguez Zamora**,
Dr. Ing. Nelson Valdés Rodríguez***, M.Sc. Lic. Taymi González Morera****
y M.Sc. Lic. Lianet Herrera Gonzalez*****

**Centro de Investigaciones Agropecuarias
(CIAP). Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Carretera a
Camajuaní, Km 5.5. Santa Clara, Villa Clara, Cuba.*

*** Facultad de Agronomía de Montaña,
Universidad de Pinar del Río, Pinar del Río, Cuba.*

****Facultad de Agronomía de Montaña,
Universidad de Pinar del Río, Pinar del Río, Cuba.*

*****Facultad de Ciencias Económicas.
Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Cuba.
e-mail: raulo@uclv.edu.cu; yoanz@famsa.upr.edu.cu;
nvaldes@af.upr.edu.cu; taymigm@uclv.edu.cu; lianethg@uclv.edu.cu*

Resumen

La valoración de los indicadores de ecosistemas agrícolas se expone en este trabajo bajo la óptica del modelo IVEA, desarrollado por el proyecto Programa de Innovación Agrícola Local (Pial), con el propósito de apoyar el análisis y toma de decisiones en comunidades rurales agrarias. IVEA permite valorar ecológicamente ecosistemas agrícolas mediante la determinación de 13 indicadores relacionados con la salud y la calidad del agroecosistema. Por lo tanto, se compara la marcha de varios agroecosistemas (fincas) que son sometidos a diferentes regímenes de explotación, siempre bajo la mirada del reforzamiento de su funcionamiento ecológico. Se determina un Índice de Valoración Ecológica para agroecosistemas que mide el estado de salud de estos en 8 fincas agrícolas del municipio Manicaragua, y 7 fincas del municipio de Placetas, todas ubicadas en la provincia de Villa Clara. Como resultado se establece una línea base como punto de partida en cada finca estudiada, y se determina un «índice» de valoración ecológica para cada agroecosistema lo que permite valorar alternativas para «mitigar» los efectos de un determinado estado de salud del agroecosistema; no obstante, este análisis no guarda una relación exacta con las cuatro directivas a considerar en el cambio climático, al no tener en cuenta en su línea base las emisiones de gases de invernadero, mitigación, impacto/adaptación y la creación de capacidades al conocimiento. Bajo este contexto es que se esbozan los

aspectos más relevantes de los resultados que aporta el modelo IVEA v2.0 en sus aplicaciones de campo, específicamente en el contexto rural comunitario no electrificado o parcialmente electrificado, y a nivel de fincas agrícolas, donde la actividad fundamental socioeconómica es la agricultura. A partir de los resultados obtenidos en los estudios realizados se observa que la salud de los agroecosistemas es mala según la clasificación que comprende el modelo IVEA para casi todas las fincas estudiadas. El modelo a partir de su línea base crea condiciones para poder determinar los efectos del cambio climático y el uso de la energía sobre el ecosistema agrícola a través de indicadores como Recursos de energía del sistema (RES), donde se constata la alta dependencia de insumos externos como combustibles fosiles y fertilizantes; la existencia del uso de la tracción animal y energía humana pero con aún insuficiente balance con el nivel de uso existente de los sistemas de mecanización y riego en cada finca; y constata un suficiente insumo interno de la finca con la integración de plantas y desechos de animales en procesos de reciclaje para el uso del biogás. A partir de los resultados obtenidos se establecen acciones para preservar la calidad ecológica de los diferentes sistemas estudiados con lo que se pretende restituir su capacidad de absorber perturbaciones, sin alterar significativamente sus características de estructura y funcionalidad en cada finca, y garantizado que dichos sistemas tengan la capacidad de regresar a su estado original una vez que la perturbación ha terminado, por lo que se persigue garantizar un nivel de resiliencia adecuado.

Palabras clave: energías, ecosistemas, medioambiente

Abstract

This paper presents the assessment of the indicators of agricultural ecosystems using IVEA model developed during the project Local Farming Innovation Program (PIAL), with the purpose of supporting analysis and decision making in agrarian rural communities. IVEA allows assessing agricultural ecosystems from the ecological point of view by determining 13 indicators related to the health and quality of the agro-ecosystem. The performances of several agroecosistemas (farms) that are exposed to different regimes of exploitation are compared, always looking at reinforcing their ecological functioning. It is determined an Ecological Assessment Index for agro-ecosystems that measures the state of health of these in 8 agricultural farms of Manicaragua municipality, and 7 farms of Placetas municipality, all located in Villa Clara province. As a result it was determined a baseline as a starting point in each studied farm, and an index of ecological assessment for each agroecosystem was obtained what enables evaluating alternatives to mitigate the effects of a given state of health of the agro-ecosystem. Yet, this analysis does not have an exact relationship with the four guidelines to consider in relation to climate change, because it

doesn't take into account in the baseline the emissions of greenhouse gases, mitigation, impact/adaptation do not take into account in its base line and capacity building to knowledge. Within this context is that we outline the most relevant contributions aspects of IVEA v2.0 model in its field applications, specifically in the rural community context partially or not supplied with electricity at all and at the level of agricultural farms. From the results obtained in the studies carried out it is observed that the health of the agro-ecosystems is bad according to the classification that the IVEA model comprises for almost all farms studied. From its baseline the model creates conditions to determine the effects of the climate change and the use of the energy on the agricultural ecosystem through indicators like Energy Resources of the system (RES), where is verified the high dependence of external raw materials like fossil fuels and fertilizers; the existence of animal-draught and human power but still with insufficient balance with the level of existing use of the systems of mechanization and irrigation in each farm and verifies enough internal raw material of the farm with the integration of plants and animals residues in recycling processes for the biogas production. From the results obtained establish actions to preserve the ecological quality of the different systems studied with the objective of restoring its capacity of absorbing unbalances, without significantly altering its characteristics of structure and functionality in each farm, and validating that the aforementioned systems have the capacity of returning to its original state once the unbalance has finished, which is why it is desired to guarantee a suitable level of resilience.

Keywords: Energy, ecosystems, environment

Introducción

IVEA v2.0, [Rodríguez y Valdés, 2013] permite valorar ecológicamente ecosistemas agrícolas, valorándose al efecto 13 indicadores relacionados con la salud, la calidad y el agroecosistema. IVEA compara la marcha de varios agro-ecosistemas, que son sometidos a diferentes regímenes de explotación, siempre bajo la mirada del reforzamiento del funcionamiento ecológico del agroecosistema. Los aspectos valorados quedan recogidos en una base de datos que sirve de estado de comparación desde la perspectiva ecológica, en cuanto al funcionamiento del agro-ecosistema, [Rodríguez y Valdés, 2013].

La valoración general del agroecosistema conduce a establecer acciones para preservar su calidad ecológica, y por tanto su capacidad para absorber perturbaciones, sin alterar significativamente sus características de estructura y funcionalidad; pudiendo regresar a su estado original una vez que la perturbación ha terminado; esto constituye su nivel de resistencia. El resultado final determina un Índice de Valoración Ecológica para

agroecosistemas, que mide su estado de salud. Los valores que puede tomar el Índice están definidos entre 0 y 1.

No obstante, a pesar de que establece una línea base y que determina un «índice» de valoración ecológica para agroecosistemas, que indudablemente permite valorar alternativas para «mitigar» los efectos de un determinado estado de salud del agroecosistema, ello no guarda una relación exacta con los cuatro aspectos a considerar en el cambio climático al no tener en cuenta en su línea base las emisiones de gases de invernadero, mitigación, impacto/adaptación y creación de capacidades.

Bajo este contexto es que se esbozan los aspectos más relevantes de los resultados que aporta el modelo IVEA v2.0 en sus aplicaciones de campo y su relación con el cambio climático, en principio con la pretensión de determinar puntos de reforzamiento a partir de la línea de base que se establece, específicamente en el contexto rural comunitario no electrificado o parcialmente electrificado, y a nivel de fincas agrícolas, donde la actividad fundamental socioeconómica sea la agricultura.

Métodos empleados

Secuencia lógica para el análisis y solución del problema para el modelo IVEA

IVEA v2.0 establece una línea base a partir de la aplicación de un cuestionario participativo o «manual de campo». En el interior de cada uno de sus 12 indicadores se ofrece una valoración de los mismos permitiendo identificar los elementos críticos que afectan el desempeño ecológico del agro-ecosistema. Se realiza un muestreo mediante el método de observación y aplicación de cuestionario participativo con preguntas cerradas, incluyendo las valoraciones siguientes [Rodríguez y Valdés, 2013]:

Profundidad efectiva del suelo (PES): horizonte A o capa arable entre 0 y 8 cm (1 a 3 puntos); horizonte A o capa arable entre 10 y 20 cm (4 a 6 puntos); horizonte A o capa arable mayor de 20 cm (7 a 9 puntos).

Nivel de erosión del suelo (NES): presencia de erosión severa de suelo (cárcavas o afloramiento del suelo) (1 a 3 puntos); erosión intermedia sin daños significativos (se observan zanjillas superficiales) (4 a 6 puntos); baja intensidad de erosión con medidas de corrección (7 a 9 puntos).

Nivel de compactación del suelo (NCS): lenta infiltración, con mal drenaje (muy compactado), 1 a 3 puntos; moderada infiltración, con drenaje intermedio (medianamente compactado), 4 a 6 puntos; rápida infiltración, buen drenaje (suelo friable) (7 a 9 puntos).

Diversidad agrícola del sistema (DAS): de 5 a 8 especies con 12 o 15 variedades de plantas comestibles (1- 3 puntos); de 9 a 15 especies con 25 a 35 variedades comestibles (4 a 6 puntos); mayor de 20 especies y de 40 a 50 variedades de plantas comestibles (7 a 9 puntos).

Diversidad forestal del sistema (DFS): de 3- 5 árboles mayores de 3 metros de altura por hectárea (1 a 3 puntos); de 9 a 11 árboles mayores de 3 metros de altura por hectárea. (4 a 6 puntos); de 12- 15 árboles mayores de 3 metros de altura por hectárea (7 a 9 puntos).

Vida biológica del sistema (VBS): con poca o ninguna presencia de actividad de lombrices o artrópodos (1 a 3 puntos); se observan hasta 30 lombrices o artrópodos por metro cuadrado (4 a 6 puntos); se observan más de 30 lombrices o artrópodos por metro cuadrado (7 a 9 puntos).

Nivel de reciclaje del sistema (NRS): sacar los residuos del campo y/o quemarlos (1 a 3 puntos); mezclar residuos con el suelo, inversión del prisma (4 a 6 puntos); residuos sobre la superficie del suelo y producción de abonos orgánicos, compost, humus de lombriz, biotiembras u otros (7 a 9 puntos).

Conservación de las funciones vitales del sistema (CFV): fincas con sistemas no integrados, con poca dependencia entre si y baja calidad de paisaje (1 a 3 puntos); aceptable integración en la finca, reducida presencia de hábitat naturales con problemas en su conservación (4 a 6 puntos); prácticas de policultivos, parches naturales de vegetación y buena calidad de paisaje (7 a 9 puntos).

Recursos de capital financiero del sistema (RCFS): capital insuficiente para el manejo de la finca (1 a 3 puntos); capital suficiente para el acceso a medios de trabajo, semillas y conservación de suelos (4 a 6 puntos); capital suficiente para el acceso a tecnologías, semillas, mejora de suelo y cambios fundamentales en la vivienda del productor (7 a 9 puntos).

Manejo de plagas y enfermedades (MPE): Uso mayoritario de productos químicos como alternativas para el control de plagas y enfermedades (1- 3 puntos); uso alternativo de productos químicos, rotaciones de cultivo para el manejo de plagas y enfermedades (4 a 6 puntos); uso mayoritario del manejo integrado de plagas y enfermedades con productos propios de la finca. (7 a 9 puntos).

Recursos de energía del sistema (RES): alta dependencia de insumos externos como combustibles y fertilizantes. (1 a 3 puntos); combinación de los insumos externos con la tracción animal, energía humana y otros insumos de la finca como la semilla (4 a 6 puntos); uso suficiente de los

insumos internos de la finca con la integración de plantas y animales y procesos de reciclaje (7 a 9 puntos).

Recursos de capital social (RCS): productor integrado a la comunidad con escasa actividad de capacitación y de innovación dentro de su finca (1 a 3 puntos); productor y su familia realizan algunas actividades de innovación por actividades de capacitación (4 a 6 puntos); productor y su familia integrada a proyectos de desarrollo comunitario con una alta capacidad innovadora en su finca y la comunidad (7 a 9 puntos).

Integración de los animales al agroecosistema (AF): fincas con un rango de 0,3 a 0,5 animales adultos por hectárea (1 a 3 puntos); fincas con un rango de 0,5 a 1 animal adulto por hectárea (4 a 6 puntos), fincas con un rango de 1 a 1,5 animales adultos por hectáreas (7 a 9 puntos).

Por lo tanto, el método y secuencia para el análisis en el modelo IVEA comprende lo siguiente:

- Definición de los escenarios (fincas) que pueden comprender un grupo de ellas, todas dentro de una misma comunidad (escenario ideal) o pueden constituir escenarios independientes cada uno de los otros.
- Caracterización de los recursos de las fincas, establecimiento de la línea base. Se deben identificar y analizar los diferentes recursos de las fincas acorde a lo previsto por IVEA. Para esto se requiere aplicar el manual de recogida de información.
- Definición del índice de Valoración Ecológica para Agroecosistemas.
- El punto 3 es el que permite a los decisores establecer un plan estratégico para preservar la resiliencia del sistema a partir del valor alcanzado en el índice.
- Se toman como objeto de estudio 8 fincas agrícolas del municipio Manicaragua y 7 del municipio de Placetas, todas ubicadas en la provincia de Villa Clara.

Resultados

Determinación del Índice de Valoración Ecológica, modelo IVEA

El modelo muestra en la caracterización de la línea base de la finca que los indicadores NES, DAS, DFS, NRS, CFV, RES y sus valores pueden relacionarse de alguna manera con los efectos del cambio climático de modificarse para tales efectos, pues se derivan de las acciones del hombre sobre la naturaleza y se observa que el indicador RCFS, de ser prevista alguna acción de mitigación, resulta insuficiente pues estas exigen de recursos financieros.

Este muestreo se aprecia en la interface del modelo IVEA según la Fig 1, donde se exhiben los puntajes seleccionados para la finca La Vallet en la muestra que se exhibe, y a cada una de las fincas analizadas se le realiza el mismo proceso de asignar valores a partir del cuestionario participativo, todas interactuando de manera independiente en el ambiente del modelo y garantizando de manera detallada las estadísticas del estudio realizado.

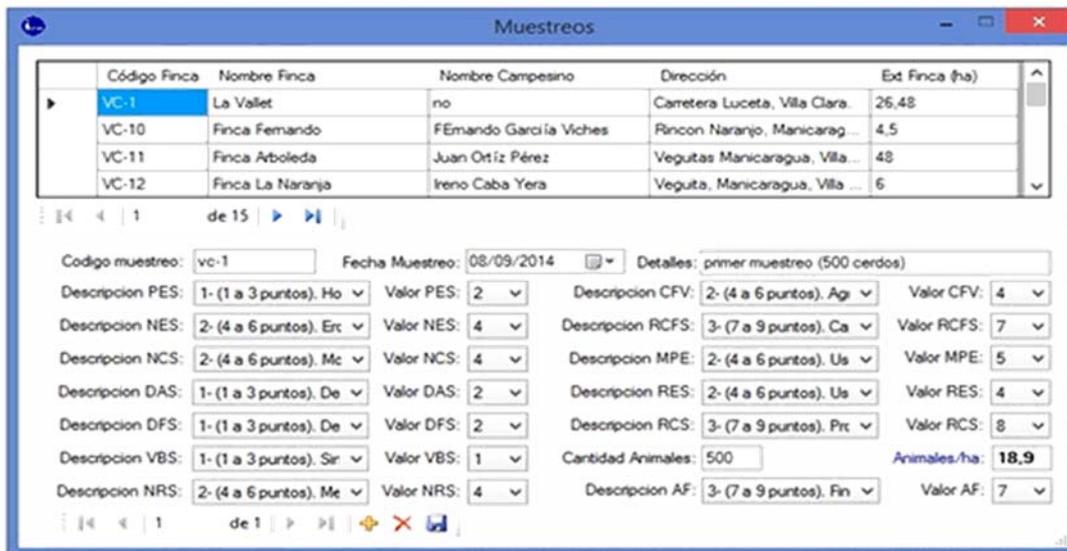


Fig 1. Sistema de muestreo del modelo IVEA

Si se analiza la información colectada y que conforma la línea base, es fácil observar la potencialidad que no explota el modelo IVEA cuando se trata de orientar al mismo hacia el análisis de los aspectos relacionados con el cambio climático. A saber, el indicador RES puede propiciar la cuantificación de las emisiones de CO₂, lo que conllevaría a establecer el análisis de uno de los cuatro aspectos fundamentales del cambio climático, y el inventario de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Por otro lado, el indicador RCS no explota la posibilidad de identificar la creación de capacidades científicas a los decisores y a los aplicadores de las posibles medidas de mitigación, lo que constituye otro aspecto de vital importancia.

Por lo que, si se pretende relacionar al modelo IVEA con aspectos relacionados con el cambio climático, su estructura es idónea para adicionar los elementos anteriormente mencionados, lo cual llevaría a erradicar sus insuficiencias sobre la temática analizada.

Otro aspecto de interés e importancia lo reviste la cuantificación y calificación del Índice de Valoración Ecológica, tabla 1

Tabla 1. Índices de valoración ecológica obtenidos en cada una de las fincas objeto de estudio

Nombre finca	Nombre campesino	Dirección	Ext. finca (ha)	Fecha de muestreo	Valor índice	Definición rango	Clasificación índice
Finca Yilenni	Yilenni López Alonso	Rancho Naranja. Manicaragua, Villa Clara	2	8/9/2014	0,39	Rango 1	Malo
El Pinar	Luguarda Rodríguez Beltrón	Veguitas, Manicaragua, Villa Clara	32	8/9/2014	0,44	Rango 2	Malo
Finca Fernando	Fernando García Viches	Rincon Naranja, Manicaragua, Villa Clara	4,5	8/9/2014	0,44	Rango 2	Malo
La Maravillosa 2	no	La vigía, Placetas, Villa Clara	29	8/9/2014	0,45	Rango 2	Malo
La Vallet	no	Carretera Luceta, Villa Clara	26,48	8/9/2014	0,46	Rango 2	Malo
La Lechuza	Ardelio Fermín	5ta. Del sur # 15 e/ 1ra. Y 2da. Del Este, Placetas	26,84	8/9/2014	0,49	Rango 2	Malo
La Maravillosa	No	La Vigía, Villa Clara	12	8/9/2014	0,51	Rango 2	Malo
Finca La Naranja	Ireno Caba Yera	Vegueta, Manicaragua, Villa Clara	6	8/9/2014	0,51		
Palmarito	Braudio A. M Molina	Crucero Copey, Placetas, Villa Clara	27	8/9/2014	0,59	Rango 2	Malo
Finca Potrero Palacios	Rolando Gonzalez	Carretera Jibacoa, km 12 Manicaragua, Villa Clara	3	8/9/2014	0,62	Rango 2	Regular
La Pastora	Santiago Cuellar	Hermanos Amejeiras, Placetas, Villa Clara	15	8/9/2014	0,63	Rango 2	Regular

Los Técnicos	Mercedes Vernal Alarcón	Los Petriles, Manicaragua, Villa Clara	3	8/9/2014	0,64	Rango 2	Regular
Finca Alboreda	Juan Ortiz Pérez	Veguitas Manicaragua, Villa Clara	48	8/9/2014	0,65	Rango 2	Regular
San Joaquín	Tomas González E	Carretera Central km 319, Placetas, Villa Clara	16,3	8/9/2014	0,78	Rango 3	Regular
Salvaremos el Futuro	Gerardo R. González Beltrón	Veguitas, Manicaragua, Villa Clara	17,4	8/9/2014	0,91	Rango 3	Bueno

A partir con los resultados que se exhiben en la tabla 2 se puede concluir que la salud de los agroecosistemas está dentro del rango de mal-regular, y solo una de las fincas alcanza la condición de bueno, según la clasificación que comprende el modelo IVEA, para las fincas estudiadas.

Evidentemente, estas deben ser objeto de análisis para poder garantizar la capacidad de estos agroecosistemas de absorber perturbaciones, sin alterar significativamente sus características de estructura y funcionalidad. Como es natural, mientras más integral sea el estudio de la finca, podría determinarse un mayor número de interacciones entre sus partes, lo cual, como es conocido, suelen garantizar un nivel de resiliencia mayor ya que existe una mayor cantidad de mecanismos autoreguladores; no obstante, IVEA trata solamente los aspectos relacionados con los agroecosistemas. Tal y como se conoce, la capacidad de resistencia de un ecosistema está directamente relacionada con la riqueza de especies y el traslado de sus funciones ecosistémicas.

Conclusiones

- A partir de su línea base, IVEA crea condiciones para poder determinar los efectos del cambio climático sobre el ecosistema agrícola, si es perfeccionada a través de 7 de sus indicadores, entre ellos: Nivel de erosión del suelo (NES), Diversidad agrícola del sistema (DAS), Diversidad forestal del sistema (DFS), Nivel de reciclaje del sistema (NRS), Recursos de energía del sistema (RES) y Conservación de las funciones vitales del sistema (CFV), y se constata que el indicador Recursos de capital financiero del sistema (RCFS) igualmente puede relacionarse con la posibilidad o no, de poder tomar medidas de mitigación, de ser modificado el mismo para tales efectos.

- El modelo crea condiciones para poder determinar los efectos del uso de la energía sobre el ecosistema agrícola a través de indicadores como Recursos de energía del sistema (RES), donde se constata la alta dependencia de insumos externos como combustibles fósiles y fertilizantes; la existencia del uso de la tracción animal y energía humana, pero con aún insuficiente balance con el nivel de uso existente de los sistemas de mecanización y riego en cada finca; y constata un suficiente consumo de los insumos internos de la finca con la integración de plantas y desechos de animales en procesos de reciclaje para la producción y uso del biogás.
- A partir de los resultados obtenidos se establecen acciones para preservar la calidad ecológica de los diferentes sistemas estudiados, con lo que se pretende restituir su capacidad de absorber perturbaciones, sin alterar significativamente sus características de estructura y funcionalidad en cada finca, y garantizado que esos sistemas tengan la capacidad de regresar a su estado original una vez que la perturbación ha terminado, por lo que se persigue garantizar un nivel de resiliencia adecuado.

Referencias bibliográficas

- ALSEMA, E. (1998). «Energy requirements of thin-film solar cell modules: a review». *Renewable Sustainable Energy Rev.* 2, 387–415.
- OLALDE FONT R.; T. GONZÁLEZ MORERA, L. HERRERA GONZÁLEZ Y J. CHERNI (2012). «La toma de decisiones y su papel durante el proceso innovativo relacionado con la implementación de tecnologías energéticas renovables». Ponencia presentada en XII Seminario Iberoamericano para el intercambio y la actualización en Gerencia del Conocimiento y la Tecnología para el desarrollo sustentable, IBERGECYT´ 2012, Hotel La Habana Libre, La Habana, Cuba.
- RAUGEI, M.; S. BARGIGLI Y S. ULGIATI (2007). «Life cycle assessment and energy pay- back time of advanced photovoltaic modules: CdTe and CIS compared to poly-Si». *Energy* 32, 1310–1318.
- RODRÍGUEZ ZAMORA Y. Y N. VALDÉS RODRÍGUEZ (2013). «IVEA 1.0. Informe de investigación Proyecto PIAL», Universidad de Pinar del Río, publicación universitaria, Cuba.
- KATO K., T. HIBINO, K. KOMOTO, S. IHARA, S. YAMAMOTO Y H. FUJIHARA (2001). «A life-cycle analysis on thin-film CdS/CdTe PV modules. *Solar Energy Mater*». *Solar Cells*, 67, 279–287.
- KNAPP, K. Y T. JESTER (2001). «Empirical investigation of the energy payback time for photovoltaic modules». *Solar Energy* 71, 165–172.
- KRAUTER, S. Y R. RÜTHER (2004). «Considerations for the calculation of greenhouse gas reduction by photovoltaic solar energy». *Renewable Energy* 29, 345–355.

PEDESTÁ, E. (1999). *Estudio de la gestión ambiental en la microrregión del Rosario, Programa Desarrollo Local del Centro Latinoamericano de Economía Humana (CLAEH)*. Serie Desarrollo Local en América Latina, volumen N° 4, pp 364-379.

JUNGBLUTH, N. (2005). «Life cycle assessment of crystalline photovoltaics in the Swissecoinvent database». *Prog. Photovolt. Res. Appl.* 13, 429–446.

YU, P.L. (1973). *A class of solutions for group decisions problems*. *Management Science Journal*, Volumen 19, pp 936-946.

ZELENY M. (1973). *Compromise programming in: Multiple criteria decision making*. Ed J. L. University of South Carolina Press, Columbia

Estudio Técnico- económico de la introducción en una central fotovoltaica, en el Centro de Inmunología Molecular

Feasibility study for the introduction of a photovoltaic system at the Molecular Immunology Center

Por Ing. Herminio Rubier Delgado e Ing. Jandry Fiallo Guerrero**

** Departamento Energía, Centro de Inmunología Molecular, La Habana, Cuba; e-mail: jandry@cim.sld.cu; herminior@cim.sld.cu*

Resumen

En este artículo se presentan los resultados más relevantes del estudio de factibilidad técnica y económica para la introducción de un sistema de generación fotovoltaica en el Centro de Inmunología Molecular (CIM), teniendo en cuenta sus aplicaciones y los beneficios energéticos-ambientales que proporcionan. La generación de electricidad a partir de energía solar es sin duda una opción para generar energía eléctrica, lo que puede tener un gran impacto económico para el país. Otra opción para ser evaluado es el ahorro de energía que se puede lograr a través de este tipo de tecnología en las empresas y plantas industriales donde sea implementada. Se realiza una estimación y comparación de los costos en función de la potencia generada para 6 variantes, teniendo en cuenta los intereses bancarios que oscilan entre 6 % y 10 %, así como el precio anual de energía puede experimentar aumentos anuales de entre 1 % y 2 %. Además, se determina mediante el programa Cehomer, la factibilidad de la implementación de sistemas de ahorro energético basados en sistemas fotovoltaicos conectados a la red. Se obtiene los costos totales de la inversión inicial y se comparan con los costos de la energía, y el retorno de la inversión para diferentes casos de estudio propuesto, así como el análisis técnico y económico, resultados y conclusiones.

Palabras claves: Fuentes de energías renovables, instalaciones fotovoltaicas, impactos económicos y medioambientales

Abstract

In this article we present the most relevant technical and economic results of the feasibility study for the introduction of a photovoltaic system (PV) at the Molecular Immunology Center (CIM), taking into account its applications and the energy and environmental benefits this kind of system provides. The generation of electricity from solar energy has a great economic impact for the country. Another choice to be evaluated is the energy saving that can be achieved through this kind of technology wherever it can be implemented. An estimation and comparison of the costs in terms of the power generated for 6 options is carried out, taking into account the interests on investment oscillate between 6% and 10%, as well as the yearly price of

energy can experience increases of 1% or 2%. Furthermore, it is determined the feasibility of implementing energy saving systems based on grid-tied PV systems using the software Cehomer. The cost of the initial investment is obtained and compared with the costs of energy, and the return of the investment for different case studies proposed, as well as the technical and economic analysis, results and conclusions.

Keywords: Sources of renewable energies, photovoltaic facilities, cost-reducing and environmental impacts

Introducción

Desde los inicios de la existencia del hombre, su desarrollo ha estado determinado en gran medida por la utilización de las diferentes formas de energía según las necesidades y disponibilidades de cada momento y lugar. Ya en los inicios las energías renovables eran utilizadas en forma de biomasa, viento, agua y sol, por lo que deben ser consideradas como la base energética del desarrollo humano. Sin embargo, con la aparición de los recursos energéticos fósiles el uso de la energía se convirtió en algo muy fácil, más eficiente y barato. Esto ha ocasionado un consumo indiscriminado de este tipo de energía hasta límites insostenibles que han ocasionado que todos los países más o menos desarrollados, realicen continuos esfuerzos en un intento de mejorar la eficiencia de la utilización de la energía y, en definitiva, reducir el consumo de recursos, siendo necesario apelar a la búsqueda de alternativas que permitan el aprovechamiento de recursos endógenos, que posean la capacidad de regenerarse mediante su empleo adecuado y donde la energía solar puede ofrecer un amplio campo de aplicaciones.

En la actualidad la energía solar fotovoltaica (ESFV) se sitúa en una posición adecuada al lado de las energías fósiles, para hacer frente a la demanda creciente y sin perjuicio desde el punto de vista económico. Además, las fuentes renovables energías (FRE) pueden gradualmente jugar un papel de sustitución de las fuentes convencionales, no solo por su agotamiento; sino también porque disminuyen los problemas medioambientales provocados por este tipo de energía favoreciendo a las FRE.

La creciente madurez tecnológica y abaratamiento de la producción de módulos, desarrollo de sistemas de acondicionamiento de potencia más potentes y una mayor eficiencia y fiabilidad, permiten la instalación de sistemas cada vez más eficaces y competitivos con las fuentes convencionales de generación de energía eléctrica. Esto posibilitará una penetración cada vez mayor de esta tecnología en la producción de energía eléctrica en el mundo.

El Centro de Inmunología Molecular CIM, nació en el año 1982 en un pequeño local del Instituto Nacional de Oncología y Radiología de la Habana (Inor) y allí se iniciaron las primeras investigaciones cubanas sobre el tema de Anticuerpos monoclonales (AcM). El 15 de enero de 1991, se inició el movimiento de tierra para la construcción de la nueva sede y el 5 de diciembre de 1994, el Comandante en Jefe Fidel Castro inauguró la nueva instalación del CIM. Para su diseño y construcción se utilizaron las actuales guías para las buenas prácticas de producción adoptadas por Cuba y recomendadas por la Organización Mundial de la Salud. Particularmente aquellas que han sido acogidas por los países miembros de la Comunidad Europea.

En la actualidad el CIM tiene como objeto social, obtener y producir nuevos biofármacos destinados al tratamiento del cáncer y otras enfermedades crónicas no transmisibles e introducirlos en la Salud Pública cubana. Es una institución biotecnológica cubana dedicada a la investigación básica, desarrollo y fabricación de productos a partir del cultivo de células de mamíferos, de acuerdo con las regulaciones de las actuales Buenas Prácticas de Manufactura (BPM). Tiene como misión la investigación, desarrollo, fabricación en gran escala y la comercialización de productos biofarmacéuticos en el mercado nacional e internacional, en especial anticuerpos monoclonales y otras proteínas recombinantes, para el diagnóstico y tratamiento del cáncer y otras enfermedades relacionadas con el sistema inmune, así como la negociación de intangibles, tanto en Cuba como en el exterior.

Materiales y métodos

Para el desarrollo de la metodología se tuvo en cuenta la información entregada por parte del proveedor y los criterios técnicos aportados por los especialistas del Centro de Ingeniería Molecular (CIM). Se aplicó el Modelo de Desarrollo Energético Territorial propuesto para Cuba [Rodríguez, 2012], con el objetivo de determinar el espacio que puede ser utilizado para la instalación de la tecnología fotovoltaica, realizar la evaluación del potencial solar y efectuar los estudios de factibilidad para el diseño de la Central Eléctrica Fotovoltaica (CEFV) en el CIM. La visión técnica-económica se perfiló en la aplicación de los resultados científicos de la Economía Ecológica, como ciencia básica de gestión de la sustentabilidad [Hauwermeiren, 1998]. Para el análisis económico de la inversión se utilizó la herramienta cubana CEHOMER 2013, que permite determinar el valor actualizado neto, la tasa interna de retorno y el periodo de recuperación de la inversión.

Para la realización de los cálculos energéticos se utilizó el Sistema de Información Geográfica de Fuentes Renovables de Energía (SIGFRE) [Sigfre..., s/a], pudiendo desarrollar las interpretaciones energéticas

relacionadas con la información meteorológica de la actividad solar y la influencia que en ella ejercen las variables meteorológicas. Se utilizó la cartografía de Cuba en escala 1:100000, certificada por Geocuba.

La información del potencial solar corresponde a los resultados del proyecto SWERA. Este es un proyecto del UNEP (United Nations Environment Programme, Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente), con el cofinanciamiento de GEF (Global Environment Facility, Fondo para el Medio Ambiente Global), creado para potenciar la utilización de las formas renovables de energía solar y del viento, eliminando las barreras causadas por la falta de información [Pineda, 1995].

Como herramienta básica para las simulaciones se utilizó el software PVS y st V5.55 [www.pvsyst.com], con el objetivo de realizar el dimensionado del sistema. La definición del esquema del arreglo fotovoltaico y de conversión-control para la entrega de la energía a la red eléctrica, la simulación del diseño seleccionado y el análisis de los resultados, incluye el análisis de los beneficios económicos y ambientales.

Resultados y discusión

El Cim tiene un régimen de trabajo de 24 horas, dividido en varios turnos de trabajo. En 2013, el centro consumió un total de 10 832 600 kWh, siendo el mes de mayor consumo octubre, con 952 700 kWh. Del consumo del año, 1 753 797 94 kWh se materializaron en el horario pico para 16,19 %, 3 259 529,34 kWh en la madrugada, para 30,09 %, y 5 819 272,72 kWh durante el horario del día, para 53,72 %. La facturación por concepto de electricidad ascendió a 2 564 315,32 CUC, con un costo promedio del kWh de 0,24 CUC.

El análisis demuestra que poco más de la mitad del consumo de electricidad del centro se realiza durante las horas del día, cuando la radiación solar se encuentra disponible para ser aprovechada y poder sustituir el consumo de la energía generada con el petróleo.

Los resultados anteriores indican, mediante la realización de un simple análisis energético, la necesidad de valorar la posibilidad de cubrir el consumo de electricidad durante las horas del día con energía fotovoltaica; con ello se pudiera reducir aproximadamente la factura del pago de energía eléctrica de un año en \$1 384 730,27 CUC. Este ahorro pudiera representar un impacto directo para el estado cubano al evitarse el consumo aproximado de 1545 t de petróleo, dejando de emitir a la atmósfera 5237 t de CO₂.

En la tabla 1 se pueden apreciar los datos estimados del impacto energético anual que puede ofrecer una central fotovoltaica de 30 kWp en CIM.

Tabla 1. Datos estimados del impacto energético

Pfv	E-Grid	Re-Hd	Pee	Ac
30	53,7	1	4,8	15

Donde:

Pfv: Indica la penetración fotovoltaica y se refiere a la potencia que se introduce en el esquema de conexión a la red del centro y se expresa en kWp

E-Grid: Es la energía eléctrica fotovoltaica efectiva inyectada en la red en un año y se expresa en MWh/año

Re_Hd: Corresponde al porcentaje que representa la energía inyectada a la red, en relación con el consumo de electricidad del centro en el horario diurno y se expresa en %

Pee: Se refiere a las pérdidas energéticas evitadas y corresponde al estimado de las pérdidas de energía eléctrica del sistema centralizado que se evitan, por la cantidad de kWh/año de fotovoltaica suministrado en el modo de conexión directa a la carga y se expresa en MWh/año (considerando las características del sistema eléctrico que suministra la energía al CIM, se ha estimado hasta 9 % en relación con la energía sustituida con fotovoltaica).

Ac: Alude la cantidad de combustible (petróleo) que puede ahorrarse con una potencia pico (fotovoltaica) instalada en un año de operación, y se expresa en toneladas. Se ha tomado como indicador para el sistema eléctrico cubano el gasto de 0,25 t de petróleo por cada MWh generado.

El elemento económico y los límites del financiamiento constituyen restricciones básicas para la introducción de una central fotovoltaica conectada a la red; ello supone la extraordinaria importancia de la realización adecuada de los estudios de factibilidad técnico económica, pues la valoración de estos estudios permite decidir sobre la continuidad de la inversión.

A pesar de la reducción de los precios experimentados en los últimos años en el mercado fotovoltaico, la inversión tecnológica inicial continúa siendo de consideración, por lo que puede resultar conveniente para cualquier inversionista realizar la penetración gradual y progresiva de la tecnología, de manera que se pueda ir aprovechando el ingreso proveniente del gasto

evitado por concepto del pago de la factura eléctrica o relacionado con la utilización del combustible, en la consolidación energética del sistema y la expansión a una mayor potencia fotovoltaica.

Cuando se analiza el impacto que en lo energético y económico representa la introducción de la tecnología fotovoltaica en el modo de conexión a la red, sobresalen dos elementos claves: los que tienen una relación directa con la organización (CIM), y los que están vinculados a los beneficios económicos y ambientales para el estado.

Para la organización (CIM) la reducción del monto de la factura eléctrica constituye el factor referencial primario, para determinar la factibilidad económica de la inversión. Mientras que las pérdidas evitadas de energía eléctrica y la reducción del consumo de electricidad generada con el petróleo (ahorro de combustible), pueden constituir las claves para valorar el impacto económico que para el estado puede representar la introducción de la tecnología fotovoltaica.

Lo que queda claro para cualquier persona con un mínimo de nivel e información en temas económicos, es el concepto de que el monto invertido en cualquier actividad o servicio dirigido a la sociedad, debe contar con un mecanismo de retribución que permita recuperar lo invertido y crear las condiciones que posibiliten su estabilidad y futuro crecimiento.

Para la realización del análisis económico se ha entendido procedente tomar como base los siguientes indicadores:

- Asumir la oferta de la tecnología fotovoltaica realizada por Earth Tec, consistente en un kit fotovoltaico de 30 kWp, con un costo de 1282,6 CUC/kWp.
- Los trabajos de la instalación y montaje de la tecnología se han estimado en 226,00 CUC el kWp.
- Considerar como precio referencial de la energía 0,24 CUC/kWh, que corresponde al promedio liquidado durante 2013 a la empresa eléctrica.
- Para instalaciones similares a las que se proyecta, los costos relativos al mantenimiento presentan una escasa entidad económica; no obstante, se ha considerado 4% del monto de la inversión para sufragar estas actividades.
- El período de recuperación económica de la inversión se estimó considerando los gastos de la adquisición de la tecnología, su montaje e instalación, así como el mantenimiento del sistema, en relación con el gasto evitado por el pago a la Empresa Eléctrica.
- Se ha considerado que para las inversiones destinadas a la introducción de los sistemas fotovoltaicos conectados en paralelo a la carga de un centro de producción, los intereses bancarios pueden

oscilar entre 6 % y 10 %, así como el precio anual de la energía puede experimentar incrementos anuales entre 1 % y 2 %, por lo que se estimó factible realizar el estudio para seis escenarios económicos:

- Primer escenario (IE): intereses bancarios de 6 % con un incremento anual de 1 % del precio de la energía.
- Segundo escenario (IIE): Intereses bancarios de 6 % con un incremento anual de 2 % del precio de la energía.
- Tercer escenario (IIIE): Intereses bancarios de 8 % con un incremento anual de 1% del precio de la energía.
- Cuarto escenario (IVE): Intereses bancarios de 8% con un incremento anual de 2% del precio de la energía.
- Quinto escenario (VE): Intereses bancarios de 10% con un incremento anual de 1% del precio de la energía.
- Sexto escenario (VIE): Intereses bancarios de 10% con un incremento anual de 2% del precio de la energía.

En la tabla 2 se muestra un resumen del resultado del análisis de factibilidad económica realizado, donde se consideraron los escenarios estudiados.

Tabla 2. Resumen del resultado del análisis de factibilidad

ESC	MI	FEE	VAN	TIR	PRE
IE	45 258,00	12 888	69 811,72	15,20	7
IIE	45 258,00	12 888	77 433,01	16,40	6
IIIE	45 258,00	12 888	67 055,40	14,50	7
IVE	45 258,00	12 888	74 676,69	15,70	6
VE	45 258,00	12 888	64 266,08	13,80	7
VIE	45 258,00	12 888	71 920,37	15,10	7

Donde:

ESC: Escenario estudiado
MI: Monto de inversión (CUC)
FEE: Factura eléctrica evitada anual (CUC)
VAN: Valor actual neto (CUC)
TIR: Tasa interna de retorno (%)
PRE: Periodo de recuperación económica (año)

Además del impacto económico que puede representar la generación fotovoltaica para el CIM, se distinguen otros resultados que pueden beneficiar la gestión económica del estado.

Este ahorro económico puede ser estimado a partir de calcular la cantidad de combustible evitado por la generación fotovoltaica, más las pérdidas que se reducen por la conexión directa a la carga, considerando como promedio 100 CUC el precio actual del barril de petróleo y hasta 9% de pérdidas estimadas por concepto de transportación y distribución de la energía eléctrica.

La investigación permitió estimar que la introducción de la tecnología fotovoltaica puede propiciar durante el ciclo de vida (20 años) la disminución de más de 992 MWh de energía, con una equivalencia de 1014 ton de petróleo evitado, con un ahorro de 738 424,96 USD y una reducción de 972 t en emisiones de CO₂ a la atmósfera.

Conclusiones

Los resultados del estudio de factibilidad realizado demuestran que la introducción de la tecnología fotovoltaica con el diseño propuesto para el Centro de Inmunología Molecular, resulta viable desde el punto de vista técnico-económico, logrando reducir el monto de la factura eléctrica en más de 12 000 dólares anuales y reportando utilidades directas para centro y el Estado durante el ciclo de vida de la tecnología.

Referencias

HAUWERMEIREN, S.V. (1998). *Manual de Economía Ecológica*. Instituto de Ecología Política. Chile, 1998 (956-7444-10-2): p. 265 páginas.
PINEDA PÉREZ, IRENE (1995). *Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica a la Integración de las Energías Renovables en la Producción de Electricidad en las Comunidades Rurales*. Caso de Estudio: Electrificación del Municipio Cubano de Guamá., 2007. Informes Técnicos Ciemat. 1119. Depósito Legal: M -14226-1995, Departamento de Energía (NIPO: 654-07-054-0).

RODRÍGUEZ GÁMEZ, M. (2012). *La Ordenación y la Planificación de las Fuentes Renovables de Energía en la Isla de Cuba desde una perspectiva territorial*. Colección documentos del CIEMAT. España., 2012. Libro en formato digital. NIPO: 721-12-044-4 (ISBN: 978-84-7834-689-9. DL: M-35559-2012).
sigfre-cujae.edu.cu, CIPEL. Cujae, s/a.
www.pvsyst.com, C.d.a., *PVSyst V5.55. Herramienta para el diseño y simulaciones técnicas en sistemas fotovoltaicos*. 2004.

Fuentes de energía y su impacto en el medio ambiente

Energy sources and its impact in the environment

Por M.Sc. Denny Cabrera Acosta
y Est. José Antonio Gutiérrez Díaz**

** Universidad de Ciencias Pedagógicas
Enrique José Varona, Facultad de Ciencias, La Habana.*

Resumen

El trabajo recoge el estado del arte del uso de la energía en el planeta, y ofrece conceptos claves relacionados con las fuentes de energías que se clasifican en dos grandes grupos: renovables y no renovables. Describe el uso actual de las energías convencionales que son las más utilizadas y provocan alta contaminación ambiental. Alerta de que hoy en día existen claros signos de que las fuentes de suministro de combustibles fósiles son limitadas y se agotan, y que su reposición podría tardar siglos. Expone las diversas fuentes de energía renovables existentes, entre las que se encuentran la mareomotriz (mareas), geotérmica (calor de la tierra), hidráulica (embalses), eólica (viento), solar (Sol) y de la biomasa (vegetación). Todo ello con una visión integradora. Concluye que se hace necesario antes de que colapse la madre naturaleza por la acción de los seres humanos, la búsqueda de nuevas fuentes de energías alternativas que ocasionen mínimos daños al medioambiente para mantener el equilibrio y la calidad de vida.

Palabras clave: Fuentes no renovables de energía, fuentes renovables de energía, contaminación y medioambiente

Abstract

The paper discuss the state of the art of the use of the energy on the planet, and offers key ideas related to renewable and non renewable sources of energy. We describe the current use of conventional energies, the most used today and and the pollution they cause. Somehow the paper is a wake-up call about the limited supply of fossil fuels and their run-out in the long run. The paper also presents various renewable energy sources, like tidal energy, geothermal, hydro, wind, solar and biomass, all that with a broad approach. We conclude that it becomes necessary before Mother Nature collapses due to the action of the human beings, pursuing for alternative energy sources that cause minimal damages to the environment to keep balance and quality of life.

Keywords: Non renewable sources of energy, renewable sources of energy, pollution and environment

Introducción

Sin energía no es posible la vida, pues en todos los cambios, cualquiera que sea su naturaleza o el nivel al que se produzca: micro mundo, macro mundo, o mega mundo, debe ponerse en juego cierta cantidad de energía. Mientras mayores sean los cambios o modificaciones producidos, mayor es la cantidad de energía en juego.

Los humanos necesitamos energía para cualquier función que desarrollamos. Se necesita energía para el desarrollo de la industria y la agricultura, e inclusive en nuestro cuerpo existe un flujo constante de energía. Todos los procesos que nos proporcionan los usos y comodidades en nuestra vida diaria requieren de un gasto energético. Esto es un proceso industrial que puede desarrollarse mediante el uso de diferentes fuentes, que pueden ser renovables y no renovables. Las fuentes de energía renovables se reemplazan con el tiempo y por lo tanto, no desaparecen fácilmente. Sin embargo, las no renovables están amenazadas y pueden desaparecer si su uso es alto e irracional.

El sistema energético contemporáneo, herencia de la Revolución Industrial y del surgimiento y desarrollo del capitalismo, descansa en el consumo de combustibles fósiles y en menor escala, en la energía nuclear.

La agotabilidad de estas fuentes por un lado y el negativo impacto ambiental que provoca su consumo por otro, colocan a la humanidad ante la urgente necesidad de buscar fuentes de energía alternativas y renovables que garanticen servicios energéticos confiables, no contaminantes y sostenibles a todos los habitantes del planeta.

El objetivo de este trabajo es exponer la importancia que reviste el tema energético, no solo en el mantenimiento de la vida en el planeta, sino de igual forma en el equilibrio de la naturaleza. También, argumentar la significación del uso de las fuentes renovables de energía en el mejoramiento de la calidad de vida, como fuentes de energía alternativas a las no renovables.

Desarrollo

La energía es una propiedad de la materia que le confiere la capacidad de producir cambios en la materia y nos permite describir de una forma sencilla las transformaciones. Las fuentes de energía son los recursos existentes en la naturaleza de los que la humanidad puede obtener energía utilizable en sus actividades. El origen de casi todas las fuentes de energía es el Sol, que «recarga los depósitos de energía». Las fuentes de energías se clasifican en dos grandes grupos: renovables y no renovables, según sean recursos «ilimitados» o «limitados».

Dentro de las fuentes de energía no renovables, que son aquellas que se encuentran de forma limitada en el planeta y cuya velocidad de consumo es mayor que la de su regeneración, se encuentra la energía fósil, que procede de la biomasa procesada hace millones de años y que ha sufrido grandes procesos de transformación por la acumulación de grandes cantidades de restos de seres vivos en las cuencas sedimentarias. Consisten principalmente en uniones de carbón e hidrógeno hasta la formación de sustancias de gran contenido energético como el carbón, el petróleo, o el gas natural. No es una energía renovable, por lo que no se considera como energía de la biomasa, sino que se incluye entre las energías fósiles.

La mayor parte de la energía empleada actualmente en el mundo proviene de los combustibles fósiles. Se utilizan para generar electricidad, en la industria aeronáutica y automotriz, para climatizar ambientes y para uso doméstico.

Existen varias fuentes de energía no renovables, como son:

- Los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural).
- La energía nuclear (fisión y fusión nuclear).

Existen tres tipos de combustibles fósiles que pueden usarse para la provisión energética: carbón, petróleo y gas natural.

El carbón es un combustible fósil que se ha formado durante millones de años por el depósito y caída en la tierra de material vegetal. Cuando estas capas se compactan y se calientan con el tiempo, los depósitos se transforman en carbón. Es muy abundante en comparación con otros combustibles fósiles. Los analistas predicen que a nivel mundial el uso del carbón aumentará cuando haya escasez de petróleo. Los suministros actuales de carbón pueden durar 200 años o más. El carbón generalmente se extrae de las minas. Desde mediados del siglo 20, el uso del carbón se ha duplicado. Desde 1996 su aplicación empieza a disminuir. Muchos países dependen del carbón como fuente energética porque no pueden permitirse la utilización de petróleo, o de gas natural al ser más costoso. La China e India son los mayores consumidores de carbón como fuente energética.

El petróleo es un líquido combustible fósil que se forma por los residuos de micro y macro organismos marinos depositados en los fondos geológicos. Después de millones de años los depósitos acaban en rocas y sedimentos donde el petróleo es atrapado en ciertos espacios. Se extrae mediante tecnologías de explotación. El petróleo es el combustible más usado; crudo consiste en muchos compuestos orgánicos diferentes que se transforman en productos mediante procesos de refinamiento. El petróleo no puede

encontrarse de manera constante en cualquier parte de la tierra y, consecuentemente, es un recurso limitado a ciertas áreas geográficas provocando guerras entre los suministradores. Los ejemplos son conocidos.

El gas natural es un recurso fósil gaseado muy versátil, abundante y relativamente limpio si se compara con el carbón o el petróleo. Al igual que el petróleo, su origen procede de los micro y macro organismos digestores, una fuente de energía relativamente poco explotada y nueva. En 1999 se utilizaba más carbón que gas natural. Sin embargo, en la actualidad el gas natural empieza a ganar terreno en países desarrollados. De cualquier manera, la gente comprende que, al igual que el petróleo, también el gas natural desaparecerá, y algunos científicos han previsto que esto ocurrirá a mediados o finales del siglo 21. El gas natural consiste fundamentalmente en metano (CH_4), se comprime en volúmenes pequeños en grandes profundidades en la tierra. Al igual que el petróleo, se extrae mediante perforación. Las reservas de gas natural están más distribuidas a nivel mundial que el petróleo.

Los combustibles nucleares pueden ser el uranio, el plutonio y en general todos los elementos químicos fisibles adecuados para la operación de reactores. Sirvan de ejemplo los reactores de un submarino nuclear, que deben funcionar con uranio muy enriquecido, o centrales como la de Ascó y la de Vandellós, que les basta 4,16% de enriquecimiento. Son elementos capaces de producir energía por fisión nuclear. La energía nuclear se utiliza para generar electricidad en centrales nucleares. El procedimiento de producción es muy semejante al que se emplea en las centrales termoeléctricas, aunque difiere en que el calor no se genera por combustión, sino mediante fisión de materiales fisibles. En rigor no son combustibles, sino energéticos en un futuro.

Históricamente, los combustibles fósiles están disponibles en grandes cantidades fácil de obtener y transportar. Sin embargo, en la actualidad existen claros signos de que las fuentes de suministro de combustible fósiles son limitadas y se agotan, y que su reposición podría tardar siglos. Tanto las fuentes como los sumideros de combustibles fósiles son limitados. Las fuentes existen en capas profundas de la tierra, y los sumideros, por ejemplo, el aire y el agua, absorben los productos residuales de esos combustibles fósiles.

Los combustibles que se queman son responsables de grandes problemas medioambientales, de gran relevancia en la agenda política actual. Ejemplos de la acumulación de gases invernadero son la acidificación, contaminación del aire, contaminación del agua, daño de las capas superficiales y ozono troposférico. Estas son señales de problemas medioambientales causados por la liberación de contaminantes que

normalmente están de forma natural presente en la estructura de los combustibles, como el sulfuro y el nitrógeno.

Actualmente, la quema del petróleo es responsable de 30% de las emisiones de dióxido de carbono en el aire. El gas natural no libera dióxido de carbono debido a su estructura de metano. Las emisiones más largas son causadas por la combustión del carbón. El carbón puede dar como resultado fuegos en las capas subterráneas de la tierra que son imposibles de extinguir. El polvo de carbón puede inclusive explotar, por lo que se considera la minería del carbón como una profesión muy peligrosa. El petróleo puede acabar en el suelo o en el agua en forma cruda; por ejemplo, en periodos de guerras o debido a fugas de petróleo esto ha causado grandes desastres naturales en el planeta.

Contaminación atmosférica

Se entiende por contaminación atmosférica a la presencia en el aire de materias o formas de energía que impliquen riesgo, daño o molestia grave para personas y bienes de cualquier naturaleza, así como que puedan atacar a distintos materiales, reducir la visibilidad o producir olores desagradables.

La contaminación atmosférica se aplica por lo general a las alteraciones que tienen efectos perniciosos en los seres vivos y los elementos materiales, y no a otras alteraciones inocuas. Los principales mecanismos de contaminación atmosférica son los procesos industriales que implican combustión, tanto en industrias como en automóviles y calefacciones residenciales, que generan dióxido y monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y azufre, entre otros contaminantes. Igualmente, algunas industrias emiten gases nocivos en sus procesos productivos, como cloro o hidrocarburos que no han realizado una combustión completa.

La contaminación atmosférica puede tener carácter local, cuando los efectos ligados al foco se sufren en las inmediaciones del mismo, o planetario, cuando se ve afectado el equilibrio del planeta y zonas alejadas de las que contienen los focos emisores. La planta generadora de Nuevo México libera dióxido de azufre y otros contaminantes del aire, al igual que la contaminación atmosférica severa en China.

Principales tipos de contaminantes del aire:

- Contaminantes gaseosos en ambientes exteriores e interiores, los vapores y contaminantes gaseosos aparecen en diferentes concentraciones. Los contaminantes gaseosos más comunes son el dióxido de carbono, el monóxido de carbono, los hidrocarburos, los óxidos de nitrógeno, los óxidos de azufre y el ozono. Diferentes

fuentes producen estos compuestos químicos, pero la principal fuente es la quema de combustible fósil. Los contaminantes gaseosos del aire provienen de volcanes, e industrias. El tipo más comúnmente reconocido de contaminación del aire es la niebla tóxica (smog). La niebla tóxica generalmente se refiere a una condición producida por la acción de la luz solar sobre los gases de escape de automotores y fábricas, edificios, casas etc.

- Efectos de los gases de la atmósfera en el clima:
- Efectos climáticos: generalmente los contaminantes se elevan o flotan lejos de sus fuentes sin acumularse hasta niveles peligrosos. Los patrones de vientos, las nubes, la lluvia y la temperatura pueden afectar la rapidez con que los contaminantes se alejan de una zona. Los patrones climáticos que atrapan la contaminación atmosférica en valles, o la desplacen por la tierra, pueden dañar ambientes limpios distantes de las fuentes originales. La contaminación del aire se produce por toda sustancia no deseada que llega a la atmósfera, y es un problema principal en la sociedad moderna. A pesar de que la contaminación del aire es generalmente un problema peor en las ciudades, los contaminantes afectan el aire en todos lugares. Estas sustancias incluyen varios gases y partículas minúsculas o materia de partículas que pueden ser perjudiciales para la salud humana y el ambiente. La contaminación puede ser en forma de gases, líquidos o sólidos, muchos se liberan al aire como resultado del comportamiento humano; la contaminación existe a niveles personal, nacional y mundial.
- El efecto invernadero evita que una parte del calor recibido desde el sol deje la atmósfera y vuelva al espacio. Esto calienta la superficie de la tierra. Existe una cierta cantidad de gases de efecto de invernadero en la atmósfera que son absolutamente necesarios para calentar la Tierra, pero en la debida proporción. Actividades como la quema de combustibles derivados del carbono aumentan esa proporción y el efecto invernadero aumenta. Muchos científicos consideran que como consecuencia se está produciendo el calentamiento global. Otros gases que contribuyen a este problema incluyen los clorofluorocarbonos (CFCS), el metano, los óxidos nitrosos y el ozono.
- Daño a la capa de ozono: el ozono es una forma de oxígeno, O_3 , que se encuentra en la atmósfera superior de la tierra. El daño a la capa de ozono se produce principalmente por el uso de clorofluorocarbonos (CFCS). La capa fina de moléculas de ozono en la atmósfera absorbe algunos de los rayos ultravioletas (UV) antes de que lleguen a la superficie de la tierra, con lo cual se hace posible la vida en la tierra. El agotamiento del ozono produce niveles más altos de radiación UV en la tierra, con lo cual se pone en peligro tanto a plantas como a animales.
- Se han demostrado enlaces entre la contaminación y los efectos para la salud. Los aumentos en la contaminación del aire se han

ligado a deterioros pulmonares y cardíacos. Niveles altos de contaminación atmosférica según el Índice de Calidad del Aire de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés), perjudican directamente a personas que padecen asma y otras enfermedades pulmonares o cardíacas. La calidad general del aire ha mejorado en los últimos 20 años, pero las zonas urbanas son aún motivo de preocupación. Los ancianos y los niños son especialmente vulnerables a los efectos de la contaminación del aire.

El nivel de riesgo depende de varios factores:

- La cantidad de contaminación en el aire,
- La cantidad de aire que respiramos en un momento dado,
- La salud general.

Otras maneras menos directas en que las personas están expuestas a los contaminantes del aire son:

- El consumo de productos alimenticios contaminados con sustancias tóxicas del aire que se han depositado donde crecen,
- Consumo de agua contaminada con sustancias del aire,
- Contacto con suelo, polvo o agua contaminados

¿Por qué usamos extensamente los combustibles fósiles todavía? La pregunta es simple: porque por su gran disponibilidad son fáciles de extraer, y son baratas en comparación con otras fuentes de energía alternativas que existen hoy día. Un modelo económico como el actual, cuyo funcionamiento depende de un continuo crecimiento, exige también una demanda igualmente creciente de energía. Puesto que las fuentes de energía fósil y nuclear son finitas, es inevitable que en un determinado momento la demanda no pueda ser abastecida y todo el sistema colapse, salvo que se descubran y desarrollen otros nuevos métodos para obtener energía: éstas serían las energías alternativas.

Energías renovables

Se denomina energía renovable a la que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales. Son fuentes en que la energía disponible existe en cantidades ilimitadas, de modo que no se agotan a medida que se van utilizando. El Sol, el viento, las fuentes de agua y la biomasa son ejemplos de fuentes de energía renovables.

Un concepto similar, pero no idéntico, es del de las energías alternativas: una energía alternativa o más precisamente una fuente de energía alternativa, es aquella que puede suplir a las energías o fuentes energéticas actuales, ya sea por su menor efecto contaminante, o fundamentalmente por su posibilidad de renovación

Existen varias fuentes de energía renovables, como son:

- Energía mareomotriz (mareas)
- Energía geotérmica (calor de la tierra)
- Energía hidráulica (embalses)
- Energía eólica (viento)
- Energía solar (Sol)
- Energía de la biomasa (vegetación)

Energía mareomotriz

Es la producida por el movimiento de las masas de agua provocado por las subidas y bajadas de las mareas, así como por las olas que en la superficie del mar por la acción del viento.

Energía geotérmica

Es la que puede obtenerse mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra; puede hacer uso de las aguas termales que se encuentran a poca profundidad y que emanan vapor. Otra fuente de energía geotérmica es el magma (mezcla de roca fundida y gases), aunque no existen recursos tecnológicos suficientes para su explotación industrial. La energía geotérmica tiene distintas aplicaciones, entre las que se cuentan: calefacción de viviendas, usos agrícolas e industriales, generación de electricidad.

Energía hidráulica

Es la producida por el agua acumulada en embalses o pantanos a gran altura (que posee energía potencial gravitatoria). Si en un momento dado se deja caer hasta un nivel inferior, esta energía se convierte en energía cinética y, posteriormente, en energía eléctrica en la central hidroeléctrica.

Energía eólica

Es la energía cinética producida por el viento, se transforma en electricidad mediante los aerogeneradores (molinos de viento especiales).

Energía solar

Es la que llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética (luz, calor y rayos ultravioleta principalmente) procedente del Sol, donde ha sido generada por el proceso de fusión nuclear. Su aprovechamiento se puede realizar de dos formas: por conversión térmica de alta temperatura (sistema fototérmico) y por conversión fotovoltaica (sistema fotovoltaico).

Energía de la biomasa

Se obtiene de los compuestos orgánicos mediante procesos naturales. Con el término *biomasa* se alude a la energía solar convertida en materia orgánica por la vegetación, que se puede recuperar por combustión directa o transformando esa materia en otros combustibles, como alcohol, metanol o aceite. También se puede obtener biogás, de composición parecida al gas natural, a partir de desechos orgánicos.

Impacto ambiental

La energía geotérmica puede ser muy nociva si se arrastran a la superficie metales pesados y gases de efecto invernadero; la eólica produce impacto visual en el paisaje, ruido de baja frecuencia y puede ser una trampa para aves. La hidráulica menos agresiva es la minihidráulica, ya que las grandes presas provocan pérdida de biodiversidad, generan metano por la materia vegetal no retirada, provocan pandemias como fiebre amarilla, dengue, equistosomiasis en particular en climas templados y climas cálidos, inundan zonas con patrimonio cultural o paisajístico, generan el movimiento de poblaciones completas (entre otros Asuán, Itapuá, Aciretá) y aumentan la salinidad de los cauces fluviales. La energía solar se encuentra entre las menos agresivas, salvo el debate generado por la electricidad fotovoltaica en tanto utiliza gran cantidad de energía para producir los paneles fotovoltaicos y tarda bastante tiempo en amortizarse. La mareomotriz se ha discontinuado por sus altísimos costos iniciales y el impacto ambiental que suponen. La energía de las olas junto con la energía de las corrientes marinas habitualmente tiene bajo impacto ambiental, ya que usualmente se ubican en costas agrestes. La energía de la biomasa produce contaminación durante la combustión por emisión de CO₂ pero que es reabsorbida por el crecimiento de las plantas cultivadas y necesita tierras cultivables para su desarrollo, disminuyendo las tierras cultivables disponibles para el consumo humano y la ganadería, con un peligro de aumento del coste de los alimentos y aumentando el monocultivo.

Conclusiones

Todas las fuentes de energía producen algún grado de impacto ambiental. Algunas como las no renovables crean un desequilibrio en la naturaleza por

su uso irracional y desconsiderado por parte del hombre, afectando los ecosistemas de los cuales la humanidad forma parte. Por tanto, se hace necesario, antes de que colapse la madre naturaleza por la acción de los seres humanos, la búsqueda de nuevas fuentes de energías alternativas que ocasionen mínimos daños al medioambiente.

Bibliografía

www.combustiblesfosiles (visitado el día 5 mayo online).
wikipedia2014 (visitada online el día 5 mayo).

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.

EDITORES:

M.Sc. Madelaine Vázquez Gálvez.

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. Daniel López Aldama

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.

Lic. Ricardo Bérriz Valle.

Dr. David Pérez Martín.

Dr. César Cisnero Ramírez

DISEÑO ELECTRÓNICO:

D.I. Antonio Romillo Polaino.

WEB MASTER:

Lic. Ernesto Nolasco Serna.



**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>