



REVISTA CIENTÍFICA DE CUBASOLAR



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

83

DIRECTOR GENERAL

Dr. C. Luis Bériz Pérez

EDITORES

M.Sc. Madelaine Vázquez Gálvez
Ing. Jorge Santamarina Guerra
Lic. Mónica Cuéllar Céspedes

CONSEJO EDITORIAL

M. Sc. Ramón Acosta Álvarez
Dr. C. Luis Bériz Pérez
M. Sc. Ricardo Bériz Valle
Dra. C. Leidy Casimiro Rodríguez
Ing. Otto Escalona Pérez
Dra. Cs. Dania González Couret
Ing. Miguel González Royo
Dr. C. José A. Guardado Chacón
Lic. Bruno Henríquez Pérez
Ing. Nilo Ledón Díaz
M. Sc. Martha Mazorra Mestre
Dr. C. Conrado Moreno Figueredo
Dr. C. Rafael Parúas Cuza
Dr. C. Joel Morales Salas
Dr. C. Daniel Stolik Novygrad
M. Sc. Madelaine Vázquez Gálvez

DISEÑO Y COMPOSICIÓN

Alejandro F. Romero Ávila

WEB MASTER

Omar Dieppa Castellanos

Eco Solar, no. 83 / 2023

Revista científica de las
fuentes renovables de energía
enero-diciembre, 2023
ISSN-1028-6004
RNPS-2220



PATROCINADORES

CETER



DIRECCIÓN

Calle 20, No. 4113,
entre calles 18A y 47,
Playa, La Habana, Cuba
TELÉFS.: (53) 72040010; 72062061

madelaine@cubasolar.cu

HTTP://www.cubasolar.cu



CONTENIDO

ENFOQUES METODOLÓGICOS PARA EVALUAR EL POTENCIAL DE LA ADAPTACIÓN DE LAS MORFOLOGÍAS URBANAS AL CALENTAMIENTO GLOBAL.....3
Dania González Couret, Guillermo Antonio de la Paz Pérez, Natalí Collado Baldoquín y Luis Alberto Rueda Guzmán

**TECNOLOGÍAS COMPLEMENTARIAS A LA ENERGÍA SOLAR (I):
BATERÍAS RECARGABLES.....14**
Arnaldo González Arias

**TECNOLOGÍAS COMPLEMENTARIAS A LA ENERGÍA SOLAR (II):
REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES.....19**
Arnaldo González Arias

**LA FORMACIÓN LABORAL DESDE LAS EDADES TEMPRANAS: PERTINENCIA DEL
EJE DE SOBERANÍA ALIMENTARIA.....24**
Disney Prado Jiménez, Dumey Prado Jiménez, Renay Bernal Arcos y Yerlys Iglesias Oria

**CONTRIBUCIÓN AL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA
EN LA EMPRESA CÁRNICA DE HOLGUÍN.....30**
Lilian Rosa González López, Ángel Eugenio Infante Haynes, Manuel Germía Rodríguez Romero, Eliéser Ricardo Morales y Zaily Dorado Rojas

editorial
cubasolar

ENFOQUES METODOLÓGICOS PARA EVALUAR EL POTENCIAL DE LA ADAPTACIÓN DE LAS MORFOLOGÍAS URBANAS AL CALENTAMIENTO GLOBAL

Por Dra. Cs. **Dania González Couret***, Dr. C. **Guillermo Antonio de la Paz Pérez****,
Dra. C. **Natalí Collado Baldoquín***** y Dr. C. **Luis Alberto Rueda Guzmán******

Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae), La Habana, Cuba.

*<https://orcid.org/0000-0002-1406-4588>

E-mail: daniagcouret@gmail.com

**<https://orcid.org/0000-0001-6626-6301>

E-mail: delapaz.pguille@gmail.com

***<https://orcid.org/0000-0003-4248-9708>

E-mail: colladobaldoquin@gmail.com

****<https://orcid.org/0000-0001-6549-3975>

E-mail: ruedaguz72@gmail.com

Resumen

Las ciudades y los edificios juegan un rol determinante en la adaptación al cambio climático y particularmente al calentamiento global. En el artículo se ofrecen los resultados parciales de la primera etapa de una investigación encaminada a evaluar los tipos morfológicos urbanos con vistas a proponer acciones y estrategias de transformación que favorezcan su adaptación al cambio climático. Se trata de una investigación teórica en la cual se procesan los resultados de la revisión bibliográfica con el objetivo de identificar los principales métodos e indicadores empleados a escala global, en aras de precisar los enfoques a aplicar en las siguientes etapas del estudio. Se concluye que estos tendrán que adaptarse a la información y tecnologías disponibles en Cuba y a las particularidades locales, evaluándose, a partir del monitoreo y la simulación, el comportamiento anterior y posterior en diversos escenarios mediante el análisis costo-beneficio.

Palabras clave: metodologías de evaluación, adaptación al cambio climático, morfologías urbanas, calentamiento global.

METHODOLOGICAL APPROACHES FOR ASSESSING THE POTENTIAL OF URBAN MORPHOLOGIES TO ADAPT TO GLOBAL WARMING

Abstract

Cities and buildings play a decisive role in adapting to climate change and particularly to global warming. This article offers the partial results of the first stage of a research aimed at evaluating urban morphological types with a view to proposing actions and transformation strategies that favour their adaptation to climate change. This is a theoretical investigation in which the results of the literature review are processed with the aim of identifying the main methods and indicators used on a global scale, in order to specify the approaches to be applied in the following stages of the study. It is concluded that these will have to be adapted to the information and technologies available in Cuba and to local particularities, evaluating, through monitoring and simulation, the upstream and downstream behaviour in different scenarios by means of cost-benefit analysis.

Keywords: solar energy, batteries, ion-litio, redox flow.

I. Introducción

El cambio climático es una realidad incuestionable, consecuencia de las emisiones de gases de efecto invernadero generadas fundamentalmente durante la segunda mitad del siglo XX. Es por ello que no solo es necesario acercarse a soluciones de carbono cero para mitigar el impacto a largo plazo, sino transformar los espacios habitables con vistas a una mejor adaptación a los cambios que ya están ocurriendo. En el logro de este objetivo, las ciudades y los edificios juegan un rol determinante, tanto por el impacto que generan, como por sus potencialidades para reducirlo y favorecer una mejor adaptación a las nuevas circunstancias.

Hacia ello se encamina el Plan de Estado para el enfrentamiento al cambio climático en Cuba, pero resulta insuficiente la atención que se brinda a los efectos del calentamiento global, fundamentalmente en las áreas urbanas, donde habita casi el 80 % de la población cubana. El aumento de la temperatura es un hecho que afecta a todo el planeta, pero se agrava en las regiones cálidas, que por lo general, son las más empobrecidas. Por tanto, la transformación de las ciudades en pos de su adaptación al cambio climático y atenuar sus efectos negativos sobre la salud y el bienestar de sus habitantes, es una urgencia en Cuba.

Es por ello necesario caracterizar, clasificar y evaluar los tipos urbanos morfológicos que nos permitan trazar las estrategias de transformación más apropiadas en cada caso, a ello se dedica el proyecto de investigación «Adaptación del hábitat urbano al cambio climático en Cuba», que acaba de concluir su primera etapa y está vinculado al programa nacional de ciencia y técnica sobre la adaptación al cambio climático.

En el artículo se expone una parte de los resultados obtenidos en la elaboración del marco teórico, específicamente aquellos relacionados con los enfoques metodológicos para evaluar las potencialidades de las diversas morfologías urbanas en relación con su mejor respuesta adaptativa ante el calentamiento global. La literatura internacional consultada proviene, fundamentalmente, de países desarrollados y regiones de clima frío y templado, siendo escasos los estudios sobre regiones cálidas y en desarrollo como Cuba, razón que ha motivado la primera etapa de la investigación.

En el artículo, por tanto, se presentan los resultados de una discusión teórica a partir de los enfoques metodológicos, originalmente planteados en la literatura consultada, en aras de proponer el procedimiento a seguir en la investigación.

II. Materiales y métodos

El contenido que se presenta constituye parte de la primera etapa de la investigación, que se inició con una búsqueda bibliográfica sobre temas vinculados al calentamiento global derivado del cambio climático, tanto de manera general como en la región del Caribe y particularmente en Cuba; su impacto social, económico y ambiental; las interinfluencias con la arquitectura y el urbanismo, vistos como responsables parciales del calentamiento global que a la vez sufren su impacto; las mejores prácticas en relación con estrategias y soluciones de transformación, prin-

cialmente en regiones con condiciones similares a las del contexto cubano, y en particular, los procedimientos y herramientas usados para caracterizar, clasificar y evaluar las morfologías según sus problemas y potencialidades.

Los enfoques metodológicos identificados fueron caracterizados y clasificados según su alcance y objetivos, teniendo en cuenta sus posibilidades de aplicación en Cuba y en la investigación sobre la base de los recursos necesarios y disponibles. Los resultados de la discusión constituyeron el punto de partida para proponer el procedimiento a seguir en la caracterización, clasificación, evaluación y propuestas de transformación de las morfologías con la intención de una mejor adaptación del hábitat al calentamiento global en Cuba, lo cual será objeto de estudio en futuras etapas de la investigación.

III. Resultados y discusión

Con la finalidad de ordenar el análisis de la información recopilada, los enfoques metodológicos identificados se clasificaron según su alcance y objetivo en: métodos generales de evaluación; los correspondientes al análisis del ciclo de vida; las metodologías *ex ante* y *ex post*; los análisis multicriterio, multiobjetivo, multiescala o multiactorial; algunos índices de referencia; el análisis de los escenarios, y las ponderaciones de los expertos. También se comentaron algunos de los principales software empleados en los procedimientos; las formas de clasificar los tipos urbanos, así como métodos y herramientas específicos para evaluar el efecto de la *isla de calor* urbana. El análisis concluye con la fundamentación de la decisión tomada sobre el enfoque metodológico a seguir en la investigación, que difiere del inicialmente concebido en su diseño.

Métodos generales de evaluación

Entre los métodos generales de evaluación con mayor alcance por su integralidad, se encuentra el *índice de bienestar económico sustentable* (Index of Sustainable Economic Wellbeing, ISEW) empleado por Dos Santos *et al.* (2017) quienes ratifican lo inapropiado del PIB para evaluar el desarrollo.

Uno de los métodos de evaluación más comúnmente usado es el *análisis costo-beneficio*, que según Newbery (2002), consiste en la evaluación del objeto con y sin la propuesta de transformación proyectada.

En la mayoría de los casos, los métodos consultados se asocian con la evaluación integral de la sustentabilidad y la resiliencia del objeto de estudio o especialmente del consumo energético y el impacto ambiental. Algunos de ellos toman como base el concepto extendido de «metabolismo urbano», el cual ha evolucionado de un simple balance a un modelo más complejo que incluye productos intangibles. Tal es el caso de la *evaluación del impacto metabólico* (Metabolic Impact Assessment, MIA), empleado en el proyecto Metabolismo urbano sustentable para Europa (Sustainable Urban Metabolism for Europe, SUME), a través del cual se simuló el desarrollo urbano en siete grandes áreas metropolitanas europeas. El método intenta resolver la falta de información y definir límites, establece comparaciones para la validación y efectúa un análisis de sensibilidad. Se plantea la posibilidad de enfocarse en

un índice de eficiencia urbana (Urban Efficiency Index, UEI) en lugar de elaborar complejas matrices para mapear los resultados, con lo cual sería más fácil representar escenarios y metas (Caputo, 2019).

El enfoque de modelación *sistemas urbanos sustentables de agua y energía* (Sustainable Urban Energy and Water System, SUEWS) parte de los parámetros requeridos de ocupación del suelo para suponer, de forma emergente y con una mediana complejidad, el consumo de energía y agua a escala urbana. Se ha aplicado en la evaluación de cuatro ciudades (Dublín, Hamburgo, Melbourne y Phoenix) al reemplazar la ocupación del suelo establecida por las denominadas «zonas climáticas locales» (Local Climate Zone, LCZ) por fracciones reales detalladas, lo cual mejora el desempeño del modelo (Alexander *et al.*, 2016).

Entre los métodos generales para valorar la sustentabilidad se encuentran los de *evaluación de edificios verdes* (Green Building Assessment, GBA). Pan *et al.* (2022) identificaron 42 de ellos empleados a escala global y evaluaron en profundidad 12 ampliamente adoptados, atendiendo a las dimensiones de concepto, metodología y valoración, según una perspectiva múltiple. Aunque el objetivo de la investigación en curso no es la evaluación de la sustentabilidad urbana, sino del impacto del cambio climático, específicamente de la elevación de las temperaturas y las posibles medidas de adaptación del hábitat urbano, será necesario partir de un enfoque más amplio e integral, para lo cual las metodologías identificadas pueden servir como referencia.

En investigaciones precedentes, los autores de este trabajo han clasificado las diversas formas de evaluar la sustentabilidad referidas en la literatura internacional en tres tipos: las herramientas, los estándares y los sistemas de evaluación de edificios. Las herramientas de evaluación consisten en software que otorgan certificación y ayuda práctica al proyectista. Los estándares son habitualmente aceptados como sinónimo de buenas prácticas, mientras que los sistemas de evaluación establecen una gradación o calificación con respecto al cumplimiento de los indicadores de sustentabilidad (Pérez, 2019).

Los primeros sistemas de evaluación aparecieron en 1989, y ya en 2019 se registraban unos 330 a escala global. Pérez (2019) identificó 27 sistemas desarrollados en América, África, Europa, Asia y Australia, y para su aplicación en Cuba otorgó prioridad a los que provenían de países con un contexto similar en cuanto a nivel de desarrollo y clima: EEW (Taiwán, 1999), LEED-India (India, 2001), Terigriha (India, 2015), AQUA (Brasil, 2008), MyCrest (Malasia, 2010), PCES (México), Lotus (Vietnam, 2017) y GBI (Malasia).

Otros métodos generales identificados se dedican a la evaluación del consumo de energía y las correspondientes emisiones de CO₂. Entre ellos se encuentra el *modelo de gestión racional de la exergía* (Rational Exergy Management Model, REMM), aplicado por Kilkis (2014) a distritos de exergía cero (net zero exergia), que son aquellos que producen tanta cantidad de energía como la consumida. Zhang *et al.* (2014) usan el *análisis de entrada-salida* (Input-Output Analysis) para calcular el flujo y el consumo (directo e indirecto) de energía embutida de las ciudades sobre la base del metabolismo, aunque el consumo indirecto generalmente no se evalúa por falta de datos. Esto

guarda una relación muy estrecha con los objetivos de la investigación en curso, en la cual se pretende evaluar el impacto del aumento de las temperaturas en el consumo de energía, así como el de las medidas de adaptación propuestas en su reducción.

Para evaluar la morfología urbana, Yu *et al.* (2021) proponen el método de *análisis de patrones espaciales morfológicos* (Morphological Spatial Patterns Analysis, MSPA) desde una perspectiva gráfica integradora que cambia la lógica de evaluación y mitigación de la *isla de calor*. En esta ocasión, se evoluciona del enfoque de «parches fragmentados» hacia una «concepción en red» a partir del pensamiento inverso. Se parte de que el método de las zonas climáticas locales (LCZ), en sus 17 categorías reconocidas, no considera la interconexión que realmente existe entre las diferentes zonas urbanas clasificadas. Estos autores proponen considerar una *isla de calor* regional, ya que los problemas térmicos y ambientales que se presentan a esa escala no pueden resolverse desde la perspectiva de una sola ciudad uniforme. Este enfoque es novedoso y puede ser muy real, pero se dificulta en las condiciones de la investigación para el hábitat urbano en Cuba por la imposibilidad de disponer de ciertos recursos tecnológicos como imágenes térmicas satelitales.

Palusci *et al.* (2022) demuestran que se ha incrementado el uso de métodos para evaluar el desempeño de la ventilación a escala urbana por su influencia en el efecto de la *isla de calor*, variando los enfoques metodológicos que se emplean en cada escala, según la clasificación establecida para las LCZ. La evaluación de las morfologías urbanas existentes y las acciones de transformación para una mejor adaptación al cambio climático resultan esenciales para la investigación en desarrollo, pero no se empleará la clasificación establecida por el método de las LCZ, ya bastante criticada, sino que se elaborará una a partir de criterios propios sobre la base de las variables que se discuten. Por otro lado, al reconocer las limitaciones de las LCZ a escala global, se pretende identificar a las morfologías reales existentes con vistas a monitorear y simular su comportamiento.

De manera general, son diversos los métodos que se emplean para evaluar el impacto de las soluciones urbanas y su transformación, usualmente asociados a la aplicación de software y otras técnicas como el manejo de imágenes satelitales a los cuales no es posible el acceso desde Cuba.

Análisis del ciclo de vida

El *análisis del ciclo de vida* (Life Cycle Analysis, LCA) es uno de los enfoques más usados que subyace en la mayoría de los métodos identificados y, según Nematchoua *et al.* (2019), es el mejor para evaluar el impacto ambiental del medio construido. Sin embargo, partiendo de reconocer que raramente se ha hecho un completo análisis del ciclo de vida en edificios en el contexto mediterráneo, Stephan *et al.* (2014) proponen para ello un marco multiescala.

Muy frecuentemente ese método se asocia también al análisis energético del ciclo de vida. En este sentido Gauk (2016) emplea tres categorías: la energía consumida en la producción de los materiales de construcción, la necesaria para el uso operacional de la vivienda y la empleada en los vehículos de transporte privado, lo cual aplica en la evaluación de 239 planes generales de ordenamiento urbano.

El análisis del ciclo de vida es uno de los enfoques metodológicos a emplear en la investigación en curso, fundamentalmente en la etapa de operación o explotación que define el consumo anual de energía.

Metodología ex ante y ex post

Lin (2021) plantea que es insuficiente el número de estudios relevantes sobre evaluación *ex ante*, en comparación con la gran cantidad de literatura que se concentra en la evaluación *ex post*, por lo que presenta un modelo del primer tipo para la toma de decisiones en la evaluación de la sustentabilidad de proyectos de renovación urbana sobre la base de la perspectiva de *toma de decisiones híbrida multiatributo* (Hybrid Multi-Attribute Decision Making, MADM), según las dimensiones que él considera clásicas: económica, social y cultural y ambiental. El proceso se desarrolla en tres etapas: cuestionario de expertos, exploración de las relaciones de interdependencia entre dimensiones, y obtención del peso relativo que tiene la influencia de cada aspecto (ponderación). Según el autor, se obtiene una evaluación precisa de la resiliencia urbana (ecológica, económica y social) y su evolución espacio-temporal a diferencia de las perspectivas estáticas predominantes.

Además, Buzási *et al.* (2021) ofrecen una metodología integrada *ex ante* para evaluar aspectos climáticos del proyecto de desarrollo urbano que incluye características locales específicas, estrategias relacionadas, objetivos y visiones. En la primera etapa se definen los principales aspectos de las intervenciones analizadas, en la segunda se establecen los criterios de evaluación y en la tercera se ofrece una puntuación mediante panel de expertos. Según el autor, el método es similar al empleado por el Foro Económico Mundial (World Economic Forum). La metodología a elaborar en la investigación en desarrollo contemplará este enfoque para hacer evaluaciones comparativas de diversos estados del objeto de estudio, antes y después de la puesta en práctica de las transformaciones propuestas.

Análisis multicriterio, multiobjetivo, multiescala o multiactoral

La tendencia a los análisis «multi» como método de evaluación es predominante. Por ejemplo, Buzási *et al.* (2021) emplean una metodología multicriterio para definir la compleja relación entre las acciones de renovación para la toma de decisiones. También Czapich *et al.* (2022) usan un método de evaluación multicriterio que se expresa mediante la *herramienta del indicador compuesto* (Composite Indicator Tool). Se trata de un método de análisis comparativo multivariado aplicado para evaluar la sustentabilidad de capitales europeas. Además, Luo *et al.* (2021) aplican una metodología multicriterio para la toma de decisiones en aras de manejar y ordenar escenarios sustentables.

A su vez, Bassolino *et al.* (2021) proponen un sistema multicriterio para evaluar la capacidad adaptativa de los espacios urbanos a la elevación de la temperatura, comenzando por la parametrización de las características físicas y morfológicas con respecto al confort ambiental. La verificación de las propuestas de diseño incluye ensayos para determinar sus contribuciones e identificar las mejores soluciones climáticamente adaptadas. La primera etapa

de trabajo consiste en la recopilación de información; la segunda en su análisis y procesamiento, con simulaciones del *factor de visión del cielo* (Sky View Factor, SVF); en la tercera se muestran, clasifican y comparan patrones urbanos homogéneos; en la cuarta se aplica la evaluación multicriterio de la capacidad adaptativa de los espacios urbanos, comenzando por las características físicas y morfológicas con respecto al confort ambiental con vistas a la definición de indicadores morfológicos; y en la quinta etapa se verifica el diseño mediante ensayos. Esta metodología coincide en gran medida con el enfoque previsto para la investigación en curso.

Campana *et al.* (2017) usan un modelo multiobjetivo sobre la base de un algoritmo genérico para minimizar los costos de ciclo de vida del sistema y maximizar las energías renovables y la cosecha de agua mediante simulaciones dinámicas con el objetivo de optimizar el planeamiento de distritos urbanos residenciales. Stephan *et al.* (2014) ofrecen un marco multiescala para el análisis energético del ciclo de vida de edificios en el Mediterráneo, como resultado de lo cual se proponen acciones urbanas inmediatas y estrategias a largo plazo.

Gandini *et al.* (2021) reconocen que la reducción de desastres y adaptación al cambio climático requieren una perspectiva holística multiescala y presentan un enfoque metodológico integral multiactoral a escala de ciudad. También Mouzourides *et al.* (2019) aplican un análisis multiescala con datos validados de la demanda energética y establecen un vínculo entre las características de la forma urbana (como el parámetro dinámico de la «ciudad respirable», la altura de los edificios y la densidad) y la demanda energética asociada por calefacción y enfriamiento. Los análisis múltiples tendrán que ser necesariamente empleados en las metodologías a proponer en la investigación en desarrollo, con un enfoque holístico que considere, a diferentes escalas, diversas dimensiones, variables, parámetros e indicadores.

Análisis de escenarios

El análisis y construcción de escenarios es otro método muy común que generalmente aparece combinado con algunos de los ya mencionados. Por ejemplo, Buzási *et al.* (2021) lo emplean para evaluar las posibles consecuencias de una intervención de transformación en el desempeño urbano. Vermeiren *et al.* (2022) elaboraron tres escenarios para evaluar la expansión urbana de ciudades hasta el 2050 mediante un mapa calculado para cada una con los costos actuales y futuros en diversos plazos (2016, 2025, 2035 y 2050). Los tres escenarios de crecimiento consisten en el intensivo al ritmo actual, uno neutral y otro casi nulo denominado antiextensión.

Kilkis (2014) evalúa el índice de *opción de distrito exergía cero* (Net Zero Exergy District Option Index, NOEDO) en cinco escenarios. A su vez, el índice *térmico universal* (Universal Thermal Index, UTI) es calculado por Batista (2016) para el escenario actual y futuro desarrollo propuesto. El método empleado por Caputo (2019), *evaluación del impacto metabólico* (Metabolic Impact Assessment, MIA), se enfoca en el *índice de eficiencia urbana* (Urban Efficiency Index, UEI) para fácilmente representar escenarios y me-

tas. Por otro lado, Gauk (2016) identifica cuatro escenarios para el análisis energético del ciclo de vida de 239 planes generales urbanos: DD (desarrollo disperso), DDEE (desarrollo disperso energéticamente eficiente), DC (desarrollo compacto) y DCEE (desarrollo compacto energéticamente eficiente). La construcción de escenarios será una herramienta clave en el procedimiento a emplear en la investigación en curso, de manera que sea posible evaluar el impacto del cambio climático en diversos escenarios con y sin las transformaciones propuestas.

Ponderación de expertos

El método de expertos aparece con diversas formas en algunas de las fuentes consultadas. En la tercera etapa de su metodología integrada *ex ante* para evaluar aspectos climáticos del proyecto de desarrollo urbano, Buzási *et al.* (2021) asignan puntos a los aspectos evaluados mediante panel de expertos. Lin (2021), por el contrario, les aplica el cuestionario en la primera etapa de su método *ex ante*, sobre la base de una perspectiva de *toma de decisiones híbrida multiatributo* (Hybrid Multi-Attribute Decision Making, MADM), mientras que Luo *et al.* (2021) definen el peso de las variables de la metodología multicriterio para la toma de decisiones a partir de la consulta de expertos. Por lo complejo y discutible de los métodos de expertos, será necesario valorar su conveniente aplicación en las próximas etapas de este estudio o la posibilidad de arribar a criterios de ponderación por otras vías.

Métodos y herramientas para evaluar el efecto de la isla de calor urbana

Martilli *et al.* (2020) estudiaron el fenómeno de la *isla de calor urbana* (Urban Heat Island, UHI) y sugieren el término «mitigación del calor urbano» para describir con mayor precisión las estrategias destinadas a enfriar las ciudades. Tan *et al.* (2016) investigaron el efecto de la vegetación asociada al SVF para mitigar la UHI en Hong Kong, señalando que el software ENVI-met es una herramienta fiable.

En otras investigaciones, como la llevada a cabo por Bregiatto (2015), se evalúan, mediante modelaciones numéricas realizadas con el software ENVI-met, las consecuencias de la verticalización de las ciudades, no solo en el efecto de *isla de calor* sino también en la contaminación urbana. Renganathan y Rohinton (2018) realizaron una revisión del estado del arte en relación con la intensidad de UHI, su influencia en el consumo de energía de los edificios y el efecto de las urbanizaciones compactas en el trópico. Estos autores refieren que el método más común, y más ampliamente aceptado, para modelar la UHI tropical es ENVI-met.

Según Segovia y Morillón (2022), para evaluar el efecto de la UHI, se utilizan métodos como comparación de datos climatológicos entre estaciones urbanas, suburbanas y rurales; recorridos con vehículos instrumentados en trayectos previamente planeados para identificar procesos que ocurren dentro de los 200 m en el espacio; análisis de imágenes satelitales en las bandas térmicas infrarrojas, y vehículos aéreos no tripulados para el análisis mediante imágenes termográficas.

Para evaluar la sensación térmica y las condiciones de confort en espacios exteriores se emplean índices como la

temperatura fisiológicamente equivalente (Physiologically Equivalent Temperature, PET) y el *índice climático térmico universal* (Universal Thermal Climate Index, UTCI), usando software como el RayMan Pro, que calcula para invierno y verano los parámetros SVF, sombra arrojada, horas de sol y temperatura media radiante (T_{mr}), según la orientación de la calle y la *sección de vía* (Aspect Ratio, H/D) del cañón urbano. Estos modelos e indicadores han sido bastante empleados (Pearlmutter *et al.*, 2014; Giannaros *et al.*, 2015; Xiaodong *et al.*, 2015), incluso en investigaciones para Cuba (Rodríguez *et al.*, 2015; Rodríguez *et al.*, 2016). También están disponibles otros modelos libres como SkyHelios, ENVI-met y Solweig (Fröhlich y Matzarakis, 2013).

Salvati *et al.* (2016) evaluaron la precisión del *generador del tiempo urbano* (Urban Weather Generator, UWG), un modelo desarrollado para generar ficheros climáticos urbanos a partir de datos climáticos rurales con vistas a mejorar la precisión de la simulación energética de edificios en el contexto urbano. La predicción del UWG fue capaz de captar la tendencia media diaria del efecto *isla de calor* urbana, por lo que podría permitir una mejora significativa de las simulaciones energéticas en el contexto urbano, dando un archivo meteorológico más preciso con respecto a la temperatura de la estación meteorológica que usualmente se emplea.

También se han realizado simulaciones encaminadas a mejorar la resiliencia de las ciudades en diversos escenarios posibles del cambio climático. Tal es el caso del estudio realizado por Gilabert (2021) para tres escenarios potenciales:

1. Aumentando el albedo de las cubiertas a 0,85 para ciertas zonas.
2. Incrementando la vegetación en 255,64 ha adicionales.
3. Combinando las anteriores estrategias de mitigación (1 y 2).

Las técnicas de teledetección introducen un nuevo punto de vista para comprender la UHI, utilizando la *temperatura de la superficie terrestre* (Land Surface Temperature, LST) (Hu y Brunsell, 2013). Los resultados de una revisión bibliográfica realizada por Deilami *et al.* (2018) muestran que el 54 % de los estudios utilizaron imágenes Landsat; los índices de cobertura del suelo (46 %), seguidos de la clasificación supervisada (17 %) fueron los métodos dominantes para derivar los cambios de cobertura-uso del suelo; la regresión por mínimos cuadrados ordinarios es el método más aplicado (68 %) para investigar la relación entre los diferentes factores espacio-temporales y el efecto UHI, seguido del análisis comparativo (33 %); los factores más comunes que afectan al efecto UHI incluyen la cubierta vegetal (44 %), la estación del año (33 %), la superficie construida (28 %), el día y la noche (25 %), la densidad de población (14%) y las masas de agua (12 %), entre otros.

Consideraciones sobre los métodos identificados

En la Tabla 1 se resumen los métodos para la evaluación de la sustentabilidad, el ambiente térmico y el consumo de energía de soluciones urbanas y arquitectónicas, pro-

puestos en la literatura consultada con su denominación en inglés, que generalmente es la original, y la sigla que los identifica. Como se observa, predominan los enfoques múltiples y tanto el análisis de escenarios como la ponderación mediante consulta a expertos, constituyen procedimientos complementarios que se combinan con otros.

En la bibliografía consultada sobre enfoques metodológicos para evaluar las consecuencias del cambio climático

en ciudades y medidas de adaptación, no fue posible diferenciar metodologías específicas para evaluar impactos con respecto a otras usadas para el análisis costo-beneficio. Por tanto, en la investigación en curso, se diseñarán escenarios futuros para ser evaluados anterior y posteriormente a las transformaciones propuestas, con el propósito de caracterizar los impactos si estas no se aplican, y los beneficios de su implementación.

Tabla 1. Métodos de evaluación de las soluciones urbanas y arquitectónicas referidos por los autores consultados

Autor	Método				
	Sigla	Inglés	Español	Análisis de escenarios	Ponderación de expertos
Newbery (2002)			Análisis costo-beneficio		
Caputo (2019)	MIA	Metabolic Impact Assessment	Evaluación del impacto metabólico		
Alexander <i>et al.</i> (2016)	SUEWI	Sustainable Urban Energy and Water System	Sistemas urbanos sustentables de agua y energía		
Pan <i>et al.</i> (2022)	GBA	Green Building Assessment	Evaluación de edificios verdes		
Pérez (2019)			Procedimiento para la evaluación de la sustentabilidad de comunidades rurales ecoturísticas		
Kilkis (2014)	REMM	Rational Exergy Management Model	Modelo de gestión racional de la exergía		
Zhang <i>et al.</i> (2014)		Input-Output Analys	Análisis de entrada-salida		
Yu <i>et al.</i> (2021)	MSPA	Morphological Spatial Patterns Analysis	Análisis de patrones espaciales morfológicos		
Nematchoua <i>et al.</i> (2019)	LCA	Life Cycle Analysis	Análisis del ciclo de vida		
Stephan <i>et al.</i> (2014)					
Gauk (2016)					
Lin (2021)	MADM	Hybrid Multi-Attribute Decision Making	Toma de decisiones híbrida multiatributo		
			Evaluación <i>ex post</i>		
			Evaluación <i>ex ante</i>		
Buzási <i>et al.</i> (2021)			Metodología integrada <i>ex ante</i>		
Bassolino <i>et al.</i> (2021)			Sistema multicriterio		
Campana <i>et al.</i> (2017)			Modelo multiobjetivo		
Stephan <i>et al.</i> (2014)			Análisis energético del ciclo de vida		
			Marco multiescala		
Gandini <i>et al.</i> (2021)			Perspectiva holística multiescala		
			Enfoque metodológico integral multiactoral		
Mouzourides <i>et al.</i> (2019)			Análisis multiescala		
Peponi <i>et al.</i> 2022	MLP	Trained Multilayer Perception	Percepción multicapas entrenada		
Batista (2016)					
Vermeiren <i>et al.</i> (2022)					
Luo <i>et al.</i> (2021)					

Índices

Es muy común el trabajo con índices de diferentes tipos, algunos de los cuales se aplican en las metodologías mencionadas. Por ejemplo, Wua *et al.* (2021) mapean de forma automática, mediante imágenes satelitales, las tipologías relevantes de techos urbanos a partir de lo cual obtienen un índice. A su vez Luo *et al.* (2021) elaboran un sistema de indicadores de evaluación para la toma de decisiones a partir de cinco dimensiones (económica, ambiental, social, tecnológica y energética).

Para evaluar el desarrollo urbano, las acciones de renovación y la toma de decisiones Buzási *et al.* (2021) emplean índices complejos de desempeño ambiental, partiendo de más de 40 indicadores, que incluyen movilidad y proximidad a las zonas socioculturales, para definir 14 indicadores y 63 subcategorías.

Para cuantificar la integridad del ecosistema urbano contrastando las variables físicas y biológicas con valores de referencia, MacGregor-Fors *et al.* (2021) usan el índice de integridad del *ecosistema urbano* (Urban Ecosystem Integrity Index, UEII) el cual es una herramienta flexible y fácil de calcular. A su vez, como se ha mencionado, Czapich *et al.* (2022) emplean la *herramienta de indicador compuesto* (Composite Indicator Tool) o evaluación multicriterio donde no se agregan los indicadores. Estos autores reconocen que la construcción de indicadores sintéticos es un proceso complejo con cierta incertidumbre y que un método alternativo se basa en usar indicadores absolutos que se comparan con una referencia. Para ello se requiere una combinación de procesos cuantitativos y cualitativos.

También Elavarasan *et al.* (2022) aplican un *índice compuesto* (Composite Index) novedoso para evaluar el desempeño energético sustentable correspondiente al Objetivo de Desarrollo Sostenible 7 (ODS 7) en 40 ciudades europeas. El enfoque metodológico integral-multiactorial, propuesto por Gandini *et al.* (2021), genera un único índice de riesgo que se expresa en una representación gráfica 3D. Peponi *et al.* (2022) usan indicadores multidimensionales para manejar la complejidad de los procesos urbanos y mejorar su resiliencia a partir del concepto de metabolismo urbano inteligente y regenerativo, acoplando el pensamiento del ciclo de vida y el aprendizaje mecánico (machine learning) para construir una red del tipo *percepción multicapas entrenada* (Trained Multi-layer Perception, MLP).

Kilkis (2014) emplea el *índice de opción de distrito de exergía cero* (Net Zero Exergy District Option Index NOE-DOI) como concepto piloto para la primera fase del proyecto, teniendo en cuenta la carga eléctrica anual y la carga térmica. A su vez, Batista (2016) usa el índice térmico *universal* (Universal Thermal Index, UTI) para evaluar el impacto de un nuevo complejo de edificios, como resultado del proceso de redensificación, en el desempeño térmico y energético del contexto urbano en Roma. Caputo (2019) acude al índice de *eficiencia urbana* (Urban Efficiency Index, UEI) para evaluar el desempeño de un territorio de 100 × 100 m² en los alrededores de Milán: resume y evalúa la movilidad, la densidad urbana, la fragmentación, los residuos municipales no reciclados, la capacidad del ecosistema de servicio, la vulnerabilidad (social y económica) y la intensidad energética de la economía.

Bassolino *et al.* (2021) proponen el *índice de diseño climático adaptativo para el ambiente construido* (Climate Adaptive Design Index for the Built Environment, CADI-BE) con vistas a evaluar el desempeño de los espacios urbanos abiertos debido al incremento de la temperatura global y su efecto en la *isla de calor*; también define indicadores morfológicos. La metodología de evaluación a proponer en la investigación en curso no deberá perseguir la síntesis de la evaluación de diversas variables en un indicador único e integrado, que además de resultar complejo, no logra expresar la multiplicidad de problemas y soluciones. No se trata de comparar para encontrar las mejores respuestas, sino de valorar diversas posibles variantes o tipos morfológicos para proponer las transformaciones más apropiadas para la adaptación de cada uno al calentamiento global.

En la Tabla 2 se resumen los índices utilizados como referencia en la literatura consultada para evaluar las soluciones arquitectónicas y urbanas. Como se observa, son múltiples y diversos, pero lo más importante, es que han sido elaborados para su aplicación en regiones desarrolladas con climas fríos, por lo cual, sus valores deberán ser revisados para las condiciones de países tropicales y en desarrollo como Cuba (Rodríguez *et al.*, 2016). El SVF que caracteriza un parámetro de partida muy específico, es uno de los más utilizados y podrá emplearse en la investigación en desarrollo, solo que su estimación se hará por métodos tradicionales de análisis geométrico bidimensional y tridimensional, según los recursos disponibles.

Programas informáticos empleados

Estos métodos de evaluación, construcción de índices y elaboración de escenarios, generalmente usan sistemas automatizados y bases de datos a partir del empleo de numerosas y diversas aplicaciones informáticas. Por ejemplo, Nematchoua *et al.* (2019) utilizan los programas Alcyone, Comfie-Pleiades y Novoa-Equer, así como la base de datos suiza Ecoinverter 2018 para cuantificar los daños ambientales y costos de prevención generados por un barrio sustentable en un ciclo de vida de 80 años. El propio autor usa otros programas para evaluaciones específicas del *potencial de calentamiento global* (Global Warming Potential, GWP) para el efecto invernadero, *potencial de acidificación* (PA), *potencial de reducción abiótica* (ADP), *potencial de reducción eurófica* (Europhic Diminish Potential, ADP), *potencial de reducción de ozono* (Ozone Diminish Potential, ODP), *Años de vida ajustados por discapacidad* (Disability Adjusted Life Years, DALY) y *valor del umbral del olor* (Odour Threshold Value, OTV) para estos parámetros.

Vermeiren *et al.* (2022) emplean el método *modelo de uso geodinámico del suelo* (GeoDynamix Land Use Model) que simula el futuro uso del suelo a partir de una matriz de tipos urbanos. A su vez, el SVFEngine combina la modelación morfológica y las técnicas de geometría computacional para obtener el *factor de visión del cielo* (Liang *et al.*, 2017). En las condiciones de Cuba será difícil aspirar al empleo de software y herramientas de alta tecnología como imágenes satelitales, por tanto, los métodos de evaluación a emplear en las siguientes etapas de la investigación se adecuarán a las posibilidades reales en cuanto a equipos de medición y software disponibles.

Tabla 2. Índices de referencia para evaluar las soluciones urbanas y arquitectónicas empleados por los autores consultados

Autor	Índices		
	Sigla	Inglés	Español
Dos Santos <i>et al.</i> (2017)	ISEW	Index of Sustainable Economic Wellbeing	Índice de bienestar económico sustentable
Caputo (2019)	UEI	Urban Efficiency Index	Índice de eficiencia urbana
Kilkis (2014)	NOEDOI	Net Zero Exergy District Option Index	Índice de opción de distrito de exergía cero
Buzási <i>et al.</i> (2021)			Índice complejo de desempeño ambiental
Czupich <i>et al.</i> (2022)		Composite Indicator Tool	Herramienta del indicador compuesto
Bassolino <i>et al.</i> (2021)		Sky View Factor	Factor de visión del cielo
		Climate Adaptative Design Index for the Built Environment	Índice de diseño climático adaptativo para el ambiente construido
			Indicadores morfológicos
Gandini <i>et al.</i> (2021)			Único índice de riesgo
MacGregor-Fors <i>et al.</i> (2021)	UEII	Urban Ecosystem Integrity Index	Índice de integridad del ecosistema urbano
Elavarasan <i>et al.</i> (2022)		Composite Index	Índice compuesto
Peponi <i>et al.</i> (2022)			Indicadores multidimensionales
Batista (2016)	UTI	Universal Thermal Index	Índice térmico universal
Vermeiren <i>et al.</i> (2022)		Geodynamic Land Use Model	Modelo de uso geodinámico del suelo
Liang <i>et al.</i> (2017)	SVF	Sky View Factor	Ángulo de visión del cielo
Tan <i>et al.</i> (2016)			
Matzarakis (2007)	PET	Physiologically equivalent temperature	Temperatura fisiológicamente equivalente

Clasificación de tipos urbanos

En muchos de los métodos e indicadores identificados se emplean diversas formas de clasificación de tipos urbanos, ya que la arquitectura y el urbanismo constituyen el objeto de estudio evaluado. Por ejemplo, Vermeiren *et al.* (2022) usan una matriz de tipos urbanos clasificados según su densidad, mientras que Gauk (2016) propone escenarios para el análisis energético del ciclo de vida de planes urbanos a partir de la compacidad o dispersión del desarrollo y la eficiencia energética. Mouzourides *et al.* (2019), mediante un análisis multiescala, establecen un vínculo entre las características de la forma urbana y la densidad con la demanda energética por calefacción y enfriamiento.

Hachem-Vermette *et al.* (2022) proponen 12 tipos de agrupaciones de edificios (building clusters), con diferentes densidades, para reflexionar sobre las prácticas en Norteamérica y como base para una metodología en aras

de explorar las combinaciones más cercanas a lo óptimo en cuanto al uso de energías renovables y recursos alternativos. Para evaluar la capacidad adaptativa de los espacios exteriores urbanos, Bassolino *et al.* (2021) comienzan por la parametrización de sus características físicas y morfológicas con respecto al confort ambiental.

El *factor de visión del cielo* constituye una vía de clasificación morfológica que se puede realizar de forma automatizada mediante el SVFEngine (Liang, *et al.*, 2017). Alexander *et al.* (2016) reemplazan la documentación de las LCZ por caracterizaciones más detalladas, con lo cual se mejora el desempeño del modelo. Palusci *et al.* (2022) reconocen una tendencia a densificar el tejido urbano en las últimas décadas y elaboran clasificaciones morfológicas para evaluar el comportamiento de la vegetación que contribuye a mitigar los efectos negativos.

Gandini *et al.* (2021) clasifican las tipologías según los resultados de la evaluación de la vulnerabilidad a partir

de un único índice de riesgo. Mobaraki *et al.* (2022) reconocen la relación recíproca entre la morfología y la forma urbana sustentable mediante un modelo conceptual que toma la teoría cualitativa como metodología para establecer la tipo-morfología y el concepto de escala jerárquica. Estos autores afirman que cada simple componente de la forma urbana sustentable interactúa significativamente con el enfoque tipo-morfológico y elaboran un análisis geométrico de la morfología urbana desde el punto de vista de la sustentabilidad.

La clasificación de tipos urbanos constituirá un importante resultado de la investigación en curso a partir de las variables que condicionan el impacto del calentamiento global en el microclima urbano, el bienestar de las personas y el consumo de energía en las edificaciones, así como las posibles vías de mitigación y adaptación.

IV. Conclusiones

A partir de la investigación teórica realizada, los métodos de evaluación de los problemas y potencialidades que presentan las morfologías urbanas para adaptarse al calentamiento global que se aplicarán en la investigación en curso, se ajustarán a la información y las tecnologías disponibles en Cuba.

La clasificación de las morfologías urbanas existentes en las ciudades cubanas y la selección de las que serán objeto de estudio en las siguientes etapas de la investigación, se realizará a partir de criterios adecuados a las particularidades locales (económicas, sociales y ambientales) según una evaluación cualitativa preliminar de zonas homogéneas, con el propósito de alcanzar el monitoreo y simulación de su desempeño real.

El monitoreo del desempeño térmico de las morfologías objeto de estudio servirá como información de partida para simular su comportamiento anterior y posterior en diversos escenarios, todo ello con el propósito de realizar un análisis costo-beneficio de las transformaciones propuestas, lo que permitirá alcanzar una mejor adaptación al calentamiento global de cada morfología urbana identificada.

La metodología a emplear para evaluar las morfologías urbanas en las siguientes etapas de la investigación no empleará un único indicador de referencia integrado, lo cual resulta complejo e innecesario, ya que no se trata de comparar tipos con el propósito de identificar el mejor, sino de evaluar para diversos escenarios los beneficios en función de los costos de las transformaciones específicas a realizar en cada uno, según sus particularidades, para una mejor adaptación al calentamiento global.

V. Referencias bibliográficas

- Alexander, P. J., Bechtel, B., Chow, W. T. L., Fealy, R. y Mills, G. (2016). Linking urban climate classification with an urban energy and water budget model: Multi-site and multi-seasonal evaluation. *Urban Climate* 17 (2016) 196–215. <http://dx.doi.org/10.1016/j.uclim.2016.08.003>
- Bassolino, E. y Cerreta, M. (2021). Climate Adaptive Design Index for the Built Environment (CADI-BE): An Assessment System of the Adaptive Capacity to Urban Temperatures Increase. *Energies* 2021, 14, 4630. <https://doi.org/10.3390/en14154630>
- Batista, R. J. R., Goncalves, F., Portofrío da oxha, R. (2016). *Present Climate and future projections of the thermal comfort index for the metropolitan region of Sao Paulo, Brazil*. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1690-5>
- Bregiatto de Oliveira, P. dos S., Astigarraga, R., Borelli, G., Saiz, P. J. y Nader, G. (2015). Consequences of verticalization. Proceedings of the 31st International Conference on Passive and Low Energy Architecture (PLEA 2015). Bologna, Italia. <http://plea-arch.org/plea-proceedings/>
- Buzási, A., Pálölgyi, T. y Csete, M. S. (2021). Assessment of climate change performance of urban development projects – Case of Budapest, Hungary. *Cities* 114 (2021) 103215. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103215>
- Campana, P. E., Quan, S. J., Robbio, F. I., Lundblad, A., Zhang, Y., Ma, T., Karlsson, B y Yan, J. (2017). Optimization of a residential district with special consideration on energy and water reliability. *Applied Energy* 194 (2017) 751–764. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.10.005>
- Caputo, P., Pasetti, G. y Ferrari, S. (2019). Implementation of an urban efficiency index to comprehend post-metropolitan territories—The case of Greater Milan in Italy. *Sustainable Cities and Society* 48 (2019) 101565. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101565>
- Czupich, M., Łapinska, J. y Bartos, V. (2022). Environmental Sustainability Assessment of the European Union's Capital Cities. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2022, 19,4327. <https://doi.org/10.3390/ijerph19074327>
- Deilami, K., Kamruzzaman y Liu, Y. (2018). Urban heat island effect: A systematic review of spatio-temporal factors, data, methods, and mitigation measures. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 67, 30. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.12.009>
- Dos Santos Gaspara, J., Cardoso Marquesb, A, y Fuinhas, J. A. (2017). The traditional energy-growth nexus: A comparison between sustainable development and economic growth approaches. *Ecological Indicators* 75 (2017) 286–296. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.12.048>
- Elavarasan, R. M., Pugazhendhi, R., Irfan, M., Mihet-Popa, L., Campana, P. E. y Khan, I. A. (2022). A novel Sustainable Development Goal 7 composite index as the paradigm or energy sustainability assessment: A case study from Europe. *Applied Energy* 307 (2022) 118173. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118173>
- Fröhlich, D. y Matzarakis, A. (2013). Modeling of changes in thermal bioclimate: examples based on urban spaces in Freiburg, Germany. *Theor Appl Climatol* (2013) 111:547–558. <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0678-y>
- Gandini, A., Quesada, L., Prieto, I. y Garmendia, L. (2021). Climate change risk assessment: A holistic multi-stakeholder methodology for the sustainable development of cities. *Sustainable Cities and Society* 65 (2021) 102641. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102641>
- Gauk, M. y Roose. A. (2016). Assessing the energy intensity of peri-urbanisation: A master plan approach. *Energy and Buildings* 128 (2016) 540–552. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.07.003>
- Giannaros, T. M., Melas, D. y Matzarakis, A. (2015). Evaluation of thermal bioclimate based on observational data and numerical simulations: an application to Greece. *Int J Biometeorol*, (59),151–164. <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0832-6>

- Gilbert Mestre, J. (2021). *Cubiertas urbanas y comportamiento térmico en escenarios de temperaturas extremas del dato al geoservicio* [Tesis doctoral]. Universidad de Barcelona. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=304379>
- Hachem-Vermettea, C. y Singh, K. (2022). Optimization of the mixture of building types in a neighbourhood and their energy and environmental performance. *Energy&Buildings* 204(2019) 109499. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109499>
- Hu, L. y Brunsell, N.A. (2013). The impact of temporal aggregation of land surface temperature data for surface urban heat island (SUHI) monitoring. *Remote Sensing of Environment* 134 (2013) 162–174. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2013.02.022>
- Kilkis, S. (2014). Energy system analysis of a pilot net-zero exergy district. *Energy Conversion and Management* 87 (2014) 1077–1092. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2014.05.014>
- Liang, J. Gongga, J., Sun, J. and Liu, J. (2017). A customizable framework for computing sky view factor from large-scale 3D city models. *Energy and Buildings* 149 (2017) 38–44. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.05.024>
- Lin, S. H., Huang, X., Fu, G., Chen, J. T., Zhao, X., Li, J. H. y Tzeng, G. H. (2021). Evaluating the sustainability of urban renewal projects based on a model of hybrid multiple-attribute decision-making. *Land Use Policy* 108 (2021) 105570. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105570>
- Luo, C., Ju, Y., Giannakis, M., Dong, P. y Wang, A. (2021). A novel methodology to select sustainable municipal solid waste management scenarios from three-way decisions perspective. *Journal of Cleaner Production* 280 (2021) 124312. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124312>
- MacGregor-Fors, I., Falfán, I., García-Arroyo, M., Lemoine-Rodríguez, R., Gómez-Martínez, M. A., Marín-Gómez, O. H., Pérez-Maqueo, O. y Equihua, M. (2021). A Novel Approach for the Assessment of Cities through Ecosystem Integrity. *Land* 2022, 11, 3. <https://doi.org/10.3390/land11010003>
- Martilli, A., Krayenhoff, E. S., y Nazarian, N. (2020). Is the Urban Heat Island intensity relevant for heat mitigation studies? *Urban Climate*, 31, 100541. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100541>
- Mobaraki, A. y Oktay Vehbi, B. A. (2022). Conceptual Model for Assessing the Relationship between Urban Morphology and Sustainable Urban Form. *Sustainability* 2022, 14, 2884. <https://doi.org/10.3390/su14052884>
- Mouzourides, P., Kyprianou, A., Neophytou, M. K. A., Ching, J. y Choudhary, R. (2019). Linking the urban-scale building energy demands with city breathability and urban form characteristics. *Sustainable Cities and Society* 49 (2019) 101460. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101460>
- Nematchoua, M. K. y Reiter, S. (2019). Analysis, reduction and comparison of the life cycle environmental costs of an eco-neighborhood in Belgium. *Sustainable Cities and Society* 48 (2019) 101558. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101558>
- Newbery, D. M. (2002). Spatial General Equilibrium and Cost-Benefit Analysis. *Cost-Benefit Analysis: Environmental and Ecological Perspective*. London and New York: Routledge Taylor and Francis Group.
- Palusci, O. y Cecere, C. (2022). Urban Ventilation in the Compact City: A Critical Review and a Multidisciplinary Methodology for Improving Sustainability and Resilience in Urban Areas. *Sustainability* 2022, 14, 3948. <https://doi.org/10.3390/su14073948>
- Pan, W., Yu, C. y Du, J. (2022). A dialectical system framework for green building assessment in high-density cities. *Environmental Impact Assessment Review* 97 (2022) 106860. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106860>
- Pearlmutter, D., Jiao, D. y Garb, Y. (2014). The relationship between bioclimatic thermal stress and subjective thermal sensation in pedestrian spaces. *Int J Biometeorol* (58), 2111–2127. <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0812-x>
- Peponi, A., Morgado, P. y Kumble, P. (2022). Life cycle thinking and machine learning for urban metabolism assessment and prediction. *Sustainable Cities and Society* 80 (2022) 103754. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103754>
- Pérez Rosales, R. A. (2019). *Procedimiento para evaluar la sostenibilidad de destinos ecoturísticos vinculados a comunidades rurales. Caso de estudio: Hotel Moka, Comunidad Las Terrazas* [sin publicar]. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae), La Habana.
- Renganathan, G. y Rohinton, E. (2018). The impact of urban compactness, comfort strategies and energy consumption on tropical urban heat island intensity: a review. *Sustainable Cities and Society* 937. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.01.024>
- Rodríguez, J., Coch, H., De la Paz, G., Yeras, M. y Matzarakis, A. (2015). Human thermal comfort conditions and urban planning in hot-humid climates - The case of Cuba. *International Journal of Biometeorology*, 59(12), 1-14. <https://doi.org/10.1007/s00484-015-1109-4>
- Rodríguez Algeciras, J. A., Gómez Consuegra, L. y Matzarakis, A. (2016). Spatial-temporal study on the effects of urban street configurations on human thermal comfort in the world heritage city of Camagüey-Cuba. *Building and Environment* 101 (2016) 85e101. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.02.026>
- Salvati, A., Coch Roura, H. y Cecere, C. (2016). Urban heat island prediction in the mediterranean context: an evaluation of the urban weather generator model. *ACE: Architecture, City and Environment*, 11 (32): 135-156, 2016. <https://doi.org/10.5821/ace.11.32.4836>.
- Segovia A. y Morillón, D. (2022). *Análisis de la isla de calor urbana: Nuevos métodos y tecnologías*. Instituto de Ingeniería UNAM. <http://www.ii.unam.mx/es-mx/Investigacion/Proyecto/Paginas/analisis-isla-calor-urbana.aspx>
- Stephan, A. y Stephan, L. (2014). Reducing the total life cycle energy demand of recent residential buildings in Lebanon. *Energy* 74 (2014) 618e637. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.07.028>
- Tan, Z., Ka-Lun Lau, K. y Nga, E. (2016). Urban tree design approaches for mitigating daytime urban heat island effects in a high-density urban environment. *Energy and Buildings*, (114), 265–274. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.031>.
- Vermeiren, K. Crols, T., Uljee, I., De Nocker, L. Beckx, C., Pisman, A., Broekx, S. y Poelmans, L. (2022). Modelling urban sprawl and assessing its costs in the planning process: A case study in Flanders, Belgium. *Land Use Policy* 113 (2022) 105902. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105902>

- Wua, A. N. y Biljecki, F. (2021). Roofpedia: Automatic mapping of green and solar roofs for an open roofscape registry and evaluation of urban sustainability. *Landscape and Urban Planning* 214 (2021) 104167. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104167>
- Xiaodong, He *et al.* (2015). Influence of sky view factor on outdoor thermal environment and physiological equivalent temperature. *Int J Biometeorol*, (59), 285–297. <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0841-5>
- Yu, Z., Zhang, J., Yang, G. y Schlaberg, J. (2021). New Method from the Graph Perspective for Evaluating and Mitigating Regional Surface Heat Islands. *Remote Sens.* 2021, 13, 1127. <https://doi.org/10.3390/rs13061127>
- Zhang, Y., Zheng, H. y Fath, B. D. (2014). Analysis of the energy metabolism of urban socioeconomic sectors and the asso-

ciated carbon footprints: Model development and a case study for Beijing. *Energy Policy* 73 (2014) 540–551. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2014.04.029>

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribución de los autores: Dania González Couret, conceptualización, curación de datos, investigación, metodología, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición; Guillermo Antonio de la Paz Pérez, investigación, redacción-borrador original; Natalí Collado Baldoquín y Luis Alberto Rueda Guzmán, investigación.

Recibido: 2 de diciembre de 2022

Aceptado: 4 de diciembre de 2023

TECNOLOGÍAS COMPLEMENTARIAS A LA ENERGÍA SOLAR (I): BATERÍAS RECARGABLES

Por Dr. C. **Arnaldo González Arias***

* Facultad de Física, Universidad de La Habana, Cuba.
<https://orcid.org/0000-0003-3530-1156>
E-mail: arnaldo@fisica.uh.cu, agonzalezarias@gmail.com

Resumen

Las baterías de ion-litio (también Li-ion) son ligeras, poseen una elevada capacidad energética, resistencia a la descarga y pueden llevar a cabo un elevado número de ciclos de carga-descarga. Estas propiedades han permitido diseñar acumuladores ligeros, de pequeño tamaño, variadas formas y con un alto rendimiento. En la actualidad se trabaja en la búsqueda de diferentes formas de almacenar cantidades importantes de la energía proveniente de las fuentes alternativas. Un método promisorio es usar las *baterías de flujo redox* que proporcionan algunas ventajas sobre las baterías de litio.

Palabras clave: energía solar, baterías, ion-litio, flujo redox.

COMPLEMENTARY TECHNOLOGIES TO SOLAR ENERGY (I): RECHARGEABLE BATTERIES

Abstract

Lithium-ion (also Li-ion) batteries are lightweight, have a high energy capacity, discharge resistance and can carry out a high number of charge-discharge cycles. These properties have made it possible to design lightweight, small, versatile and high-performance accumulators. Research is currently underway to find different ways of storing significant amounts of energy from alternative sources. One promising method is to use redox flow batteries which provide some advantages over lithium batteries.

Keywords: solar energy, batteries, ion-litio, redox flow.

I. Introducción

El estudio pretende resumir, de forma breve y accesible al lector, el estado actual de las investigaciones acerca de las baterías recargables de litio —y otras similares— usadas en la actualidad como complemento indispensable de las fuentes alternativas de energía.

Unido a la diseminación del uso de la energía solar y otras fuentes renovables, existe un gran desarrollo de las investigaciones sobre cómo almacenar la energía proporcionada por esas fuentes de forma eficaz para garantizar la estabilidad del suministro energético. La energía alma-

cenada en los momentos de menor demanda y mayor eficiencia será recuperada más adelante cuando sea necesario, durante la máxima demanda o cuando la eficiencia de la generación disminuya (por ejemplo, en un parque solar en un día nublado o un parque eólico en un día de poco viento). Otro aplicación de estas baterías, muy investigada en el presente, es su uso como fuente de energía para vehículos eléctricos no contaminantes (Reuters, 2022; Scada International, 2022).

Hoy día, las baterías de ion-litio (también Li-ion) son las más usadas para almacenar energía. Son ligeras, poseen

una elevada capacidad energética y resistencia a la descarga y pueden llevar a cabo un elevado número de ciclos de carga-descarga. Estas propiedades han permitido diseñar acumuladores ligeros, de pequeño tamaño, variadas formas y con un alto rendimiento.

Desde la comercialización del primer acumulador, basado en la tecnología de ion-litio, a principios de la década de los 90, el uso de estas baterías se ha extendido en todo el mundo. En los últimos años las baterías de litio han pasado a ser un componente esencial en ordenadores portátiles y teléfonos móviles (su más importante aplicación en la actualidad) así como una fuente significativa de energía para vehículos eléctricos que no producen gases contaminantes (ICL, 2023; Moreno *et. al.*, 2020; Nissan, 2022).

La necesidad de almacenar cantidades importantes de la energía proveniente de las fuentes alternativas ha dado lugar a la búsqueda de métodos, como es el uso de las *baterías de flujo redox*, que proporcionan algunas ventajas sobre las baterías de litio.

II. Desarrollo y discusión

Sin lugar a dudas, las pilas o baterías más usadas en la actualidad para almacenar energía son las baterías sólidas de ion-litio, o simplemente «baterías de litio». Usan como electrolito una sal de litio que proporciona los iones necesarios para que tenga lugar una reacción química reversible entre el cátodo y el ánodo de la batería. Esta reversibilidad es la que permite múltiples cargas y descargas de la batería al ser conectadas a una fuente externa de energía. En la Figura 1 se muestra el esquema de una batería de litio durante la descarga, y en la Figura 2 aparece, en mayor detalle, el proceso químico que tiene lugar durante los procesos de carga y descarga (Mártel, 2019).

La capacidad del litio para almacenar la energía proveniente de fuentes renovables, la larga vida de sus baterías con posibilidad de múltiples recargas, así como su contribución a la reducción de las emisiones de gases contaminantes generados por los vehículos de combustión interna, hace que muchos consideren que el litio se ha convertido en el material estratégico del siglo XXI (Figura 3).

Las mayores reservas mundiales de litio se encuentran en Chile (8 600 000 toneladas), seguido de Australia (2 800 000) y Argentina (1 700 000). China, Singapur, Indonesia y Japón son los principales productores y exportadores de baterías a nivel mundial.

En cuanto a Latinoamérica, cabe destacar que los tres países sudamericanos que poseen grandes cantidades de litio: Bolivia, Chile y Argentina, forman el llamado «triángulo del litio», una región que al parecer concentra la mayor acumulación de este recurso, calculada entre el 50 % y el 85 % del total mundial disponible (Catalán, 2020). En fecha reciente se han descubierto grandes yacimientos de litio en México, aunque a principios de 2023 su importancia estaba aún por determinar. Países como México y Bolivia, adelantándose a los hechos y como protección a su patrimonio nacional, ya han nacionalizado sus yacimientos de litio (Gutiérrez, 2023).

La importancia de la producción de litio se puede percibir, por ejemplo, a partir de que el Reino Unido anunció en 2020 que a inicios del 2030 quedará prohibida la venta de automóviles que funcionan con gasolina y diésel. La venta se restringirá sólo a vehículos híbridos hasta 2035 y después solo se comercializarán vehículos que sean 100 % eléctricos. En California, EE.UU., uno de los principales compradores de autos eléctricos en el mundo, se ha promovido una ley similar para iniciar la sustitución de vehículos de combustión a vehículos 100 % eléctricos hacia el 2035.

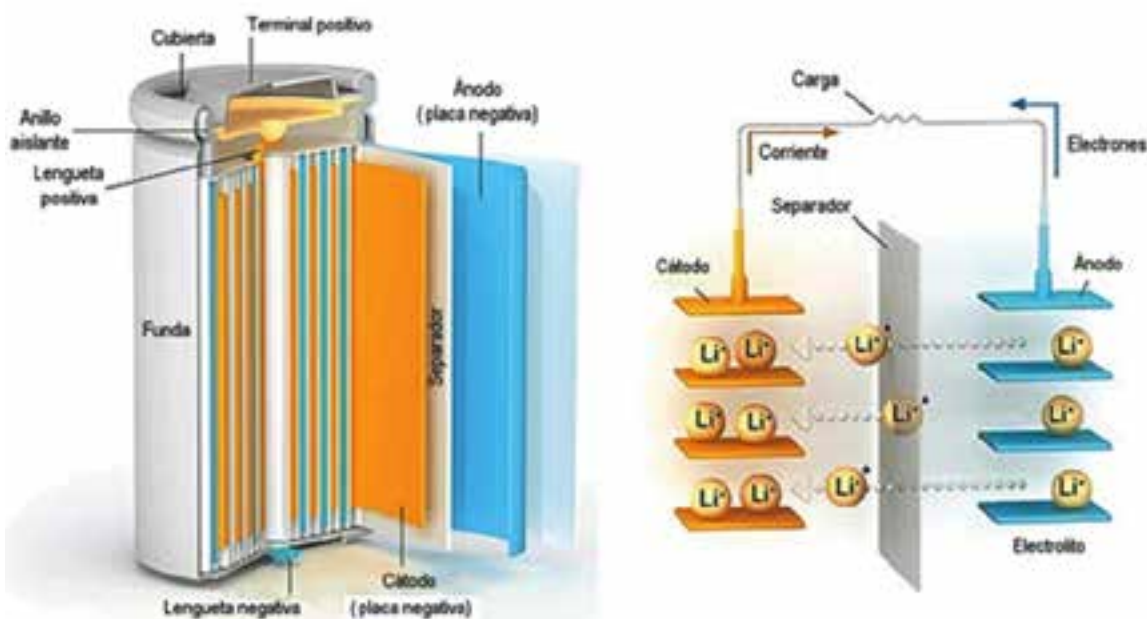


Fig. 1. Esquema de una batería de litio contemporánea durante el proceso de descarga. En la actualidad las baterías se fabrican de diferentes tamaños y geometrías.

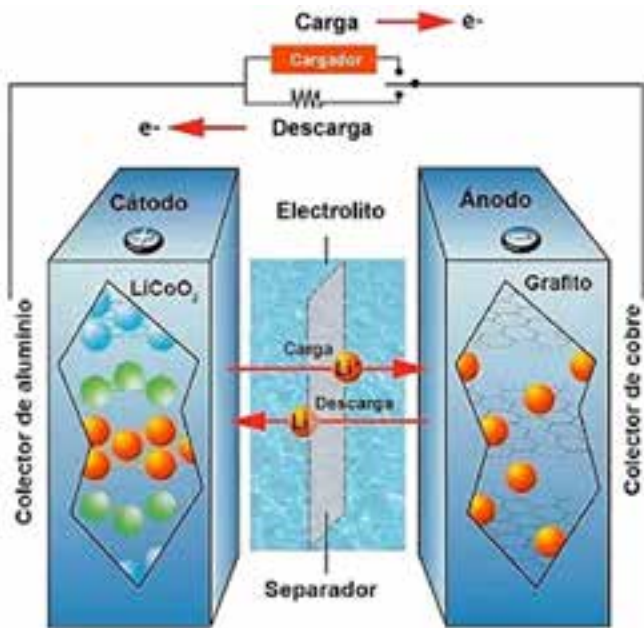


Fig. 2. Funcionamiento de una batería de litio. El electrolito está formado por una mezcla de carbonato de etileno y hexafluorofosfato de litio. Note que el sentido convencional de la corriente es contrario al movimiento de los electrones (e⁻).

a través de dos secciones independientes, separadas por una membrana que solo permite el paso de los iones. Mientras ambos líquidos recorren sus respectivos circuitos sin intercambiarse, el tránsito iónico da lugar a la aparición de una corriente eléctrica en el circuito externo (Figura 4).

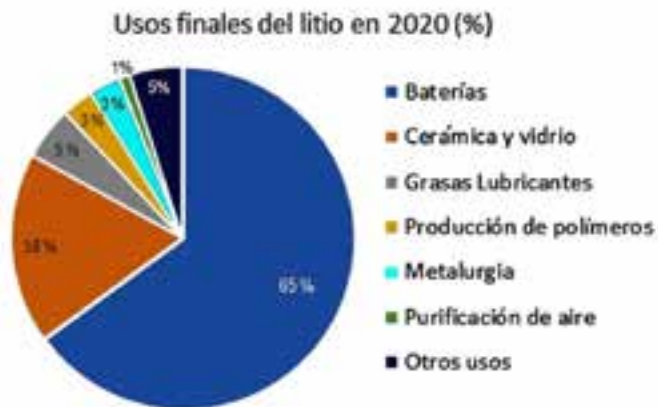


Fig. 3. Estimado de las aplicaciones del litio en 2020 (Catalán, 2020).

En realidad, existen diversos tipos de baterías de litio. Además de las convencionales de ion-litio se encuentran, entre otras, las de litio-aire, litio-sulfuro, litio-polímero, litio-silicio y litio-fosfato de hierro (para vehículos eléctricos), cada una con sus características particulares, ventajas y desventajas.

Por ejemplo, las baterías de litio-polímero se diferencian de las ordinarias en que el electrolito litio-sal no está contenido en un solvente orgánico, sino en un compuesto polimérico sólido como el óxido de polietileno o poliacrilonitrilo. Tienen menor costo de fabricación y se adaptan a una amplia variedad de formas de empaquetado, confiabilidad y resistencia. Las de litio-hierro fosfato (LiFePO₄) son mucho más baratas de producir. Las de litio-fosfato de hierro, tipo olivino, para vehículos eléctricos, pueden durar unos 10 años si se cargan una vez al día. Además se cargan muy rápido, solo dos horas para alcanzar el 95 % de su capacidad.

Baterías de flujo redox

En la actualidad se trabaja en la búsqueda de diferentes formas de almacenar cantidades importantes de la energía proveniente de las fuentes alternativas. Un método prometedor es el uso de las *baterías de flujo redox* que proporcionan algunas ventajas sobre las baterías de litio (Feng y Qing, 2015; Tolmachev, 2022; Xu et al., 2018).

A diferencia de las baterías de litio, que funcionan en fase sólida o semisólida, una batería de flujo redox es una celda electroquímica donde se obtiene energía a partir de la reacción de dos compuestos químicos disueltos en un líquido adecuado; el líquido se bombea

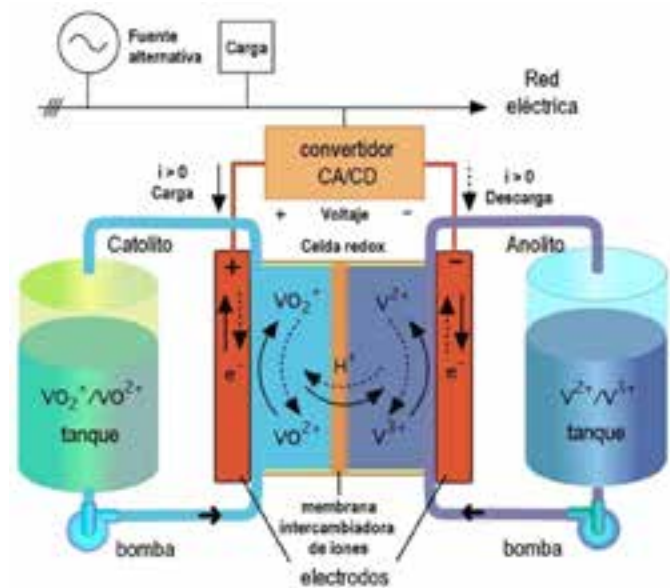


Fig. 4. Esquema de una batería de flujo redox donde se lleva a cabo una reacción química del tipo oxidación-reducción y se genera corriente eléctrica. El proceso es totalmente reversible, por lo que se puede usar para almacenar energía eléctrica. Anolito: líquido portador + electrolito anódico; Catolito: líquido portador + electrolito catódico.

En el caso particular de la Figura 4, el electrolito está formado por agua, vanadio y óxidos de vanadio, y en la membrana tienen lugar las siguientes reacciones:



Durante la carga la reacción se desplaza a la derecha y durante la descarga en sentido contrario. La Figura 5 muestra un esquema más detallado de la geometría de los electrodos y la membrana.

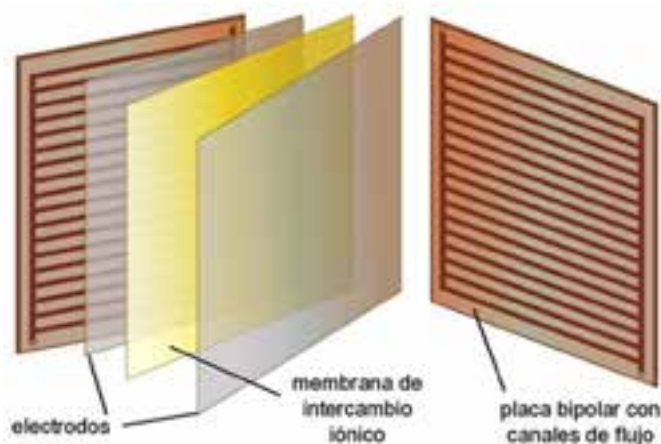


Fig. 5. Esquema de la disposición geométrica de los electrodos y la membrana de intercambio iónico en la batería de la Figura 4.

Existen no menos de 20 tipos de baterías redox. Esto da una idea de la intensidad de las investigaciones que se realizan en todo el mundo (Solicitud de patente, 2022). Por el momento estas baterías poseen una eficiencia energética menor que las de ion-litio, aunque poseen algunas ventajas. Tomando como referencia las baterías de litio, sus principales desventajas son:

- Baja densidad de energía, por lo que se necesitan grandes tanques de electrolito para almacenar cantidades útiles de energía.
- Velocidad lenta de carga y descarga, por lo que requieren de electrodos y separadores de membrana de gran tamaño para poder trabajar con eficiencia, lo que incrementa su costo.
- Para reducir los efectos de autodescarga interna y reducir los costos, deben operar con mayor densidad de corriente, por lo que su eficiencia energética es menor.

Sin embargo, poseen ventajas que las hacen más adecuadas para determinadas aplicaciones:

- El uso de depósitos individuales para los electrolitos permite optimizar la relación de parámetros como costo y peso de forma independiente para cada aplicación.
- Poseen ciclos de vida y de recarga más largos ya que no existen las transiciones de fase sólida que causan la degradación de las baterías de ion-litio y similares.
- Poseen tiempos de respuesta más cortos.
- No hay necesidad de la llamada «carga de igualación», es decir, sobrecargar la batería para asegurarse de que todas las celdas alcancen igual carga.
- No hay emisiones dañinas ni peligro de incendio.
- Cuando no trabajan no se descargan o la descarga es mínima. La descarga de las baterías de litio sin conexión es entre el 5 % y el 6 % mensual.

- Los materiales electroactivos de estas baterías se pueden reciclar totalmente.

Algunos tipos permiten determinar la cantidad de carga presente por la simple medición del voltaje, requieren muy poco mantenimiento y son tolerantes ante las descargas y sobrecargas. Además, son seguras porque no contienen electrolitos inflamables y porque estos se pueden almacenar aparte de la sección que genera energía. Todo lo anterior hace que estas baterías sean muy adecuadas para el almacenamiento de energía a gran escala, de ahí el gran interés en las investigaciones.

Por lo general, el uso de baterías de flujo se considera, en el caso de grandes aplicaciones estacionarias (1-10 megawatt-hora) con ciclos de carga y descarga de muchas horas. No son eficientes para ciclos cortos de carga-descarga. Algunos ejemplos de aplicaciones son:

- Balance de carga: la batería se une a una red eléctrica convencional o renovable para almacenar la energía en exceso, durante las horas de mayor eficiencia, y liberarla en los horarios pico.
- Atenuación de los picos coyunturales de demanda en la red.
- Continuidad del servicio cuando la fuente principal no logra mantener un servicio ininterrumpido.
- En sistemas de energía que se abastecen a sí mismos, como las estaciones base de teléfonos móviles donde no hay red eléctrica accesible, al unir la batería a una fuente de celdas solares o de energía eólica, se podrán compensar los niveles de potencia fluctuante y proporcionar al cliente un servicio estable.
- Como las baterías de flujo se recargan rápidamente (basta con cambiar el electrolito) se pueden usar en los casos que el vehículo necesita una recarga muy rápida.
- Conversión de potencia: en una batería de flujo el voltaje es proporcional al número de celdas utilizado. De aquí que cambiando la cantidad de celdas es posible usar la batería como un convertidor de corriente continua (CC) e incluso de corriente alterna (CA), turnando el número de celdas de entrada y salida de forma continua mediante un conmutador (*switch*). De esa forma se puede lograr la conversión de potencia CC-CA y a la inversa, e incluso la conversión CA-CA. La frecuencia está limitada por el conmutador utilizado.

III. Conclusiones

Las baterías de ion-litio son las más usadas mundialmente. En la actualidad se trabaja intensamente en el desarrollo de las baterías de flujo redox que poseen ventajas y desventajas en comparación con las anteriores. Mientras que las baterías de flujo redox poseen menor densidad de energía, una velocidad menor de carga-descarga y requieren del uso de membranas intercambiadoras de gran tamaño para ser eficientes, tienen como ventaja ciclos de vida y de recarga más largos, pues no presentan las transiciones de fase sólida que causan la degradación de las baterías de ion-litio. Además, su tiempo de respuesta es

más corto, son reciclables, no generan emisiones dañinas y no ocasionan peligro de incendio. La descarga cuando no trabajan es mínima; mientras que una batería de litio, sin conexión, se descarga entre el 5 % y el 6 % al mes.

IV. Referencias bibliográficas

- Catalán Salgado, E. (2020). Asociación Mexicana de Estudios Internacionales. *Foreign Affairs Latinoamérica*. El litio como recurso estratégico del siglo XXI. <https://revistafal.com/el-litio-como-recurso-estrategico-del-siglo-xxi/>. Consultado enero de 2023.
- Feng Pan and Qing Wang, (2015). Redox Species of Redox Flow Batteries: A Review. *Molecules*. Nov; 20(11): 20499–20517. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6332057/>, consultado febrero 2023.
- Gutiérrez, D. (2023). *Híbridos eléctricos. México nacionaliza su litio, material estratégico para los coches eléctricos*. https://www.hibridosyelectricos.com/coches/mexico-nacionaliza-reservas-litio-material-estrategico-coches-electricos_68440_102.html. Consultado febrero 2023.
- ICL (2023). *Top Energy Trends to Watch Closely in 2023*. <https://www.icl-group.com/blog/renewable-energy-trends-solutions-2023/>. Consultado enero 2023.
- Mártel, I. (2019). Funcionamiento de una batería de ion-litio. *Material Eléctrico. WEB aulapro*. <https://material-electrico.cdecomunicacion.es/opinion/ignacio-martil/2019/02/21/funcionamiento-de-una-bateria-de-ion-litio-pros-y-contras>. Consultado febrero 2023.
- Moreno Constante, A., Beltrán Ruiz, J. y Borja Soto, D. (2020). Automóviles Impulsados por Energía Solar: Una Revisión. *Inv. Tecnológica IST Central Técnico*, Vol 2. No. 2, http://www.investigacionistct.ec/ojs/index.php/investigacion_tecnologica/article/view/87. Consultado febrero 2023.
- Nissan (2022). *How Do Electric Cars Work? | Nissan USA*. <https://www.nissanusa.com/experience-nissan/news-and-events/how-do-electric-cars-work.html>. Consultado febrero de 2023.
- Reuters (2022). *Paid for and posted by Shell Energy*. 3 renewable energy trends for 2023 and beyond, <https://www.reuters.com/article/sponsored/shell-energy-renewable-energy-trends-2023>. Consultado enero 2023.
- Scada international (2022). *Green future: 4 renewable energy trends to watch*, <https://scada-international.com/2022/10/07/green-future-4-renewable-energy-trends-to-watch/>. Consultado enero de 2023.
- Solicitud de Patente P202230676 (22 de noviembre de 2022). Un compuesto orgánico prometedor para baterías de flujo redox. *Innoget. Universidad de Burgos*. <https://www.innoget.com/technology-offers/9520/un-compuesto-organico-prometedor-para-baterias-de-flujo-redox>. Consultado enero de 2023.
- Tolmachev, Y. (2022). Flow batteries from 1879 to 2022 and beyond. *Journal of Electrochemical Science and Engineering*, Tolmachev, Yuriy. https://www.researchgate.net/publication/362405724_Flow_batteries_from_1879_to_2022_and_beyond. Consultado febrero 2023.
- Xu, Q., Ji, Y.N., Qin, L.Y., Leung, P.K., Qiao, F., Li, Y.S. y Su, H.N. (2018). Evaluation of redox flow batteries goes beyond round-trip efficiency: A technical review. *Journal of Energy Storage*. 16: 108–116. <https://doi.org/10.1016/j.est.2018.01.005>. Consultado enero de 2023.

Conflicto de intereses: El autor declara que no existe conflicto de intereses.

Contribución del autor: Investigación, conceptualización, metodología, supervisión, redacción-borrador original y redacción-revisión.

Recibido: 10 de febrero de 2023

Aprobado: 25 de febrero de 2023

TECNOLOGÍAS COMPLEMENTARIAS A LA ENERGÍA SOLAR (II): REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES

Por Dr. C. Arnaldo González Arias*

* Facultad de Física, Universidad de La Habana, Cuba.
<https://orcid.org/0000-0003-3530-1156>
E-mail: arnaldo@fisica.uh.cu, agonzalezarias@gmail.com

Resumen

Las redes inteligentes difieren de las redes eléctricas convencionales en que permiten el flujo de energía e información en dos sentidos: de la fuente al consumidor y en sentido contrario. Entre otros beneficios, una red inteligente permite la participación activa del cliente en la regulación de sus gastos; proporciona opciones para el almacenamiento de la energía en baterías u otros dispositivos y optimiza el control adecuado de la potencia proveniente de fuentes renovables como la solar o la eólica. Su objetivo primordial es optimizar la eficiencia y el uso ventajoso de la energía, a la vez que es capaz de prevenir posibles fallos en la red eléctrica.

Palabras clave: red inteligente, energía solar, energía eólica, baterías, almacenamiento.

SOLAR ENERGY. COMPLEMENTARY TECHNOLOGIES (II): SMART GRIDS

Abstract

Smart grids differ from conventional electricity grids in that they allow energy and information to flow in two directions: from source to consumer and viceversa. Among other benefits, a smart grid enables active customer participation in regulating their costs; provides options for energy storage in batteries or other devices; and optimises the proper control of power from renewable sources such as solar or wind. Its primary objective is to optimise efficiency and the advantageous use of energy, while being able to prevent possible failures in the electricity grid.

Keywords: smart grid, solar energy, wind energy, batteries, storage.

I. Introducción

El estudio pretende resumir, de forma breve, la situación actual de los principales criterios asociados a las redes inteligentes. No existe una definición única de lo que significa una red inteligente (RI). La más simple afirma que es una red eléctrica automatizada capaz de almacenar, comunicarse y tomar decisiones. Una definición más completa, tomada del US Energy Department, indica que es «una modernización de la red eléctrica que monitorea, aumenta

la resiliencia a las alteraciones y optimiza de forma automática la operación de los componentes interconectados en el sistema, comenzando en las unidades generadoras centrales y distribuyendo la generación mediante redes de transmisión hasta los centros de carga».

Quizás su característica principal es que las RI permiten el flujo de energía e información en dos sentidos: de la fuente al consumidor y viceversa. Una tercera definición apunta a que es «una red moderna que adopta flu-

jos bidireccionales de energía, usando la comunicación en dos sentidos y el control de técnicas que conducen a un amplio intervalo de nuevas aplicaciones y funciones», algo muy diferente a las redes actuales donde el flujo tiene lugar en un solo sentido, desde los centros de generación hasta los centros de demanda (Falvo *et. al.*, 2013; Malik y Lehtonen, 2016; Kakran y Chanana, 2018; Gandoman *et. al.*, 2018).

La implantación de las RI posibilita una serie de ventajas sobre las redes convencionales, por ejemplo:

- Permitir la participación activa del cliente, tanto el gran consumidor como el de bajo consumo, en la regulación del consumo individual.
- Incorporar todas las posibles opciones de generación, control y almacenamiento de la energía, como sucede en la eólica y la solar.
- Optimizar la eficiencia y el uso ventajoso de la energía.
- Prevenir las posibles perturbaciones en la red facilitando una mayor contención y restauración de los problemas que pudieran surgir.
- Operar en un régimen de alta recuperación frente a daños físicos, cibernéticos y desastres naturales.
- Posibilitar la fácil introducción de nuevos productos y servicios.
- Proveer energía eléctrica ajustada a necesidades específicas del cliente, con diversa calidad y precio.

II. Desarrollo y discusión

Una red inteligente debe ser capaz de integrar, por sí misma y en el momento oportuno, la energía proveniente de fuentes alternativas y alternarla con la proveniente de otras fuentes de ser necesario. La Figura 1 muestra el esquema general de funcionamiento de una red eléctrica convencional, mientras que en la Tabla 1 aparece una comparación de las principales características de las redes convencionales y las inteligentes (Alotaibi *et. al.*, 2020).

Tabla 1. Redes convencionales vs. redes inteligentes

Red convencional	Red inteligente
Operación mecánica	Digitalizada
Unidireccional	Bidireccional
Generación de potencia centralizada	Generación distribuida
Conectada radialmente a un centro	Dispersa
Pocos sensores	Muchos
Menor capacidad de monitoreo	Muy monitoreada
Control manual	Control automatizado
Menos aspectos de seguridad	Vulnerable a los aspectos de seguridad
Acciones de respuesta lenta	Respuesta rápida

Algunos opinan que la implantación de las RI contribuirá indirectamente a reducir la contaminación ambiental. Por ejemplo, supongamos que en un campo de molinos de viento la velocidad de la brisa cae a niveles muy bajos, o que sobre una gran instalación de celdas solares aparecen nubes de tormenta bloqueando la luz. Los sistemas actuales detectarían la caída de potencia e incrementarían la energía entregada desde otras fuentes de inicio rápido, por ejemplo, una termoeléctrica de gas natural. Esta última genera CO₂ y contribuye al calentamiento global. Por el contrario, una red inteligente podría tratar de reducir la demanda de inmediato, enviando una señal a los metrocontadores de consumidores seleccionados de antemano. Esos consumidores, a cambio de una reducción de las tarifas, permitirían que la red desconecte algunos de sus equipos para regular el consumo durante la caída de potencia. En cuestión de segundos, equipos comerciales de climatización pasarían automáticamente a un régimen de menor consumo variando la temperatura, solo unos pocos grados, o los sistemas de calefacción se desconectarían unos pocos minutos. Si la

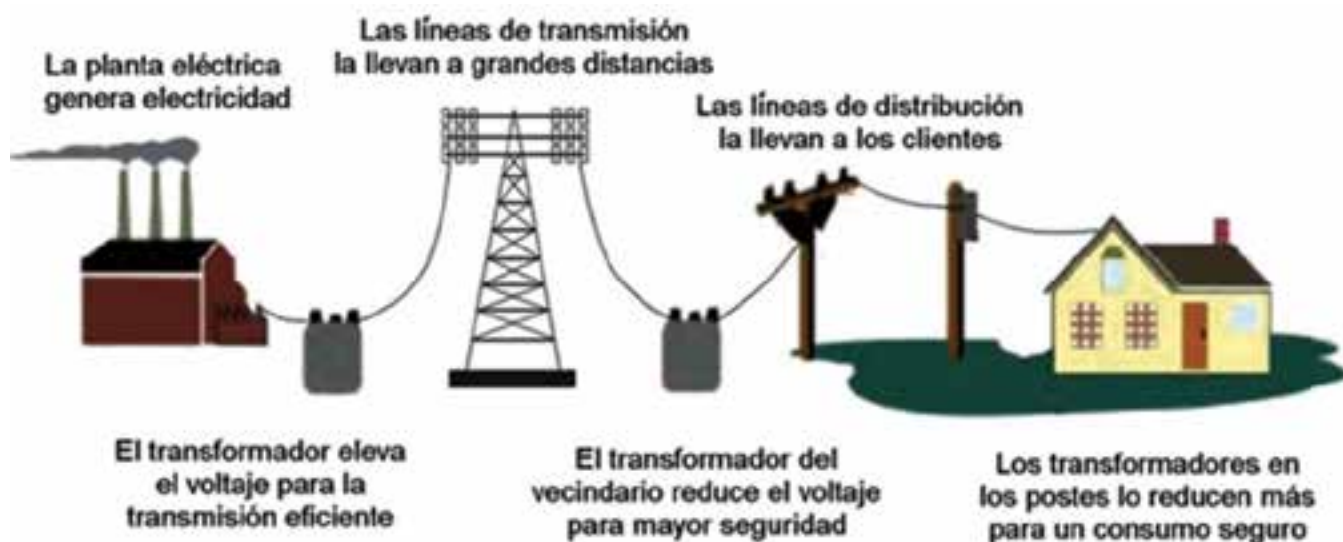


Fig. 1. Funcionamiento de una red eléctrica convencional.

interrupción no es muy prolongada, no habría necesidad de incrementar el consumo de gas natural y la correspondiente emisión de CO₂ para mantener el servicio.

Una ventaja adicional es que el continuo monitoreo y la automatización de los sistemas permitirá reducir las interrupciones. Los problemas se podrán detectar y resolver antes que lleguen a ser críticos, minimizando los daños y el perjuicio causado a la red y a los consumidores.

La idea general, detrás del concepto de red inteligente, es implementar medidas que funcionen tanto en los sistemas de contribución como en forma directa al consumidor, sea este grande o pequeño. Una de las principales medidas propuestas es la implantación de metrocontadores inteligentes, que reciben señales de la planta eléctrica para incrementar automáticamente la factura en el horario pico y reducirla fuera de ese horario. Así se tiende a limitar el consumo en los momentos que resulta más problemático para la red (Figura 2).

Una variante simplificada consiste en incluir un reloj dentro del metrocontador, de manera que se registre una mayor factura en las horas pico. Este sistema es más gravoso para el consumidor, pues la demanda no tiene que ser la misma en los días festivos que en los laborables; no obstante, algunos proveedores ya lo vienen utilizando desde hace años. Otra medida propuesta es la de facilitar a cada cliente información continua sobre su consumo en la pantalla de algún monitor o *display* y no solo una vez al mes como ocurre actualmente. Se supone que si el consumidor está al tanto de sus gastos, podrá tomar medidas oportunas sin esperar a fin de mes.

Una tercera medida es la adición de circuitos simples a la red interna de la vivienda o empresa con el fin de controlar el gasto de equipos de alto consumo (climatizadores, bombas de agua en piscinas, sistemas de calefacción y refrigeración). Así se podría posponer para horarios fuera del pico eléctrico el lavado de la ropa o la vajilla y sería posible la desconexión de determinados equipos cuando sea oportuno, sin causar daños ni serios inconvenientes al consumidor.

En la actualidad ya existen versiones industriales que regulan el bombeo de piscinas, calentadores y sistemas

de climatización, controlados directamente desde alguna subestación eléctrica.

Una medida adicional es la automatización de la lectura de los metrocontadores sin necesidad de que un cobrador visite la fábrica o la vivienda cada mes. Se puede hacer de diversas formas: a través de la propia línea eléctrica, mediante una señal que rebota en la subestación o el transformador y de ahí va a la planta eléctrica por alguna vía adicional, mediante una señal local de radio o utilizando algún vehículo que recorra el vecindario y obtenga por radio la lectura de cada metrocontador de forma individual. Ya existen redes comerciales que emplean algunos de estos sistemas que, aunque tienden a eliminar puestos de trabajo, son ventajosos para el proveedor desde el punto de vista económico.

Diversas empresas dedicadas al estudio de las energías renovables también apuntan al desarrollo futuro de las tecnologías de almacenamiento de energía (Reuters, 2022; ICL, 2023). Señalan que cuando se usan combustibles fósiles como fuente, se puede producir energía sin la preocupación de tomar en cuenta los caprichos de la naturaleza. Pero con las energías fotovoltaica y eólica es diferente, ya que el sol se oculta cada noche y el viento no sopla en todo momento y es imprescindible almacenar la energía sobrante para cuando escasea. Además, señalan una estrecha relación entre el almacenamiento de la energía y el desarrollo de las redes eléctricas inteligentes; al parecer, ambos desarrollos avanzan conjuntamente y no es posible separarlos.

Se señalan como principales tendencias para los próximos años el desarrollo de las energías hidráulica, solar, eólica, los diversos sistemas de almacenamiento de energía y las redes inteligentes (Figura 3). Aunque también es tendencia la generación de hidrógeno por electrólisis como fuente de energía para vehículos de transporte, en realidad no se puede considerar como una fuente de energía renovable que se suma a otras como la eólica o la solar, pues para adquirir el hidrógeno es necesario gastar energía proveniente de alguna otra fuente, sea esta renovable o no (Nissan, 2022; Moreno *et. al.*, 2020).

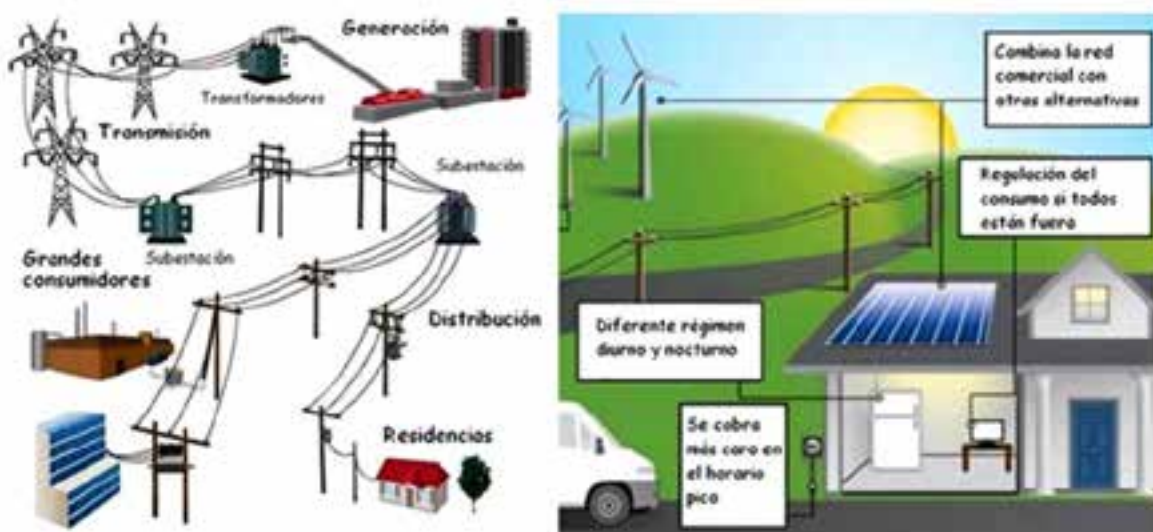


Fig. 2. Algunas características de las redes inteligentes.

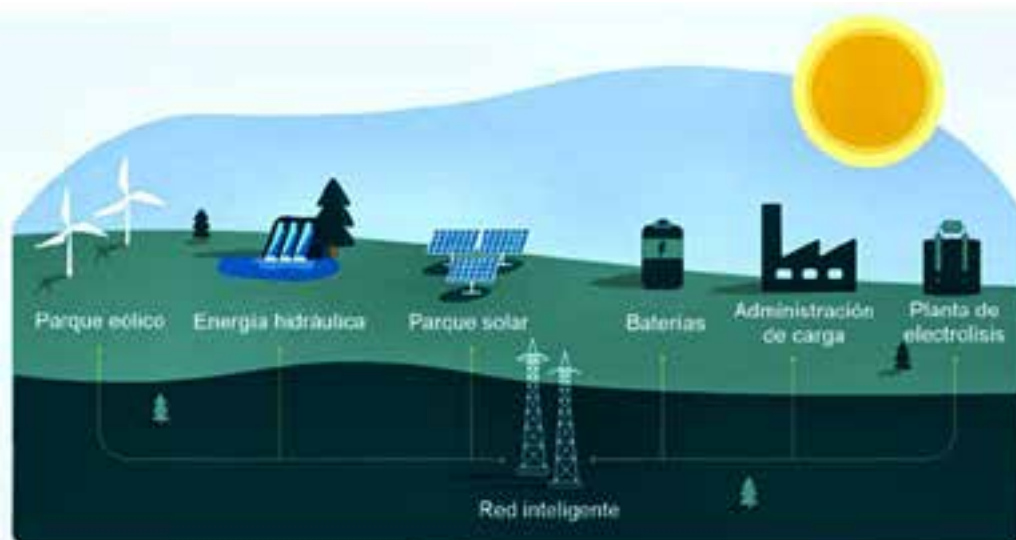


Fig. 3. Principales tendencias de desarrollo de las redes inteligentes y fuentes renovables (Scada, 2022).

En el presente, además de las baterías, se investigan otros sistemas de almacenamiento aptos para ser utilizados en combinación con las redes inteligentes (Feng y Qing, 2015; Xu *et. al.*, 2018). Dos de ellos son el *almacenamiento mecánico*, mediante aire comprimido en tanques a alta presión, y el *almacenamiento térmico* (Reed *et. al.*, 2018; Reed *et. al.*, 2019; MGA).

En el *almacenamiento mecánico* se emplea electricidad para comprimir aire, proceso que genera calor. Ese calor se puede usar como calefacción o para otros usos. Cuando el aire comprimido se expande puede hacer girar una turbina y generar electricidad. Durante la expansión, el aire se enfría y también se puede aprovechar como agente refrigerante.

Para investigar el *almacenamiento térmico*, una compañía australiana ha introducido, de forma experimental, un sistema de grandes bloques de dos componentes: uno de ellos de alto punto de fusión (*A*) y el otro de bajo punto de fusión (*B*) disperso en forma de burbujas dentro del primero (Aleación de Gap de Miscibilidad). Al consumir electricidad para fundir el componente *B*, el bloque almacena energía en forma de calor de fusión de *B* sin que cambie la forma del bloque. Este es un proceso que ocurre a temperatura esencialmente constante mientras se funde el componente *B*. Cuando la temperatura se reduce por debajo del punto de fusión de *B*, la energía almacenada se libera del bloque y se puede emplear para generar vapor y electricidad haciendo girar una turbina.

III. Conclusiones

La idea general detrás del concepto de red inteligente es implementar medidas que permitan, por un lado, una mayor eficiencia en la distribución de la energía eléctrica y, por otro, que funcionen tanto en los sistemas que generan la energía como en quienes la consumen, sean estos grandes o pequeños consumidores. En la actualidad se presta especial atención a la integración de las redes con

los diversos tipos de fuentes renovables y con los sistemas adecuados de almacenamiento de energía.

IV. Referencias bibliográficas

- Alotaibi, I., Abido, M.A., Khalid, M. y Savkin, A.V. (2020). A Comprehensive Review of Recent Advances in Smart Grids: A Sustainable Future with Renewable Energy Resources. *Energies* 13, 6269; doi:10.3390/en13236269
- Falvo, M.C., Martirano, L., Sbordone, D. y Bocci, E. (2013). Technologies for smart grids: A brief review. *IEEE Xplore. 12th International Conference on Environment and Electrical Engineering*. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6549544>, DOI <https://doi.org/10.1109/EEE-IC.2013.6549544>. Consultado marzo 2023.
- Feng, P. y Qing, W. (2015). Redox Species of Redox Flow Batteries: A Review. *Molecules*. 20(11): pp. 20499–20517. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6332057/>. Consultado febrero 2023.
- Gandoman, F.H., Ahmadi, A., Sharaf, A.M., Pierluigi, S. *et. al.* (2018). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(1), pp. 502-514. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.062>
- ICL (2023). *Top Energy Trends to Watch Closely in 2023*. <https://www.icl-group.com/blog/renewable-energy-trends-solutions-2023/>. Consultado enero 2023.
- Kakran, S. y Chanana, S. (2018). Smart operations of smart grids integrated with distributed generation: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(1), pp. 524-535
- MGA Thermal, (s/a) *Introducing the MGA Block*. <https://www.mgathermalstorage.com/about>. Consultado marzo 2023.
- Malik, F.H. y Lehtonen M. (2016). A review: Agents in smart grids. *Electric Power Systems Research*, 131, pp. 71-79. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2015.10.004>. Consultado marzo 2023.
- Moreno Constante, A., Beltrán Ruiz, J. y Borja Soto, D. (2020). Automóviles Impulsados por Energía Solar: Una Revisión. *Inv. Tecnológica IST Central Técnico*, 2(2), http://www.investigacionistct.ec/ojs/index.php/investigacion_tecnologica/article/view/87. Consultado febrero 2023.

- Nissan (2022). *How Do Electric Cars Work? Nissan USA*. <https://www.nissanusa.com/experience-nissan/news-and-events/how-do-electric-cars-work.html>. Consultado febrero 2023.
- Reed S., Sugo H. y Kisi E. (2018). High temperature thermal storage materials with high energy density and conductivity. *Solar Energy*, 163, pp. 307-314. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.02.005>Get rights and content. Consultado marzo 2023.
- Reed, S., Sugo, H., Kisi, E. y Richardson, P. (2019). Extended thermal cycling of miscibility gap alloy high temperature thermal storage materials. *Solar Energy* 185, pp. 333-340. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.04.075>Get rights and content, Consultado marzo 2023.
- Reuters (2022). *Paid for and posted by Shell Energy*. 3 renewable energy trends for 2023 and beyond. <https://www.reuters.com/article/sponsored/shell-energy-renewable-energy-trends-2023>. Consultado enero 2023.
- Scada international (2022). *Green future: 4 renewable energy trends to watch*. <https://scada-international.com/2022/10/07/green-future-4-renewable-energy-trends-to-watch/>. Consultado marzo 2023.
- US Dept. of Energy, https://www.smartgrid.gov/the_smart_grid/smart_grid.html
- Xu, Q., Ji, Y.N., Qin, L.Y., Leung, P.K., Qiao, F., Li, Y.S. y Su, H.N. (2018). Evaluation of redox flow batteries goes beyond round-trip efficiency: A technical review. *Journal of Energy Storage*. 16, pp. 108-116. <https://doi.org/10.1016%2Fj.est.2018.01.005>. Consultado marzo 2023.

Conflicto de intereses: El autor declara que no existe conflicto de intereses.

Contribución del autor: Investigación, conceptualización, metodología, supervisión, redacción-borrador original y redacción-revisión.

Recibido: 6 de marzo de 2022

Aprobado: 17 de marzo de 2023

LA FORMACIÓN LABORAL DESDE LAS EDADES TEMPRANAS: PERTINENCIA DEL EJE DE SOBERANÍA ALIMENTARIA

Por Lic. Disney Prado Jiménez *, Lic. Dumey Prado Jiménez **,
Lic. Renay Bernal Arcos*** y Lic. Yerlys Iglesias Oria****

Centro Universitario Municipal Enrique José Varona, Taguasco, Sancti Spíritus, Cuba.

* <https://orcid.org/0000-0003-2932-3308>

E-mail: disney@uniss.edu.cu

** <https://orcid.org/0000-0003-4531-7215>

E-mail: dumey@uniss.edu.cu

*** <https://orcid.org/0009-0004-4689-1002>

E-mail: rbernalarcos@gmail.com

**** <https://orcid.org/0009-0005-9296-3617>

E-mail: yerlys@fpss.fgr.gob.cu

Resumen

En la actual etapa de transformación de la escuela cubana se ha hecho especial énfasis en la formación general integral de los educandos que lleve implícita la formación de una cultura laboral. En consecuencia, el estudio asumió como objetivo proponer actividades educativas que contribuyan a la formación laboral de los estudiantes de tercer grado de la escuela primaria III Congreso del PCC. En la investigación se aplicaron métodos del nivel teórico, empírico y estadístico que permitieron determinar el estado actual de la muestra seleccionada y a partir de esto elaborar la propuesta de actividades educativas encaminadas a dar solución al problema científico, la cual se caracteriza por el nivel de implicación y el rol protagónico de los estudiantes al intercambiar y exponer sus criterios y vivencias relacionadas con el empleo de los métodos educativos con sus hijos, así como la adquisición de conocimientos sobre soberanía alimentaria.

Palabras clave: soberanía alimentaria, formación, cultura laboral, educación, recursos locales.

JOB TRAINING FROM EARLY AGES: A CURRENT NEED

Abstract

In the current stage of transformation of the Cuban school, special emphasis has been placed on the comprehensive general education of students, which implies the formation of a work culture. Consequently, the objective of the study was to propose educational activities that contribute to the labour training of 3rd grade students of the Primary School III Congress of the PCC. In the research, theoretical, empirical and statistical methods were applied to determine the current state of the selected sample and from this to elaborate the proposal of educational activities aimed at solving the scientific problem, which is characterised by the level of involvement and the leading role of the students in exchanging and presenting their criteria and experiences related to the use of educational methods with their children, as well as the acquisition of knowledge about food sovereignty

Keywords: NC ISO 50001: 2018; Subjective multi-criteria method of simple ordering.

I. Introducción

La educación en Cuba está comprometida con la formación de un hombre integral, preparado para actuar, utilizar hábilmente de forma creadora su intelecto y sus manos, que pueda conocer e interpretar este mundo siendo capaz de transformarlo y adecuarlo a las posibilidades reales y condiciones actuales donde se desarrolla. En consecuencia, tiene la escuela la responsabilidad de cumplir con este encargo social y convertirse en el mayor centro cultural de la comunidad, ya que los centros docentes cuentan con personal calificado para la formación de la personalidad de las nuevas generaciones, partiendo de un currículo integrado que define el tipo de hombre que quiere formar, así como las vías y contenidos mediante los cuales se puede lograr dicha formación.

Al estar relacionados los estudiantes con actividades de tipo laboral en las que intervienen la escuela y todo el sistema de influencias que actúan sobre ellos, posibilitará alcanzar una adecuada preparación para el trabajo y la vida social que se traducirá en cultura laboral.

En tal sentido, la formación laboral entraña la realización de un proceso educativo-productivo, donde se combine e integre el estudio con el trabajo como principio rector de la escuela cubana.

De ahí la necesidad de reforzar la formación laboral en la escuela, como vía para el desarrollo de una conciencia de productores en los escolares, tomando como base el principio pedagógico de la vinculación e integración del estudio con el trabajo y lograr entonces una cultura laboral.

No obstante, es insuficiente el trabajo que se realiza en este sentido, por lo que aún subsisten insuficiencias, por ejemplo, la no comprensión de la importancia del trabajo como fuente de riqueza, el poco dominio de las características laborales de la comunidad y el desconocimiento de qué es la soberanía alimentaria.

Al analizar estas limitaciones, resulta evidente la existencia de contradicciones entre el nivel educacional actual de los estudiantes y el que se aspira, por lo que este trabajo tiene como objetivo fundamental proponer actividades educativas que contribuyan a la formación laboral de los estudiantes de tercer grado de la escuela primaria III Congreso del PCC.

Sin duda, se evidencia el carácter multidimensional de la formación laboral, por lo que en este trabajo se enfatiza en la pertinencia del eje de soberanía alimentaria para alcanzar una formación verdaderamente integral.

II. Marco teórico

Con el Triunfo de la Revolución Cubana, las ideas de los pioneros de la pedagogía en Cuba y de los clásicos del marxismo-leninismo acerca del papel del trabajo en la formación de los niños, adolescentes y jóvenes pueden llevarse plenamente a la práctica.

Es por ello que el indiscutible líder de la Revolución Cubana, el Comandante en Jefe Fidel Castro Ruz hizo referencia a que ha de ser el trabajo el gran pedagogo de la juventud, del mismo modo expone que el objetivo de la educación es preparar al individuo para su vida social, su función en la sociedad y su tarea en la sociedad. Y eso está indisolublemente vinculado al trabajo, a la actividad que ese ser humano tiene que desempeñar a lo largo de su vida.

Durante el Primer Congreso de Educación y Cultura (1971) se analizó el cumplimiento del carácter politécnico de la educación, propiciando, a partir de ello, la máxima aplicación del principio martiano de la vinculación del estudio con el trabajo; se crearon las escuelas en el campo, poniéndose el trabajo como centro de la cultura y del desarrollo integral de la personalidad.

En 1992, con la creación de un grupo multidisciplinario del Instituto Central de Ciencias Pedagógicas y por encargo del Ministerio de Educación se perfeccionó e instrumentó la puesta en práctica del principio integrador estudio-trabajo y se proyectó un modelo donde este principio actúa como eje en cada uno de sus componentes:

- El papel activo de alumnos y profesores.
- El carácter prioritario de lo laboral en el contenido de las asignaturas.
- La interacción social de la escuela con la comunidad.
- La definición de la educación laboral como disciplina rectora que se integra al sistema de actividades laborales de la escuela.

A partir de este momento se declara entre las direcciones de trabajo, la formación laboral y económica de los alumnos, lo que trae consigo la necesidad de desarrollar la cultura laboral.

No obstante, el concepto *formación laboral* comienza a utilizarse en la década del 90 del siglo pasado. Antes fueron abordados temas relacionados con esta concepción a partir de términos como: educación, enseñanza, artes o trabajo manual, *sloyd* (de origen europeo e introducido en Cuba por influencia de la pedagogía norteamericana) y educación o tecnología para el trabajo. El más común es el de educación laboral.

Este último, usado con frecuencia a partir de un punto de vista educativo institucionalizado, para denominar lo que se entiende como formación laboral. Sucumbiendo al error de tratarlos como sinónimos en un sentido amplio de la palabra. También por costumbre al referirse a *formación* lo relacionan con las categorías instrucción y desarrollo, lo que manifiesta confusión a partir de un uso terminológico indiscriminado (Pérez, 2017).

Es necesario mencionar la actual crisis económica que experimenta el mundo, el recrudescimiento del bloqueo y las condiciones sociales y económicas que imponen cambios y transformaciones en los sistemas de producción, provocando una sensible disminución de estudiantes vinculados a las actividades agrícolas de las variantes «escuela al campo» y «escuela en el campo», sustituyendo esas y otras actividades por labores en el autoabastecimiento.

Es importante destacar que la actividad práctica de los alumnos, concebida como trabajo en la propia clase o vinculada a tareas productivas o de servicio, constituye una de las vías efectivas para desarrollar actitudes positivas hacia el trabajo, sentimientos de respeto hacia este y hacia el hombre trabajador que se desenvuelve en las diferentes esferas laborales. De ahí la importancia de una adecuada integración del estudio con el trabajo y de la necesidad de emplear la actividad laboral como fuente importante para la formación laboral de los alumnos.

Por consiguiente, la formación laboral tiene como finalidad la socialización mediante el trabajo; educar en normas morales de conducta en las que se concentren valores como la responsabilidad, la laboriosidad, la honestidad, el colectivismo, el patriotismo y la solidaridad, los que vinculados al desarrollo de una conciencia de productores, permitirá una formación vinculada a la actividad laboral, conformando una concepción acerca del lugar y el papel que ocupa el trabajo para el hombre.

Es por ello que la formación laboral es un proceso donde cada asignatura tiene asignada su contribución, debiendo dirigir su contenido hacia lo laboral y relacionarlo con problemas reales del entorno escolar y de la vida, en sentido general, que rodea a sus alumnos, y con las profesiones y oficios más característicos del territorio donde se encuentra enclavada la institución.

Tanto es así que la escuela debe propiciar a profesores y estudiantes todo lo necesario para el trabajo, la autoeducación laboral, el enfoque creativo y racionalizador hacia cualquier actividad laboral.

Partiendo del análisis de las ideas anteriores, para esta investigación se asume el criterio de Cerezal *et. al.* (2000) quienes señalan que «la formación laboral es el proceso de transmisión y adquisición, por parte de los alumnos, del conjunto de valores, normas, conocimientos, habilidades, procedimientos, estrategias que se necesitan para analizar, comprender y dar solución a los problemas de la práctica social, y están encaminados a potenciar el saber hacer y cómo hacerlo».

Por consiguiente, el proceso de formación laboral ocurre teniéndose presente el contenido de la enseñanza en el que se encuentra todo lo que el estudiante ha ido creando y acumulando, concretado a la solución de problemas que se presentan en su vida diaria.

La cultura laboral en la educación primaria

En la actual etapa de transformación de la escuela cubana se ha hecho especial énfasis en la formación general integral de los educandos que lleve implícita la formación de una cultura laboral, con dominio de conocimientos, hábitos y habilidades laborales, normas de conducta y valores que le desarrollen una concepción científica del mundo y una actitud emprendedora hacia el trabajo.

Se trata entonces de formar una cultura laboral en las nuevas generaciones que tenga como objetivo a nivel social: preparar hombres y mujeres capaces de desarrollar todas las esferas del país, especialmente la productiva, de manera flexible y creadora, a partir de los adelantos de la ciencia, la técnica y la tecnología, desde una perspectiva humanista, preservando las conquistas obtenidas y dando muestras de cultura general.

Es por ello que alcanzar esta cultura laboral presupone encargar al sistema educacional su formación en los estudiantes a partir de que cada subsistema declare qué fines, objetivos y contenidos de esta cultura son necesarios, según los diferentes períodos etarios para lograr, de esta manera, que los niños aprendan a interpretar la actividad sociolaboral, a utilizar con eficiencia las nuevas tecnologías y a construir su propia escala de valores para aprender a vivir, a convivir y a trabajar.

Del mismo modo, «la formación de la cultura laboral es un fenómeno multifactorial, el cual es estudiado por diversos campos del saber a través de explicaciones, hechos y acciones que reflejan un desarrollo educativo de la actividad laboral. Forma parte de la realidad de múltiples experiencias que no se reducen únicamente a la acción pedagógica, esta es la condensación o expresión de la función social y cultural con el objetivo de contribuir a edificar una sociedad culta, favorecer la formación de una identidad cultural y desarrollar en los individuos su capacidad humana de relación social» (Morán *et. al.*, 2023).

En los momentos actuales corresponde a la escuela la formación de una cultura laboral, económica y tecnológica en los escolares, como respuesta a las necesidades sociales y a los imperativos del desarrollo científico y tecnológico contemporáneo.

Desde esta perspectiva, se advierte el carácter dual del proceso, resultado de la formación de la cultura laboral, por lo que es necesario precisar el contenido de esta cultura a formarse en el estudiante, de manera que contribuya a su educación integral y se potencie la cultura laboral que requiere la sociedad moderna (Morán *et. al.*, 2023).

Igualmente, Valdés *et. al.* (2017) refieren que para alcanzar las metas y los objetivos establecidos, las organizaciones suplen la escasez de recursos con relaciones laborales autónomas, confianza, compromiso y motivación.

Siendo así, el desarrollo de una cultura laboral presupone el derecho de los hombres a participar en la creación de los bienes culturales, unido a su disfrute y al logro de la intervención de los mismos en la toma de decisiones en aquellos aspectos o situaciones que atañen a su vida individual o de la comunidad en la que se desarrollan.

Por ello, sería necesario en la escuela transmitir y reafirmar un conjunto de valores y elementos culturales que componen la identidad cultural de los trabajadores y los centros laborales de la comunidad a la cual pertenecen, contemplando la existencia de la diversidad de profesiones u oficios que se manifiestan de diferentes formas en la realidad social y que influyen en las formas de actuar y pensar de los estudiantes y las características del contexto en que la escuela desarrolla su trabajo.

La cultura laboral no solo tiene su centro en las instituciones docentes, sino también en una serie de agentes, instituciones o circunstancias de índole social que pueden ejercer una influencia formativa y que por participar de un mismo objetivo y referirse a un mismo fin han de actuar conectadas e interrelacionadas.

Del mismo modo Soria (2008) y Cogollo *et. al.* (2018) plantean que la cultura laboral incluye aspectos como el trabajo, la selección, el desarrollo, la forma de dirigir y remunerar el personal, y que es un elemento importante para impulsar la competitividad y productividad de cualquier institución.

Siendo así, esta cultura exige de la adquisición de conocimientos, el desarrollo de habilidades y capacidades mediante las actividades del proceso docente, el trabajo, la asimilación de las asignaturas, el enfoque politécnico y laboral de la enseñanza, la vinculación de la teoría con la práctica así como las actividades extradocentes dirigidas, por ejemplo: círculos de interés, visitas a centros de producción o servicios, conferencias de especialistas, exposiciones, encuentros deportivos y concursos.

Soberanía alimentaria en Cuba

La definición de «soberanía alimentaria» ha ido cambiando ligeramente con el tiempo aunque se mantienen sus ejes básicos. Esto incluye el verdadero derecho a la alimentación y a la producción de alimentos, lo que significa que todos los pueblos tienen el derecho a una alimentación inocua, nutritiva y culturalmente apropiada, a los recursos para la producción de alimentos y a la capacidad para mantenerse a sí mismos y a sus sociedades (Gómez *et. al.*, 2016).

En momentos que a nivel internacional crecen los precios de los alimentos e insumos a consecuencia de la pandemia y se recrudece la criminal guerra económica del gobierno de los Estados Unidos contra el país, no queda otra alternativa que transformar la agricultura acorde a los retos de actuales y futuros, y de las condiciones y potencialidades endógenas.

Tampoco se puede olvidar que fenómenos internos como las migraciones del campo hacia las ciudades y el envejecimiento poblacional, influyen en la disminución de la fuerza de trabajo, lo cual hace necesario elevar la eficiencia en la producción (Valdés *et. al.*, 2017).

Del mismo modo, no puede olvidarse que «la alimentación es una necesidad fisiológica fundamental de todo ser vivo. Mediante la misma se reponen las energías que se pierden en la actividad del organismo y se incorporan los componentes necesarios para el crecimiento y desarrollo físico. Es un derecho de los niños y las niñas, y su realización garantiza la supervivencia y desarrollo físico y, en general, su bienestar emocional». (Camero *et. al.*, 2022).

Constituye entonces un propósito fundamental en el país perfeccionar los procesos de producción, transformación, comercialización, consumo de los alimentos y la protección al derecho de las personas a una alimentación saludable.

Es por ello que una de las más recientes normativas aprobadas en el Cuba, resume el interés presente desde el mismo triunfo revolucionario, por ser un asunto estratégico y de preocupación del Comandante en Jefe Fidel Castro y del General de Ejército Raúl Castro: la Ley de Soberanía Alimentaria y Seguridad Alimentaria y Nutricional (Ley SSAN), que también recibe un impulso especial del presidente Miguel Díaz-Canel Bermúdez.

Tras la aprobación de esta ley, el 14 de mayo de 2022 por la Asamblea Nacional del Poder Popular, y su posterior publicación en la Gaceta Oficial (del 28 de julio, Ley 148/2022) se desarrolló, a todas las instancias, acciones de capacitación y sensibilización de los actores responsabilizados con su implementación en los territorios.

Para esta investigación, la soberanía alimentaria es la capacidad de la nación para producir alimentos de forma sostenible y dar acceso a toda la población a una alimentación suficiente, diversa, balanceada, nutritiva, inocua y saludable, reduciendo la dependencia de medios e insumos externos, por lo que es un asunto de seguridad nacional, mucho más cuando el imperio del norte ha pretendido que el pueblo se rinda por hambre y obstaculiza el comercio con el país.

No por gusto la Constitución de la República de Cuba, en su artículos 77 y 78, establece que todas las personas tienen derecho a la alimentación sana y adecuada, y a consumir bienes y servicios de calidad que no atenten contra su salud; también al acceso de información precisa

y verás, así como a recibir un trato equitativo y digno de conformidad con la ley.

Igualmente, la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible persigue poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria, la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible como premisa para alcanzar la sostenibilidad económica, social y ambiental.

Con estos antecedentes, no los únicos, se cuenta con una Ley SSAN, muy aterrizada a la realidad cubana, fruto de los aportes e ideas de productores, científicos, académicos, funcionarios y especialistas de diversas ramas, y de las mejores experiencias internacionales.

Es por ello que a criterio de Díaz (2020), ahora se demandan más innovaciones dirigidas a la solución de problemas en la práctica social de cada localidad, acompañadas de instrumentos informacionales que complementan el hecho de documentar cada acción permitiendo una mejor toma de decisiones junto a herramientas analíticas que permiten el seguimiento, control y evaluación de la marcha de los diferentes procesos y temas priorizados.

Por otra parte, no puede concebirse la soberanía alimentaria sin alcanzar la soberanía energética que es parte ineludible para el logro de sistemas agroalimentarios sostenibles. Para el logro de la soberanía alimentaria debemos utilizar las energías renovables locales en la producción de alimentos, considerando también los recursos locales como agua y biodiversidad alimentaria, junto a la asunción de los saberes tradicionales y las prácticas ancestrales. A juicio de los autores el tema energético es parte intrínseca de los sistemas alimentarios soberanos, y la formación laboral debe incorporar estos presupuestos.

III. Materiales y métodos

La metodología utilizada en esta investigación original parte del enfoque dialéctico-materialista como método general. Se aplicaron métodos propios de la investigación pedagógica, del nivel teórico se aplicó el histórico-lógico, inductivo-deductivo y analítico-sintético; del nivel empírico, el análisis de documentos, la entrevista y la experimentación; ellos facilitaron sintetizar los referentes más importantes del tema, su ordenamiento e integración hasta llegar a las generalizaciones y a la propuesta de actividades educativas que contribuyan a la formación laboral y a la adquisición de conocimientos sobre soberanía alimentaria.

IV. Resultados y discusión

La muestra que con carácter intencional fue seleccionada, correspondió al grupo 3.^{er} B de la escuela primaria *III Congreso del PCC*, que representa el 72 % del total de la población.

Fundamentación de la propuesta:

Se tuvo en cuenta para esta investigación el concepto de Rodríguez (2017), quien considera que las actividades educativas tienen una lógica en su concepción, ya que parten de la preparación psicopedagógica de quien la imparte o dirige y del resto del colectivo donde se debe asegurar el protagonismo en el desarrollo de las mismas, debido a que este tipo de trabajo se sustenta básicamente en el debate,

la orientación, el intercambio para la búsqueda del consenso y la generalización de las mejores experiencias.

Sin lugar a dudas, la idea anterior tiene una importancia capital, es por ello que las actividades educativas que se proponen se direccionarán fundamentalmente a:

La vinculación con los centros laborales, las profesiones y oficios más característicos y deficitarios, es decir, que en las aulas se tengan en cuenta las características de la producción de la comunidad.

La adquisición de conocimientos sobre soberanía alimentaria.

Además de la integralidad de estas actividades, que permiten un tratamiento a todos los componentes del contenido de enseñanza-aprendizaje, son transdisciplinarias al concebirse su ejecución por todas las asignaturas y en todas las modalidades de la formación laboral. Cada una responde a un objetivo y a su vez, contribuyen en su conjunto al logro de un objetivo general; expresan la relación y contribución de cada una a lo cognitivo, lo afectivo, lo motivacional y lo conductual; favorecen la comunicación y las relaciones interpersonales entre los estudiantes y los trabajadores de la comunidad; permiten estrechar los vínculos escuela-comunidad; y exigen el esfuerzo sistemático de los estudiantes en la búsqueda de la información y la solución de tareas.

Propuesta de actividades educativas:

- **Actividad educativa 1: Caracterización laboral del entorno de la escuela.**
Objetivo: Caracterizar la comunidad teniendo presente el potencial productivo.
Esta acción permitirá la adquisición de conocimientos sobre los alimentos más cosechados en el lugar donde viven. También inserta a los estudiantes en un proceso de búsqueda constante de información con respecto al tema y llegan a comprender que son responsables de su aprendizaje.
- **Actividad educativa 2: Visita al huerto escolar.**
Objetivo: Caracterizar el huerto escolar teniendo en cuenta qué puede sembrarse y por qué.
Esta acción garantiza que los estudiantes adquieran conocimientos sobre los principales productos alimenticios que pueden obtenerse en el huerto de su propia escuela. Reconocerán que todo trabajo es útil y necesario para la elevación del nivel de vida, que todos han dado su aporte al desarrollo de la humanidad, y que mediante el trabajo los hombres han transformado la naturaleza y a la vez se han transformado a ellos mismos.
- **Actividad educativa 3: Recorrido por patios productivos de la comunidad.**
Objetivo: Incrementar el conocimiento sobre las cosechas en pequeños espacios.
Con esta acción se propicia el intercambio con los productores para que los estudiantes conozcan todo

lo que se puede obtener aprovechando los espacios de los propios patios de sus casas.

- **Actividad educativa 4: Montaje de la sala de historia laboral.**

Objetivo: Montar la sala de historia laboral, según los centros laborales más representativos de la comunidad. Con esta acción intercambiarán con los trabajadores, podrán escuchar sus anécdotas laborales que han contribuido al desarrollo histórico de los centros y sentirán satisfacción al haber contribuido en la construcción de una pequeña obra que representa la historia de los centros laborales de la comunidad en la que también estuvo su esfuerzo, en donde quedaron recogidas sus ideas y labor desplegada.

Los resultados obtenidos después de aplicadas las acciones, permitieron ubicar a los estudiantes de la muestra en tres grupos de acuerdo con el nivel de preparación alcanzado para contribuir a la formación laboral: *Bien*, *Regular* y *Mal*.

En la categoría *Bien* se ubicó el 61,1 % (11 estudiantes) que poseen el 75 % o más de los indicadores ubicados en esta categoría, por lo que demuestran tener los conocimientos necesarios. En la categoría de *Regular* se ubicó el 27,7 % (5 estudiantes) que obtuvieron entre el 50 % y el 75 % de los indicadores en dicha categoría, es decir entre 3 o 2 evaluados de *Regular* o 2 evaluados de *Bien*. En la categoría *Mal* se ubicó el 11,1 % (2 estudiantes), lo que permitió afirmar que existen pocos conocimientos por parte de estos acerca de la formación laboral.

Resultó significativo que después de aplicada la propuesta se pudo comprobar que no solo los alumnos se formaron laboralmente, sino que también se ganó en la preparación de ellos y de sus familias sobre el tema de la soberanía alimentaria.

V. Conclusiones

La formación laboral presupone una preparación o educación que incluye, no solo el desarrollo de habilidades laborales, sino también conocimientos y actitudes acerca del mundo laboral.

El resultado de la aplicación de las actividades educativas permitió considerar la pertinencia y factibilidad de las mismas. Los resultados obtenidos a partir de su introducción en la práctica corroboran esta evaluación, pues se puso de manifiesto el cambio que produce en los niños la formación laboral, además de incidir en el conocimiento de la soberanía alimentaria.

VI. Recomendaciones

Continuar profundizando en la relación biunívoca entre las dimensiones de soberanía alimentaria y soberanía energética, con nexos comunes en el uso de los recursos locales.

VII. Referencias bibliográficas

Camero Gutiérrez, O., Hernández González, L., González Lorenzo, N., Hernández Cañizares, D. y Olivera Lorenzo, M. (2022). La formación de la cultura alimentaria en la primera infancia del círculo infantil Nueva Generación. *Eco Solar*, 79, pp. 9-13. ISSN-1028-6004.

- Castro Ruz, F. (2 de septiembre de 2002). Discurso pronunciado en el acto de graduación de las Escuelas Emergentes de Maestros de la Enseñanza Primaria *Periódico Granma* ISSN: 0864-0424.
- Cerezal Mezquita, J., Fiallo Rodríguez, J. y Patiño Rodríguez, M. R. (2000). *La formación laboral de los alumnos en los umbrales del siglo XXI*. La Habana. Editorial Pueblo y Educación. ISBN: 978-959-13-0642-5.
- Cogollo Flórez, J. M., et. al. (2018). Relación entre Kaizen y cultura laboral en sistemas productivos. *Revista Espacios*, 39 (14). Pág. 10.
- Díaz Pérez M. (2020). La Soberanía Alimentaria y Nutricional desde la perspectiva de un Observatorio Territorial. *Coodes*, 8(3). ISSN 2310-340X RNPS 2349 <http://coodes.upr.edu.cu/index.php/coodes/article/view/393>.
- Gómez Trujillo E. A., Martínez Andrade E., Rivas García J. A., Villalobos Maradiaga E. M. (2016). La seguridad y soberanía alimentaria. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León, Nicaragua. 2(1). ISSN-e: 2410-7980.
- Ley de Soberanía Alimentaria y Seguridad Alimentaria y Nutricional (Ley SSAN). (2022). 148/2022, GOC-2022-754-077.
- Morán Piñero, C., Leyva Figueredo, P. A. y Mendoza Tauler, L. L. (2023). Formación de la cultura laboral. Una mirada diferente. *Luz*, 22(1), 98-108, enero-marzo, 2023 Edición 94. III Época. ISSN 1814-151X.
- Pérez González, P. A. (2017). Análisis epistemológico del concepto formación laboral. *EduSol*, 17(59).
- Rodríguez Matos, R. (2017). Actividades educativas para orientar a las familias de los escolares que presentan manifestaciones de agresividad de la escuela primaria Ciro Frías Cabrera del municipio Imías. *Revista: Caribeña de Ciencias Sociales*: 2254-7630.
- Soria, R. (2008). *Emprendurismo, cultura, clima y comunicación organizacional y su aplicación a la pequeña y mediana empresa en la Zona Metropolitana de Guadalajara, México*. México: Red Académica Iberoamericana Local Global.
- Valdés Ambrosio, O. (2017). *Complejización de un modelo de cultura laboral migrante*. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/69257>.

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribución de los autores: Disney Prado Jiménez, investigación, conceptualización, metodología y edición; Dumey Prado Jiménez, supervisión, redacción-revisión y edición; Renay Bernal Arcos, redacción-borrador original; Yerlys Iglesias Oria, curación de datos y análisis formal.

Recibido: 5 de marzo de 2023

Aceptado: 25 de marzo de 2023

CONTRIBUCIÓN AL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EMPRESA CÁRNICA DE HOLGUÍN

Por Dr. C. Lic. **Lilian Rosa González López***, M. Sc. Prof. Aux. **Ángel Eugenio Infante Haynes****,
M. Sc. Prof. Inst. **Manuel Germía Rodríguez Romero*****,
M. Sc. Prof. Inst. **Eliéser Ricardo Morales****** y Lic. **Zaily Dorado Rojas*******

*Empresa Cárnica de Holguín, Holguín, Cuba.

<https://orcid.org/0009-0003-5592-8009>

E-mail: lilianrosa@gmail.com

**Universidad de Holguín, Holguín, Cuba.

<https://orcid.org/0000-0002-6462-5339>

E-mail: ainfantehaynes@gmail.com

***Universidad de Holguín, Holguín, Cuba.

<https://orcid.org/0009-0002-2142-4542>

E-mail: jere67rod@gmail.com

**** Universidad de Holguín, Holguín, Cuba.

<https://orcid.org/0000-0002-0251-0798>

E-mail: elieserasertec@gmail.com

*****Salud Municipal Holguín, Holguín, Cuba.

<https://orcid.org/0009-0007-6478-1917>

E-mail: zailydorado821@gmail.com

Resumen

En la investigación se aplicó un procedimiento con enfoque multicriterio para evaluar, auditar y diagnosticar los sistemas de gestión de la energía y contribuir al mejoramiento de la eficiencia energética mediante la aplicación de la norma cubana NC ISO 50001: 2018. Se eliminaron las no conformidades en la organización objeto de estudio y se implementaron herramientas informáticas para el procesamiento de las encuestas realizadas a los expertos, previamente seleccionados. Finalmente, se validó la solución encontrada con el *Método multicriterio subjetivo de ordenación simple*.

Palabras clave: NC ISO 50001: 2018; Método multicriterio subjetivo de ordenación simple.

CONTRIBUTION TO THE IMPROVEMENT OF ENERGY EFFICIENCY IN THE HOLGUÍN MEAT ENTERPRISE

Abstract

The research applied a multi-criteria approach procedure to evaluate, audit and diagnose energy management systems and contribute to the improvement of energy efficiency through the application of the Cuban standard NC ISO 50001: 2018. Non-conformities in the organisation under study were eliminated and computer tools were implemented to process the surveys carried out with the previously selected experts. Finally, the solution found was validated with the *Subjective multi-criteria method of simple ordering*.

Keywords: NC ISO 50001: 2018; Subjective multi-criteria method of simple ordering.

I. Introducción

La demanda a nivel global de energía todavía se satisface, esencialmente, con combustibles fósiles (30 % de petróleo, 27 % de carbón y 20 % de gas), siendo las principales fuentes de producción de electricidad, el carbón (38 %), el gas (23 %) y la hidroeléctrica (16 %), por lo que las emisiones de CO₂ en el sector energético, después de permanecer estáticas durante varios años, aumentaron y se espera un mayor crecimiento en los próximos años.

La eficiencia energética será crucial para mantener bajos los niveles de consumo, que de otro modo aumentarían para duplicar la cantidad estimada. La revolución del gas de esquisto continúa liderada por EE.UU., el principal productor de petróleo y gas del mundo (Global Energy Review 2019).

América Latina y el Caribe no escapan a dicha problemática. El panorama energético de estos países es similar: incremento en el consumo energético; combustibles fósiles como fuente de energía prioritaria; elevación de los precios de los combustibles al ser muy pocos los países que mantienen programas de eficiencia energética de largo plazo; y la baja incorporación de tecnologías eficientes que aporten al sector energético.

La política energética en Cuba está encaminada, desde el Triunfo de la Revolución, a la satisfacción de las necesidades de todos los cubanos, factor fundamental para la subsistencia y el desarrollo, por lo que es imprescindible el ahorro de energía y emprender programas de ahorro de combustibles sobre la base de una cultura energética encaminada al logro de un desarrollo independiente, seguro y sostenible, con el máximo ahorro en su uso final y la utilización de tecnologías de alta eficacia.

El ahorro de energía y la eficiencia energética son una oportunidad para la reducción de costos, siendo el primer paso a la hora de implantar una gestión energética sustentable en las instalaciones. Son varias las posibilidades de ahorro energético en los sectores privado y estatal, lo que permite, de manera óptima, hacer uso de las tecnologías existentes y, diseñar y aplicar un sistema integrador de todas estas en función de la eficiencia en la gestión energética.

En la UEB Producciones Especiales de la Empresa Cárnica de Holguín, aunque existe un Sistema de Gestión de la Energía (SGE), se ha demostrado que este sistema no cumple lo establecido en la NC ISO 50001: 2018 en sus criterios de implementación, por ejemplo: comprensión de las necesidades y expectativa de las partes interesadas, roles, responsables y autoridad organizativa; acciones para tratar riesgos y oportunidades; conocer la revisión energética, las líneas y bases energéticas; conocer los recursos necesarios; conocer las competencias de cada persona de la organización; tener conciencia de la participación en los SGE, garantizando la comunicación. Todo lo anterior conduce a que la información no se encuentra documentada, por lo que nuestro objeto de investigación fue el Sistema de Gestión de la Energía en la Empresa Cárnica, lo que nos llevó a establecer como objetivo de la investigación: contribuir a perfeccionar la eficiencia energética mediante la evaluación e implementación de la NC ISO 50001: 2018, para permitir la mejora continua del sistema de eficiencia energética.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), sostenidos en la Agenda 2030 para este fin, son una oportunidad y un llamado para que los países y sus sociedades emprendan un nuevo camino con el que se logre mejorar la vida de todos.

Los sistemas de gestión de la energía basados en el estándar ISO 50001 apoyan a los tres pilares del desarrollo sostenible:

Económico: busca mejorar la competitividad de las organizaciones al contar con procesos estandarizados para la ejecución y evaluación de proyectos de energía y ahorro.

Social: la norma promueve la participación de la sociedad que interviene con el desempeño energético, y busca alentar el consumo responsable de los recursos energéticos de todos los usuarios de la energía.

Ambiental: ayuda en la cuantificación y la reducción de los consumos de energía y, por ende, de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) al implementar mejores prácticas energéticas y la innovación como herramientas sistemáticas.

El estándar ISO 50001 apoya de varias formas el cumplimiento de diversos ODS, no obstante, se ha identificado el beneficio directo o específico en cinco de ellos:

ODS 7: garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos.

ODS 9: construir una infraestructura resiliente, promover la industrialización inclusiva y sostenible, y fomentar la innovación. Integrar la eficiencia energética en las prácticas diarias de los negocios de las organizaciones para un incremento sustentable de la productividad y competitividad.

ODS 11: lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles. Fortalecer políticas y marcos regulatorios para un mejor desempeño sustentable de la eficiencia energética en los diferentes sectores consumidores de recursos energéticos.

ODS 12: garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles. Acelerar la adopción y amplia difusión de las prácticas y tecnologías de la mejora del desempeño energético para cualquier tipo de organización.

Igualmente, existe un grupo de normas que rigen las diferentes fuentes renovables de energías, por ejemplo:

1. IEC/TC 82: para los sistemas de energía solar fotovoltaica.
2. IEC/TC 88: para los sistemas de generación de energía eólica.
3. IEC/TC 105: para las tecnologías de celda de combustibles.
4. IEC/TC 114: para los sistemas de energías marinas, mareas y olas.
5. IEC/TC 117: para las plantas eléctricas de energía solar-térmica.

¹ N. del A.: La palabra comprensión es un criterio de la dimensión Contexto de la organización

II. Materiales y métodos

Los sistemas de gestión de la energía establecen requisitos en una organización para la mejora de su desempeño y eficiencia energéticos, reducir los impactos ambientales e incrementar su competitividad dentro de los mercados en que participan sin sacrificar la producción.

El concepto de desempeño energético es clave para la comprensión del SGE, ya que incluye otros conceptos como el uso de la energía, eficiencia energética y consumo de energía. Los SGE, en primer lugar, deben contar con un sistema de política a llevar a cabo por cualquier organización, con un sistema de planificación que permita implementar y operar el sistema, así como verificar su interacción en la organización a través del monitoreo, mediciones, evaluaciones y análisis, de esta forma se encontrarán las no conformidades y se trazaran planes de mejoras continuas. Quiero esto decir que se debe:

- Planificar: se centra en entender el comportamiento energético de la organización para establecer los controles y objetivos necesarios que permitan mejorar su desempeño en este aspecto.
- Ejecutar: busca implementar procedimientos y procesos regulares con el fin de controlar y mejorar el desempeño energético.
- Verificar: consiste en monitorear procesos y productos en base a las políticas, objetivos y características claves de las operaciones, así como reportar los resultados.
- Actuar: Es la toma de acciones para mejorar continuamente el desempeño energético en base a los resultados.

Pasos para implementar los sistemas de gestión de la energía

1. Integrarlo al Plan Estratégico del Negocio y convertirla en una decisión estratégica de la organización.

2. Establecer el Plan de implementación por etapas, actividades, tiempos, responsables y recursos, para lo cual intervienen:

- Desarrollo del diagnóstico (análisis de brechas), situación actual de la organización en el cumplimiento a los requisitos de los SGE.
- Información de carácter general, organigrama, procesos establecidos, tendencia de la producción y datos que influyen en el consumo de energía.
- Documentación existente, políticas, objetivos legales, formación, comunicación, manuales, procedimientos y medición, auditoría interna, No conformidad y seguimiento por la dirección.
- Planes de mantenimiento de equipos consumidores de energía e instrucciones técnicas de control operacional de los equipos.
- Diagrama de flujo energético.
- Consumos de energía año anterior y año actual (valores mensuales y acumulado anual de electricidad, combustibles y otros).

- Auditorías o estudios energéticos previos de las instalaciones.
- Registro de balances energéticos (fuentes energéticas y consumo).
- Iniciativas de eficiencia energética.
- Listado de equipos de medición y planes de calibración de los mismos.
- Listado de equipos consumidores de energía y planes de mantenimiento de los mismos (descripción, equipo, potencia, rendimiento).
- Metas actuales de reducción del consumo de energía.
- Procedimiento de evaluación técnico-económica de proyectos nuevos.
- Procedimiento de Control de Equipos de Medición.

3. Conocer el contexto de la organización:

- ¿Cuál es el foco de las principales actividades desarrolladas por la organización?
- ¿Cuál es la importancia estratégica de la energía para el negocio?
- ¿Cuánto influye el costo de la energía en el negocio?
- ¿Cómo influyen las acciones relacionadas con sustentabilidad con las partes interesadas?
- ¿Cuáles son los riesgos relacionados con el uso y consumo de la energía para la organización?

4. Compromiso de la alta dirección:

- Definir, establecer, implementar y mantener la política energética.
- Proporcionar los recursos necesarios para establecer, implementar, mantener y mejorar el SGE y el desempeño energético resultante.
- Identificar el alcance y los límites a ser cubiertos por el SGE.
- Comunicar y hacer a los trabajadores conocedores de la gestión de la energía dentro de la organización.
- Establecer objetivos y metas energéticas de acuerdo con las características de la organización.
- Considerar el desempeño energético en la planificación a largo plazo y asegurar que los indicadores de desempeño energético (IDE) sean apropiados para la organización.
- Realizar, de manera periódica, revisiones por la gerencia.

5. Política del SGE, política de calidad, medioambiente y energía de la organización.

6. Planificación. Aquí debemos preguntarnos lo siguiente:

- ¿Cuánta energía se consume en la organización?
- ¿Qué oportunidades existen para mejorar el desempeño energético?
- ¿Cuál es la tendencia de consumo?
- ¿Qué variables inciden en el consumo de energía?
- ¿Qué indicadores pueden utilizarse para medir el desempeño energético?

- ¿Dónde se utiliza la energía?
- ¿Qué se hará para alcanzar los objetivos establecidos?
- ¿Qué personas impactan de manera relevante en el desempeño energético?
- ¿Cuál será el desempeño energético que se debe alcanzar?

Tomando en consideración la norma NC ISO 50001: 2018, antes mencionada, se propone el procedimiento siguiente:

1. Selección del equipo evaluador y el grupo de expertos.
2. Preparación del plan de evaluación para las diferentes áreas en dependencia de las dimensiones y los criterios.
3. Realización del diagnóstico de la gestión de la calidad del Sistema de Gestión de la Energía.
4. Análisis de los resultados.

Las encuestas realizadas fueron *siete*, llamado también número mágico de Miller. Según este autor, es el número ideal debido a que por debajo de esta cifra de encuestas no existirá consenso entre los expertos si alguno de ellos se inclinara más por una dimensión que otra; por encima del número, se podría introducir un nivel alto de incertidumbre que llevaría a un resultado erróneo (Romero, 1996). Las encuestas se procesaron a través de una herramienta diseñada por el autor en Excel, utilizando la media geométrica, según Saaty (1980) es la mejor forma o la forma más precisa de unificar los datos.

Modelo matemático adaptado y propuesto

Como se ha explicado, tenemos variables o dimensiones, y luego los criterios o funciones, primero se evaluaron las funciones a través de la expresión:

Fórmula 1

$$EF_{dg} = \frac{W_{dg} * C_{dg}}{10} \tag{1}$$

Siendo:
 EF_{dg} : evaluación de la función d correspondiente al área g .
 W_{dg} : peso de la función d correspondiente al área g .
 C_{dg} : valoración promedio de la función d correspondiente al área g .

La suma de las evaluaciones de las funciones dará el resultado del área:

Fórmula 2

$$RA_g = \sum_{d=1}^{m_g} EF_g \tag{2}$$

Siendo:
 RA_g : resultado del área g ($g=1, \dots, n$).
 $d = 1 \dots m_g$: siendo m la cantidad de funciones a auditar en cada área g .

La evaluación de cada una de las áreas se calculará según la expresión siguiente:

Fórmula 3

$$EA_g = W_g * RA_g \tag{3}$$

Siendo:
 EA_g : evaluación del área g .
 W_g : peso del área g .
 RA_g : resultado de las áreas 1, 2 y 3. Es necesario determinar el peso o importancia relativa de cada área y de cada función auditada, lo que deberá sustentarse en el análisis realizado por el equipo auditor.

Para la determinación de los pesos se propuso un procedimiento específico (Figura 1), basado en el *Método multicriterio subjetivo de ordenación simple* para la asignación de pesos. Este procedimiento consta de tres pasos los cuales se describen a continuación:

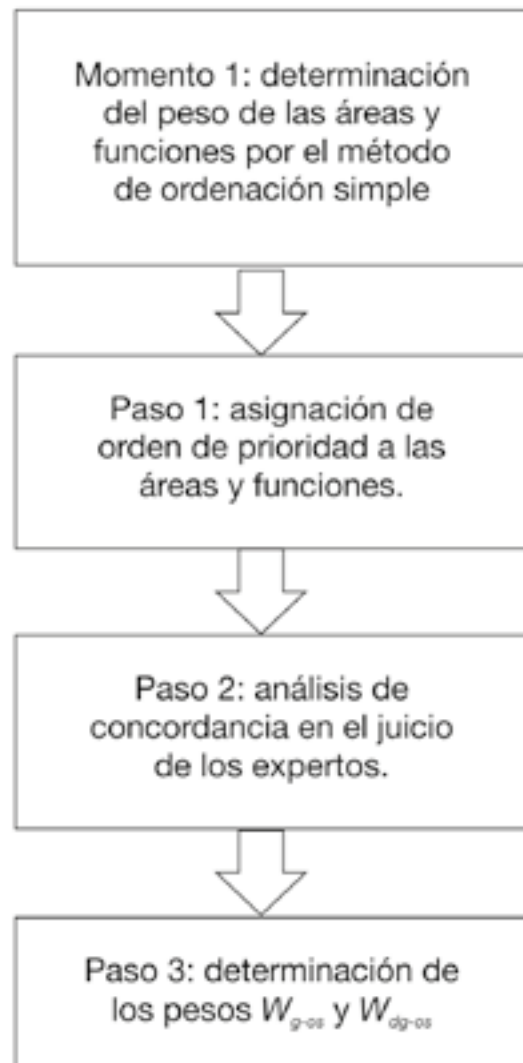


Fig. 1. Procedimiento de asignación de pesos por el *Método multicriterio subjetivo de ordenación simple* (Borroto, 2005).

1. Asignación de un orden de prioridad a las áreas y funciones

Los expertos asignan a las áreas y funciones un orden de prioridad, «de 1 a n » en el caso de las áreas, y «de 1 a mg » en el caso de las funciones, según la preferencia o nivel de importancia que poseen para el evaluador, de forma que el valor «1» representará el de menor importancia en la gestión del mantenimiento de la Empresa. Este es un aspecto que requiere de un período de reflexión de los auditores a fin de que los resultados finales no puedan ser objetados con el argumento de que no se ha contado con todos y, en el caso de haber considerado su opinión, los resultados podrían haber sido diferentes.

2. Análisis de la concordancia en el juicio de los expertos

Una vez asignado el orden de prioridad a las áreas y funciones a auditar, se determina si existe concordancia o no en el juicio de los expertos. Para esto se recomienda utilizar la *Prueba de concordancia de Kendall* referida por Siegel (1972). En caso de no existir concordancia entre el juicio de los expertos, se regresará al Paso 1.

De comprobar la existencia de concordancia entre los expertos, se ordenarán las áreas y funciones a auditar por el valor de las diversas sumas de rango. Con este orden definitivo se calcula el peso de las áreas y funciones a auditar (W_{g-os} y W_{dg-os}) a través del *Método multicriterio subjetivo de ordenación simple*, que es el recomendado para el cálculo de peso, recomendado a utilizar, aunque se pueden utilizar otros métodos de cálculo subjetivos para la determinación del peso de cada criterio.

3. Determinación de los pesos $Wg-os$ y $Wdg-os$

Con este orden definitivo se calcula el peso de las áreas y funciones a auditar, $Wg-os$ y $Wdg-os$ a través del método de ordenación simple, que es el método multicriterio de cálculo de peso que se recomienda utilizar, aunque se pueden utilizar otros métodos de cálculo subjetivos para la determinación del peso de cada criterio, para luego llegar al *indicador de nivel energético*.

Evaluación del indicador de nivel energético

$$I_{NM} = \sum_{g=1}^n EA_g \cdot 100 \quad (4)$$

En la Tabla 1 se muestra un ejemplo de las áreas de actuación y su desglose en dependencia de las características de la institución; esta propuesta no constituye una regla, solo un ejemplo, debe ser modificada convenientemente según sea el caso y utilizando un método de expertos.

En la Tabla 2 se muestra una propuesta de modelo que facilita la operación de cálculo. En la columna A de la Ta-

bla 2 se ponderan sobre 100 la importancia y repercusión relativas de cada área respecto al total de la gestión energética.

$$D = \frac{B \cdot C}{5} \quad (5)$$

$$E = \frac{A \cdot D}{100} \quad (6)$$

Ponderación de funciones

En la columna B de la Tabla 1, se ponderan sobre 100 las funciones dentro de cada área según su importancia y repercusión relativas.

Tratamiento de datos

A continuación se operan los datos de las columnas A, B y C en las columnas D y E, según se indica en los respectivos encabezamientos de cada columna, expresiones 4 y 5. Los valores de la columna C se obtienen calculando el porcentaje de cumplimiento de los componentes de cada función, para ello se tiene en cuenta la calificación obtenida y el patrón propuesto mostrado, «Valoración cuantitativa de la gestión». Por ejemplo, un área de actuación que tenga 4 componentes y en cada uno de ellos se puede obtener cómo máximo 5 puntos, significa que el 100 % es 20, si la calificación real suma 18 puntos, entonces se calcula el porcentaje de cumplimiento que sería 85 %, como la columna C presenta una escala de uno a diez, donde 1 es pésimo y 10 es excelente, entonces el porcentaje obtenido se divide entre diez y ese es el valor que se coloca en la columna C.

Análisis de los resultados de la tabla

Con las valoraciones obtenidas para cada área en la columna D y del total de la columna E de la Tabla 1, se tiene una medición en expresiones numéricas del resultado de la auditoría. Estas calificaciones constituyen su análisis espectral y pueden servir tanto para identificar áreas y funciones de mejora como para comparar resultados con sucesivas auditorías. En la Tabla 2 se muestra un ejemplo de cómo se refleja el resultado de cada área de actuación en el informe final, tal como se refleja el resultado graficado de cada área. Cuando los valores obtenidos se encuentran en el rango menor a los 60 puntos, la organización en un nivel de compresión, sabe que debe mejorar y conoce el camino para ello, cuando se encuentra entre los 61 y 80 puntos, estará en un nivel de competencia, avanzando, pero aún lejos de las metas y, entre los 81 y 100 puntos, ya se encontrará en el máximo nivel, el de excelencia.

Tabla 1. Propuesta de herramienta informática para la gestión de los datos

A	Áreas de actuación	B	C (1-5)	D	E	Evaluación
20	Contexto de la organización	100	2,13	42,70	16,15	
	Compresión de la organización y contexto	25	2,034	10,17	76,07	Regular
	Compresión de las necesidades y expectativa de las partes interesadas	25	2,521	12,61	79,27	Regular
	Determinaciones del alcance del SGE	25	1,73	8,69	82,31	Bien
	Sistema de gestión energética	25	4,263	21,32	85,27	Bien
20	Liderazgo	100	4,22	84,36	16,87	
	Liderazgo y compromiso	33.4	4,502	3008	90,05	Bien
	Política energética	33.3	4,224	28,13	84,48	Bien
	Roles, responsables y autoridad organizativa	33.3	3,927	26,15	78,54	Regular
20	Planificación	100	3,98	79,34	15,87	
	Acciones para tratar riesgos	20	3,963	15,85	79,27	Regular
	Revisión energética	20	3,927	15,71	78,54	Regular
	Indicadores de rendimiento energético	20	4,092	16,37	81,83	Bien
	Base energética	20	3,927	15,71	78,54	Regular
	Recolección de datos energético	20	3,927	15,71	78,54	Regular
20	Soporte	100	3,31	66,12	13,22	
	Recursos	20	3,022	12,09	60,45	Regular
	Competencia	20	3,445	13,78	68,90	Regular
	Conciencia	20	3,445	13,78	68,90	Regular
	Comunicación	20	3,672	14,69	73,44	Regular
	Información documentada	20	2,945	11,78	58,89	Mal
20	Mejora continua	100	3,97	79,33	15,87	
	No conformidad y acción correctiva	50	3,804	38,04	76,07	Regular
	Mejora continua	50	4,130	41,30	82,59	Bien

Tabla 2. Ejemplo del resultado de cada área de actuación en el informe final

Evaluación y diagnóstico de la gestión energética			
Área de actuación	Meta o patrón	Evaluación	%
Contexto de la organización	20	20	100
Liderazgo	20	20	100
Planificación	20	20	100
Soporte	20	20	100
Mejora continua	20	20	100
Total	100	100	Excelencia

Luego de concluir esta etapa del procedimiento, se introducen los métodos matemáticos multicriterio para una nueva evaluación lingüística, que no es más que convertir las palabras en números y modelos matemáticos (Haynes et. al., 2022ab). Por lo que se utilizó el *Método multicriterio subjetivo de ordenación simple*, que toma en consideración los métodos *Analytic Hierarchy Process (AHP)* de Saaty (1980) y la *Teoría de la utilidad multiatributo* desarrollada por Ward Edwards (Edwards, 1977, 1979 y 1986), quienes fueron pioneros en el desarrollo de los métodos de toma de decisión multicriterio (*Multicriteria Decision Making*, MCDM por sus siglas en inglés).

Como se ha explicado, tenemos variables o dimensiones, y luego los criterios o funciones, primero se evaluarán las funciones a través de la expresión siguiente:

Fórmula 5

$$EF_{dg} = \frac{W_{dg} * \bar{C}_{dg}}{10} \quad (7)$$

Siendo:

EF_{dg} : evaluación de la función d correspondiente al área g .

W_{dg} : peso de la función d correspondiente al área g .

\bar{C}_{dg} : valoración promedio de la función d correspondiente al área g .

La suma de las evaluaciones de las funciones dará el resultado del área:

Fórmula 6

$$RA_g = \sum_{d=1}^{mg} EF_d \quad (8)$$

Siendo:

RA_g : resultado de área g ($g = 1...n$).

$d = 1, \dots, m_g$: siendo m la cantidad de funciones a auditar en cada área g .

La evaluación de cada una de las áreas se calculará según la expresión siguiente:

Fórmula 7

$$EA_g = W_g * RA_g \quad (9)$$

Siendo:

EA_g : evaluación del área g .

W_g : peso del área g .

Para la evaluación de la gestión del mantenimiento se propone el *indicador nivel de la gestión del mantenimiento* (I_{NM}):

Fórmula 8

$$I_{NM} = \sum_{g=1}^n EA_g * 100 \quad (10)$$

Para la obtención de la ponderación o pesos se utilizaron los juicios o criterios de expertos y se validará con este método, donde el resultado podrá igualmente tomar las categorías siguientes:

Tabla 3. Evaluación según resultado del indicador (Boroto, 2005)

Intervalos de I_{NM} (%)	Evaluación
$95 \leq I_{NM} \leq 100$	Excelente
$85 \leq I_{NM} \leq 95$	Bien
$60 \leq I_{NM} \leq 85$	Aceptable
$I_{NM} < 60$	Deficiente

III. Resultado y discusión

Al aplicar las siete encuestas previstas a los expertos, se obtuvieron las evaluaciones reflejadas en la Tabla 4.

Como se puede apreciar, el Experto 3 fue el que menos ponderó, es decir, el que dio menos importancia a las funciones de cada dimensión. Finalmente, toda la información se recoge en la media geométrica, que no es media ni promedio, es un dato más exacto y aproximado al centro de los datos. Una vez procesado el dato, se introduce en otra herramienta para el procesamiento final (Tabla 5), aquí llegamos al resultado de cada dimensión y criterio (Tabla 6). El dato, antes procesado, se introduce en la columna C, iniciándose el proceso antes descrito. Existe un criterio evaluado de *Mal*, muy importante debido a que se trata de la documentación, y 12 criterios evaluados de *Regular*; solo el 50 % tiene una evaluación de *Bien*; sin embargo, la organización se encuentra en un nivel de *Compresión*, envuelta en mejora continua.

Tabla 4. Herramienta informática para el procesamiento de las encuestas

UEB Producciones Especiales de la Empresa Cárnica de Holguín									
Áreas actuales o dimensiones		Media geométrica	Experto 1	Experto 2	Experto 3	Experto 4	Experto 5	Experto 6	Experto 7
Contexto de la organización	Compresión de la organización	3,80	4,00	3,00	4,00	5,00	4,00	4,00	3
	Compresión de las necesidades de las partes	3,96	5,00	4,00	3,00	4,00	4,00	4,00	4
	Determinaciones del alcance del SGE	4,12	4,00	2,00	5,00	5,00	4,00	5,00	5
	Sistema de gestión energética	4,26	5,00	4,00	4,00	5,00	4,00	4,00	4
Liderazgo	Liderazgo y compromiso	4,50	4,00	3,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5
	Política energética	4,22	3,00	4,00	4,00	5,00	4,00	5,00	5
	Roles, responsables y autoridad organizativa	3,93	4,00	5,00	3,00	5,00	3,00	4,00	4
	Acciones para tratar riesgos	3,96	4,00	4,00	4,00	5,00	3,00	4,00	4
Planificación	Revisión energética	3,93	4,00	3,00	5,00	5,00	4,00	3,00	4
	Indicadores de rendimiento energético	4,09	5,00	4,00	4,00	5,00	4,00	4,00	3
	Base energética	3,93	4,00	5,00	3,00	4,00	3,00	4,00	5
	Recolección de datos energéticos	3,93	5,00	3,00	4,00	3,00	4,00	4,00	5
	Recursos	3,02	4,00	2,00	3,00	4,00	4,00	3,00	2
Soporte	Competencia	3,45	3,00	4,00	5,00	2,00	4,00	4,00	3
	Conciencia	3,45	3,00	2,00	5,00	4,00	3,00	4,00	4
	Comunicación	3,67	5,00	3,00	4,00	5,00	2,00	3,00	5
	Información documentada	2,94	4,00	2,00	3,00	5,00	2,00	2,00	4
Mejora continua	No conformidad y acción correctiva	3,80	4,00	4,00	5,00	4,00	3,00	3,00	4
	Mejora continua	4,13	4,00	4,00	5,00	4,00	4,00	4,00	4

Contribución al mejoramiento de la eficiencia energética en la Empresa Cárnica de Holguín

Tabla 5. Propuesta de herramienta informática para la evaluación final

A	Áreas de actuación	B	C (1-5)	D	E	Evaluación
20	Contexto de la organización	100	4,04	80,73	16,15	
	Compresión de la organización y contexto	25	3,804	19,02	76,07	Regular
	Compresión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	25	3,963	19,82	79,27	Regular
	Determinaciones del alcance del SGE	25	4,116	20,58	82,31	Bien
	Sistema de gestión energética	25	4,263	21,32	85,27	Bien
20	Liderazgo	100	4,22	84,36	16,87	
	Liderazgo y compromiso	33,4	4,502	30,08	90,05	Bien
	Política energética	33,3	4,224	28,13	84,48	Bien
	Roles, responsables y autoridad organizativa	33,3	3,927	26,15	78,54	Regular
20	Planificación	100	3,98	79,34	15,87	
	Acciones para tratar riesgos	20	3,963	15,85	79,27	Regular
	Revisión energética	20	3,927	15,71	78,54	Regular
	Indicadores de rendimiento energético	20	4,092	16,37	81,83	Bien
	Base energética	20	3,927	15,71	78,54	Regular
	Recolección de datos energéticos	20	3,927	15,71	78,54	Regular
20	Soporte	100	3,31	66,12	13,22	
	Recursos	20	3,022	12,09	60,45	Regular
	Competencia	20	3,445	13,78	68,90	Regular
	Conciencia	20	3,445	13,78	68,90	Regular
	Comunicación	20	3,672	14,69	73,44	Regular
	Información documentada	20	2,945	11,78	58,89	Mal
20	Mejora continua	100	3,97	79,33	15,87	
	No conformidad y acción correctiva	50	3,804	38,04	76,07	Regular
	Mejora continua	50	4,130	41,30	82,59	Bien

Tabla 6. Resultado de la aplicación del método

Áreas de actuación	Meta	Evaluación	%
Contexto de la organización	20	16,15	80,73
Liderazgo	20	16,87	84,36
Planificación	20	15,87	79,34
Soporte	20	13,22	66,12
Mejora continua	20	15,87	79,33
Total	100	77,98	Competencia

Resultado del Método multicriterio subjetivo de ordenación simple, para encontrar los nuevos pesos y validar el método anterior.

Para la evaluación de las funciones a través de la expresión antes declarada se muestra lo siguiente:

$$EF_{dg} = \frac{W_{dg} * \bar{C}_{dg}}{5} \quad \text{según expresión (7)}$$

Siendo:

EF_{dg} : evaluación de la función d correspondiente al área g .

W_{dg} : peso de la función d correspondiente al área g .

\bar{C}_{dg} : valoración promedio de la función d correspondiente al área g .

Primero debemos encontrar los pesos de los resultados de la evaluación dada por los expertos, por ejemplo, para la dimensión Contexto de la organización las funciones o criterios que la contienen tendrán los siguientes pesos (Tabla 7) por lo que el resultado EF_{dg} será el siguiente:

Tabla 7. Resultados de los pesos o nivel de importancia de los criterios

Contexto de la organización	Valor	Pesos
Compresión de la organización y contexto	3,804	0,236
Compresión y expectativa de las partes	3,963	0,245
Alcance del SGE	4,116	0,255
Sistema de Gestión E	4,263	0,264
Suma Ponderada	16,146	1,000

Función Compresión de organización:

$$EF_{dg} = \frac{W_{dg} * \bar{C}_{dg}}{5} = \frac{3.804 * 0.236}{5} = 0,179$$

Función Compresión de las partes:

$$EF_{dg} = \frac{W_{dg} * \bar{C}_{dg}}{5} = \frac{3,963 * 0,245}{5} = 0,195$$

Función Alcance del SGE:

$$EF_{dg} = \frac{W_{dg} * \bar{C}_{dg}}{5} = \frac{4,116 * 0,255}{5} = 0,210$$

Función SGE:

$$EF_{dg} = \frac{W_{dg} * \bar{C}_{dg}}{5} = \frac{4,263 * 0,264}{5} = 0,225$$

La suma de las evaluaciones de las funciones dará el resultado del área, para nuestro caso corresponde al área Contexto de la organización:

$$RA_g = \sum_{d=1}^{mg} EF_g \quad \text{según expresión (8)}$$

Siendo:

RA_g : resultado de área g ($g = 1...n$).

$d = 1, \dots, m_g$: siendo m la cantidad de funciones a auditar en cada área g .

$$RA_g = \sum_{d=1}^{mg} 0,179 + 0,195 + 0,210 + 0,225$$

$$RA_g = 0,839$$

Y así se encuentran todos los resultados de cada área con sus funciones, como se muestra en las tablas 8, 9,10 y 11.

Tabla 8. Resultados de la dimensión Liderazgo

Liderazgo	Valor	Pesos	EFdg	
Liderazgo y compromiso	4,502	0,356	0,320	
Política energética	4,224	0,334	0,282	
Roles, responsables y autoridad organizativa	3,927	0,310	0,244	
Suma Ponderada	12,653	1,000	0,846	RAg

Tabla 9. Resultados de la dimensión Planificación

Planificación	Valor	Pesos	EFdg	
Revisión energética	3,927	0,247	0,194	
Indicadores de rendimiento energético	4,092	0,258	0,211	
Base energética	3,927	0,247	0,194	
Recolección de datos energético	3,927	0,247	0,194	
Suma Ponderada	15,873	1,000	0,794	RAg

Tabla 10. Resultados de la dimensión Soporte

Soporte	Valor	Pesos	EF _{dg}
Recursos	3,022	0,183	0,111
Competencia	3,445	0,208	0,144
Conciencia	3,445	0,208	0,144
Comunicación	3,672	0,222	0,163
Información documentada	2,945	0,178	0,105
Suma Ponderada	16,529	1,000	0,555

Tabla 11. Resultados de la dimensión Mejora continua

Mejora continua	Valor	Pesos	EF _{dg}
No conformidad y acción correctiva	3,804	0,479	0,365
Mejora continua	4,13	0,521	0,430
Suma Ponderada	7,934	1,000	0,795

Con los resultados de cada área se procede a su evaluación teniendo en cuenta el nivel de importancia o pesos de las mismas. La evaluación de cada una de las áreas se calculará según la expresión siguiente:

$$EA_g = W_g * RA_g \quad \text{según expresión (9)}$$

Siendo:

EA_g: evaluación del área g.

W_g: peso del área g.

Área contexto de la organización:

$$EA_g = W_g * RA_g = 0,809 * 0,213 = 0,172$$

Para las demás áreas o dimensiones se encuentran el resto de los valores, como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12. Resultado de cada área de actuación

Áreas o Dimensiones	RA _g	Pesos	EA _g
Contexto de la organización	0,809	0,213	0,172
Liderazgo	0,846	0,223	0,188
Planificación	0,794	0,209	0,166
Soporte	0,555	0,146	0,081
Mejora continua	0,795	0,209	0,166
Suma Ponderada	3,799	1,000	0,774

Para la evaluación de la gestión energética con el objetivo de realizar un diagnóstico inicial para la implementación de la NC ISO 50001: 2018, se propone el indicador de nivel energético (I_{NE}), Tabla 13:

$$I_{NE} = \sum_{g=1}^n EA_g * 100 \quad \text{según expresión (10)}$$

Tabla 13. Resultados del indicador de nivel energético (I_{NE})

Áreas o Dimensiones	RA _g	Pesos	EA _g
Contexto de la organización	0,809	0,213	0,172
Liderazgo	0,846	0,223	0,188
Planificación	0,794	0,209	0,166
Soporte	0,555	0,146	0,081
Mejora continua	0,795	0,209	0,166
Suma Ponderada	3,799	1,000	0,774

Tabla 14. Criterios para la evaluación del índice de nivel energético

Intervalos	Evaluación
95 ≤ I _{NE} ≤ 100	Excelente
85 ≤ I _{NE} ≤ 95	Bien
60 ≤ I _{NE} ≤ 85	Aceptable
I _{NE} < 60	Deficiente

Con este resultado y los valores mostrados en la Tabla 14 que sigue podemos llegar a la conclusión de que la organización está en una posición de *Aceptable*, según la escala de intervalos, pues obtuvo en el Indicador de Nivel Energético 77,4. Se realiza una propuesta de mejora continua (Tabla 15).

Tabla 15. Propuesta de un plan de mejora continua para paliar la situación encontrada

N.º	Descripción de la medida	Responsable	Fecha de cumplimiento (D-M-A)
1.	Determinar las cuestiones externas e internas pertinentes para el logro de sus objetivos.	Directora Especialista de Energía	10 -11-2023
2.	Determinar las partes interesadas y sus requisitos.	Directora Especialista de Energía	14 -11-2023
3.	Definir las responsabilidades y autoridades.	Directora Especialista de Energía	29 -11-2023 22-12-2023
4.	Establecer los objetivos y las metas energéticas.	Directora Especialista de Energía	20-12-2023
5.	Establecer una o varias líneas de base energética.	Directora Especialista de Energía	20-01-2024
6.	Identificar las operaciones que afecten el desempeño energético.	Directora Especialista de Energía	8-02-2024
7.	Identifica los recursos necesarios para el SGE.	Directora Especialista de Energía	10-02-2024
8.	Determinar la competencia de las personas que con su trabajo afecten su desempeño energético.	Directora Especialista de Energía	15-02-2024
9.	Lograr la concientización de los trabajadores y su participación en el SGE.	Directora Especialista de Energía	23-02-2024
10.	Determinar las comunicaciones internas y externas pertinentes al SGE.	Directora Especialista de Energía	28-02-2024
11.	Documentar el SGE a través de la aplicación de la norma NC ISO 50001: 2018 y la que determine la organización; debe ser actualizada y controlada.	Directora Especialista de Energía	Permanente
12.	Realizar un adecuado monitoreo, medir el uso de la energía y sus IDE.	Directora Especialista de Energía	15-03-2024

IV. Conclusiones

En la investigación se aplicó un procedimiento con enfoque multicriterio para evaluar, auditar y diagnosticar el Sistema de Gestión de la Energía y contribuir al mejoramiento de la eficiencia energética mediante la aplicación de la NC ISO 50001: 2018, eliminando las no conformidades en la organización objeto de estudio. Se implementaron herramientas informáticas para el procesamiento de las encuestas realizadas por los expertos, que previamente fueron seleccionados, finalmente se validó la solución encontrada con el *Método multicriterio subjetivo de ordenación simple*.

V. Referencias bibliográficas

- Boroto Pentón, Y. (2005). *Contribución al mejoramiento de la gestión del mantenimiento en hospitales en Cuba. Aplicación en la provincia Villa Clara*. Universidad Central «Marta Abreu» de Las Villas.
- Edwards, W. (1979). *Behavioral decision theory*. Recuperado de: https://books.google.com.cu/books?hl=es&lr=&id=XF-Qo9ct_vR4C&oi=fnd&pg=PA44&dq=Edwards+W,+1979+%22Behavioral+decision+theory%22&ots=_oX8eancDN&sig=oF4BVQnh4wFph3kQJQmZpqqeYWc&redir_esc=y#v=onepage&q=Edwards%20W%2C%201979%20%22Behavioral%20decision%20theory%22&f=false
- Edwards, W. (1977). How to use multiattribute utility measurement for social decisionmaking. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* SMC-7:5, 326–340. Raifa, pp. 247-75. New York: Wiley. 42 pp.
- Edwards, W. (1986). *Decision Analysis and Behavioral. Research*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Global Energy Review 2019. <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2019>
- 1.ª obra: Infante Haynes, Á. E., Suárez Pérez, Z. B., Castillo Pantoja, H., y Leyva Velázquez, A. (2022). Auditoría de gestión de la calidad en el mantenimiento con enfoque multicriterio. *Revista Ciencias Holguín*, 28(4), 23-33. http://www.ciencias.holguin.cu/index.php/cienciasholguin/article/view/1435/html_34
- 2.ª obra: Infante Haynes, Á. E., Suárez Pérez, Z. B., Castillo Pantoja, H., y Leyva Velázquez, A. (2022). Evaluación cuantitativa de la auditoría a la gestión de la calidad en el mantenimiento con enfoque multicriterio. *Eco Solar*, (80), 3-11. <https://ecosolar.cubaenergia.cu/index.php/ecosolar/article/view/98>
- NC ISO 50001: 2018 <http://www.cgdc.cu>
- Romero, C. (1996). Análisis de las decisiones multicriterio (Vol. 14): Isdefe Madrid.
- Saaty, T.L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York. [https://www.scirp.org/\(S\(lz5mqp453edsnp55rrgjt55\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1943982](https://www.scirp.org/(S(lz5mqp453edsnp55rrgjt55))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1943982) Consultado: 18 de mayo de 2023
- Siegel E. (1972). Task analysis and effective teaching. *Journal of Learning Disabilities*, 1972, 5, 519–532. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/002221947200500901> Consultado: abril de 2023
- Stillwell, W. G., Seaver, D. A. y Edwards, W. (1981). Comparison of weight approximation techniques in multi-attribute utility decision making. *Organizational Behavior and Human Performance* 28(1):62-77

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribución de los autores: Lilian Rosa González López, investigación, conceptualización, metodología y edición; Ángel Eugenio Infante Haynes, supervisión, redacción-revisión y edición; Manuel Germía Rodríguez Romero, redacción-borrador original; Eliéser Ricardo Morales y Zaily Dorado Rojas, curación de datos y análisis formal.

Recibido: 10 de abril de 2023

Aceptado: 30 de abril de 2023