



DIRECTOR GENERAL

Dr. Luis Bériz Pérez

EDITOR JEFE

Ms.C. Mario Alberto Arrastía Ávila

EDITORES

M.Sc. Madelaine Vázquez Gálvez
Ing. Jorge Santamarina Guerra

CONSEJO EDITORIAL

Dr. Luis Bériz Pérez
M.Sc. Madelaine Vázquez Gálvez
Ing. Otto Escalona Pérez
Ing. Miguel González Royo
Ing. Dolores Cepillo Méndez

DISEÑO Y COMPOSICIÓN

Alejandro F. Romero Ávila

WEB MASTER

Jesús Guillermo Gil Delgado

RELACIONES PÚBLICAS

Mabel Blanco de la Cruz

CONSEJO ASESOR

Dra. Elena Vigil Santos
Dr. Conrado Moreno Figueredo
Dr. José Guardado Chacón
Dr. Deny Oliva Merecio
Dra. Dania González Couret
Lic. Bruno Henríquez Pérez
Lic. Ricardo Bériz Valle
M.Sc. Mario A. Arrastía Ávila

FOTO DE PORTADA

M.Sc. Mario A. Arrastía Ávila

Eco Solar, no. 61 / 2017
Revista Científica de las
fuentes renovables de energía
Julio-Septiembre, 2017
ISSN-1028-6004
RNPS-2220



CETER



DIRECCIÓN

Calle 20, No. 4113, e/ 18A y 47
Playa, La Habana, Cuba
TEL.: (53) 72040010; 72062061
E-MAIL: madelaine@cubasolar.cu
HTTP://www.cubasolar.cu



CONTENIDO

Impacto de la cátedra de educación energética de la Universidad de Ciencias Pedagógicas Enrique José Varona en el trabajo científico estudiantil.....	3
Luis Alberto Sánchez Pérez	
Valoración de los métodos de evaluación de la sustentabilidad.....	8
Dania González Couret	
Mejoramiento del sistema de iluminación e incremento de su eficiencia.....	15
Percy R. Viego Felipe; Julio R. Gómez Sarduy; Dayron Molina Castellanos	
Transición agroecológica, diferentes métodos y ejemplos.....	22
Leidy Casimiro Rodríguez	
Resiliencia urbana y ambiente térmico en la vivienda.....	30
Dania González Couret; José Fabián Véliz Párraga	
Diseño y construcción de un digestor anaerobio a escala de laboratorio, para el estudio del biogás con fines energéticos.....	40
Odlanier Blanco Jorge	
Convocatoria.....	48

editorial
cubasolar

Impacto de la cátedra de educación energética de la Universidad de Ciencias Pedagógicas Enrique José Varona en el trabajo científico estudiantil

Por **Luis Alberto Sánchez Pérez***

*M.Sc. y Profesor Auxiliar. Universidad de Ciencias Pedagógicas Enrique José Varona, La Habana.
luisasp@ucpejv.edu.cu

Resumen

El componente investigativo es un eslabón importante para formar en los estudiantes una cultura energética a partir del desarrollo de habilidades intelectuales y experimentales. Además, favorece el intercambio y la socialización en los centros de práctica docente, promoviendo el interés hacia temáticas actuales de investigación relacionadas con problemáticas medioambientales y con el uso de las fuentes renovables de energía. Este trabajo tiene como propósito principal exponer algunos de los resultados más importantes relacionados con la labor que ha desarrollado la cátedra de Educación Energética en los últimos cinco años, a partir de las experiencias desarrolladas con los grupos científicos estudiantiles de la carrera de Matemática-Física.

Palabras clave: grupo científico estudiantil, cátedra, educación energética.

Impact of the Energy Education Group in the student scientific activities at the University of Pedagogical Sciences Enrique Jose Varona

Abstract

The investigative component is an important link to form in the students an energy culture starting from the development of intellectual and experimental abilities. Besides favoring the exchange and the socialization in the centers of educational practice, where the interest is promoted toward thematic current of investigation related with problematic environmental and with the use of the renewable sources of energy. The work that is presented has as main purpose to expose some of the more important results related with the work that it has developed the cathedra of energy education in the last 5 years starting from the experiences developed with the student scientific groups of the career of Mathematical-Physics.

Key words: student scientific group, energy education.

Introducción

Uno de los principales problemas que enfrenta la humanidad en la actualidad es el energético, que también tiene profundas repercusiones en el medioambiente; las lluvias ácidas que afectan bosques, acuíferos y mares, al-

teran el hábitat de múltiples especies animales y vegetales y modifican el entorno de comunidades humanas, amenazando la biodiversidad y la diversidad cultural; el smog en las grandes ciudades con su impacto en la salud de las personas y en el patrimonio cultural. El incremento del efecto

invernadero y su impacto en las variaciones climáticas se reflejan en fenómenos meteorológicos extremos, que amenazan con el hambre, las enfermedades y las migraciones masivas a grandes colectivos humanos.

Para el enfrentamiento de esta situación no basta con medidas de carácter tecnológico, políticas, económicas y legales. Estas se deben acompañar de las de carácter educativo. La educación energética de toda la población adquiere la condición, no solo de necesaria, sino de indispensable. Es un factor imprescindible para la supervivencia. Los medios masivos de información, los sistemas educativos, las organizaciones sociales, en fin, todos, tienen la oportunidad de participar en esta tarea. La escuela y en particular los docentes, tienen un importante rol, pero se requiere que ambos estén preparados para su cumplimiento.

El trabajo con las cátedras es vital para impulsar el componente investigativo en las facultades. Según lo planteado en la Resolución 90, 2012: «La cátedra honorífica es aquella institución universitaria que, a partir de la estimulación a la investigación y profundización acerca de la vida y obra de personalidades científicas e intelectuales destacadas, nacionales y extranjeras, así como de temáticas de impacto para el desarrollo científico cultural de acuerdo con las necesidades institucionales y locales, promueve y promociona la cultura y aglutina a científicos, profesores, estudiantes y miembros de la comunidad en virtud de la formación integral, científica y humanista de la comunidad universitaria y su entorno social».

Desde 1998, como parte del proyecto de Cubasolar para contribuir a la formación de una cultura energética y de respeto ambiental en la población cubana, se creó en el entonces Instituto Superior Pedagógico Enrique José Varona de La Habana, un laboratorio didáctico de educación energética. Varios años después se decidió cambiar el nombre por el de Cátedra de Educación Energética de la Universidad de Ciencias Pedagógicas Enrique José Varona (UCPEJV).

Esta cátedra se fundó con la intención de intervenir directamente en la formación de la cultura energética del profesorado, su preparación metodológica, la superación en el área energética y la capacitación en este campo de los jóvenes que se forman como profesionales de la educación. También su trabajo se extiende a la atención directa de cursos organizados con niños y jóvenes sobre educación energética en escuelas del sistema nacional de educación, palacios de pioneros y cuanta institución en la provincia demande de sus servicios.

Desde su creación, la cátedra ha cumplido un amplio programa de actividades en función de los objetivos mencionados; así ha desarrollado cursos de superación, posgrados, diplomados en Cuba y el extranjero; ha intervenido directamente en la formación de maestrantes en las temáticas de educación energética y ha alcanzado la formación de un doctor entre sus miembros. Realiza un amplio plan de trabajo en la formación de profesores manteniendo desde su creación la atención a grupos científicos estudiantiles en el área de educación energética, así como el desarrollo de proyectos directamente vinculados al sistema nacional de educación y al currículo en la formación de profesores.

Entre sus numerosos resultados se encuentra la creación de un kit de experimentos escolares para el desarrollo de la actividad experimental con fuentes renovables de energía; numerosas publicaciones, en particular el libro *Ahorro de energía y respeto ambiental. Bases para un futuro sostenible* y la divulgación de las fuentes renovables de energía en los festivales de la ciencia, desarrollados en diferentes partes de la capital.

La cátedra cumple las funciones siguientes:

- Función instructiva: ha servido para el desarrollo de actividades docentes, promoviendo el intercambio sobre temáticas en torno a la educación energética y medioambiental.
- Función educativa: las actividades desarrolladas en sus instalaciones han contribuido a la formación de una conciencia energética de respeto ambiental.
- Función divulgativa: sus miembros han participado en numerosos eventos nacionales e internacionales, divulgando las posibilidades y las bondades de estas tecnologías y sobre el uso de las fuentes renovables de energía.

Algunos de los resultados alcanzados por la cátedra desde su fundación son:

- Entrenamiento de más de 200 maestros.
- Realización de exhibiciones de energía y medioambiente.
- Montaje de experimentos de energías renovables.
- Redacción del libro *Ahorro de energía y respeto ambiental, bases para un futuro sostenible*, libro del PAEME para la enseñanza media.
- Publicación de más de 20 artículos en revistas nacionales y extranjeras: revistas *Energía y Tú*, *Eco Solar*, *Órbita Científica* y la revista *IPLAC*.
- Capacitación en temas energéticos a más de 500 trabajadores del Instituto Superior Pedagógico Enrique José Varona (ISPEJV).
- Organización de eventos sobre la temática energética.
- Diseño de la estrategia de ahorro y uso eficiente de la energía en el ISPEJV.
- Participación y presentación de trabajos en eventos nacionales e internacionales de Cubasolar y simposios GEA.
- Impartición de dos cursos de superación en 2012-2013 y 2013-2014, para dirigentes y funcionarios de los gobiernos municipales en las temáticas sobre energía y fuentes renovables de energía.
- Promoción y divulgación sobre el uso de las fuentes renovables de energía en los festivales de la ciencia desarrollados en diferentes lugares de la capital.

Materiales y métodos

A continuación se describe la experiencia desarrollada con los grupos científicos estudiantiles de la carrera de Matemática-Física de la UCPEJV.

La Resolución No. 210/07 del Ministro de Educación Superior, en su artículo 2, establece que la formación de los

profesionales se desarrolla de forma curricular (el proceso docente educativo) y extracurricular. La investigación científica se integra a esta labor de formación, constituyendo elemento vital para la formación integral de los estudiantes. La misma es potenciada también mediante el trabajo científico estudiantil, «cuyo objetivo fundamental es contribuir a desarrollar habilidades en los estudiantes, mediante la solución de problemas de la práctica pedagógica por la vía científica. Está condicionada por las características y exigencias del currículo, así como por las condiciones existentes, el aseguramiento bibliográfico y material en general para cumplir las exigencias planteadas en la formación del profesional de la educación» [Chirino, García, 2005].

El trabajo que se realiza en la cátedra con los estudiantes, no solo pretende desarrollar el aspecto cognitivo de los contenidos de la situación energética, «sino que especialmente está dirigido al desarrollo de conocimientos, hábitos y habilidades propios de la actividad científico investigadora, donde se profundizan y entrenan los aspectos intelectuales, procedimentales e instrumentales» [Fundora, 2014].

La primera actividad del curso que involucra a los estudiantes noveles con la cátedra es la reunión de los miembros del grupo con los que recién se inician. Un aspecto distintivo es que durante el encuentro los estudiantes de años superiores explican cuáles han sido sus vivencias y qué repercusiones positivas se han derivado de ello, tanto en el orden personal como grupal. También explican las actividades que han realizado durante su participación en ferias de ciencias y visitas a centros educativos, donde se intenta promover el desarrollo de una cultura energética y ambiental a partir de un análisis científico de los principios básicos de funcionamiento de las fuentes renovables de energía.

En la primera sesión de trabajo, los estudiantes se interesan por conocer mejor acerca de las líneas de investigación. En ese momento formulan todas las preguntas que les ayuden a seleccionar la línea de investigación que más les motiva y donde concentrarán sus esfuerzos.

Es característico que en esa sesión se realicen algunas demostraciones experimentales y se expliquen los resultados obtenidos y perspectivas de investigaciones futuras. De esta sesión los estudiantes seleccionan una temática de investigación vinculada a una fuente renovable de energía en específico. Una vez hecha la selección, se procede a explicarles los fundamentos y requerimientos didácticos que debe contemplar su trabajo de investigación científica para que esté en correspondencia con el año que este cursa. Luego se les orienta estudiar materiales bibliográficos relacionados con la temática escogida que existen en la cátedra y que busquen la mayor cantidad de información posible.

Una buena parte de la bibliografía que se les orienta son artículos seleccionados de revistas editadas en Cuba como *Energía y Tú* y *Eco Solar*, que publican artículos de corte popular e investigativo, además de experiencias innovadoras desarrolladas en el país y fuera de este, relacionadas con la temática energética y medioambiental. Ello no excluye la búsqueda en internet y la web docente de la universidad.

Es importante señalar que los estudiantes tendrán asignado un profesor tutor que los atenderá durante el

transcurso de su investigación, aportando toda su experiencia y guiando el trabajo que este vaya desarrollando. Los profesores convendrán con el estudiante las sesiones de encuentro para discutir y chequear el desarrollo de las actividades a partir de un plan de trabajo mensual. Lo que se pretende es que el estudiante asuma una posición científica y se defina por una línea de investigación acorde con las temáticas de estudio de la cátedra, que resuelva un problema de carácter social relacionado con su labor profesional. Dicha investigación debe transitar por los diferentes años y estar en correspondencia con las normas preestablecidas que exigen los trabajos científicos por años. La mayor aspiración debe ser la presentación de sus resultados en su trabajo de diploma.

La divulgación científica constituye indudablemente, para ciertos sectores de la población escolar, una fuente de importante de aprendizaje. Está suficientemente constatada la influencia que las concepciones e ideas de los alumnos tienen en el aprendizaje de la ciencia y cómo estas tienen orígenes muy diversos, entre los que se encuentran la cultura en un sentido amplio y los medios de comunicación [Prieto, Blanco, 1997]. Aprender ciencia no supone, en muchos casos, la adquisición de ideas y conceptos nuevos, sino la modificación de otros ya existentes o la integración de diferentes conceptos, utilizados en distintos contextos en la ciencia y la vida cotidiana.

No cabe duda que el trabajo con los grupos científicos estudiantiles constituye una fortaleza y un eslabón fundamental para multiplicar e irradiar conocimientos desde los centros de práctica docente. Muchos de los trabajos que se realizan por la cátedra se socializan en estos centros de práctica docente, desde la creación de sociedades científicas estudiantiles con estudiantes de preuniversitario hasta la creación de círculos de interés.

En la figura 1 se aprecia una de las actividades realizadas en las puertas abiertas de la universidad, donde uno de los estudiantes del grupo científico de 3er año de Matemática-Física expone y explica el principio de funcionamiento de algunos de los dispositivos que utilizan fuentes renovables de energía, construidos por ellos para estudiantes de preuniversitario y profesores que laboran en los centros ubicados en áreas aledañas a la universidad.



Fig. 1. Estudiantes exponiendo trabajos de la cátedra.

La presentación del equipamiento demostrativo sobre las diferentes fuentes de energía se ha llevado a cabo en las ferias de las ciencias, palacios de pioneros, actividades de puertas abiertas y en los preuniversitarios de Ciudad Escolar Libertad.

En la figura 2 se muestra una de las exposiciones relacionadas con la máquina de vapor a escala demostrativa, realizada en centros escolares, donde se explica el principio de funcionamiento de este dispositivo, así como la importancia que tuvo en su época en la generación de electricidad.



Fig. 2. Máquina de vapor a escala demostrativa.

Este tipo de actividad es muy motivadora, tanto para el estudiante del grupo científico que realiza la actividad práctica, como para los estudiantes de cualquier nivel de enseñanza, quienes año por año se acercan a las áreas de la universidad para participar en una actividad organizada por la dirección provincial y los profesores de la universidad. En esta se exponen y se discuten temas de actualidad científica, en torno a cuestiones vinculadas con el funcionamiento de diversos dispositivos que operan con fuentes renovables de energía.

Se desarrollan además charlas educativas relacionadas con estas temáticas y se realizan experimentos con materiales de fácil adquisición. De esta forma se contribuye a que el estudiante aporte también sus experiencias, vinculándose directamente con los nuevos métodos de la actividad científica y sea un divulgador de la ciencia por excelencia.

La actividad es permanente y se realiza de manera rotativa por todos los estudiantes agrupados en los colectivos de investigación que se organizan. Asimismo, define otras acciones de importancia referidas especialmente al mantenimiento del equipamiento, su mejoramiento y su innovación permanente, de forma que mejore la calidad de las demostraciones a realizar; además de garantizar la preparación profesional de los estudiantes, toda vez que los entrena en el trabajo con el material de laboratorio, en la acción demostrativa del funcionamiento de diferentes tecnologías.

Anualmente la cátedra y en particular los grupos científicos, se encargan de preparar y diseñar los montajes con el equipamiento experimental para la feria de la ciencia en el Parque Metropolitano de La Habana. Esta actividad, convocada y auspiciada por el Citma, cuenta además con el apoyo de Cubasolar, organización de la sociedad civil que promueve y divulga el uso de las fuentes renovables de energía en el país. En la feria los estudiantes exponen

sus vivencias y experiencias en el trabajo de la cátedra, asignándosele a cada uno de ellos un dispositivo para que expliquen su funcionamiento, contribuyendo así a fomentar una cultura de ahorro y de eficiencia energética (Fig. 3).

Esta actividad tiene un impacto extraordinario más allá de las fronteras de la universidad, pues se encarga de educar y concientizar de manera masiva a todos los ciudadanos, en especial a niños y jóvenes que se sienten muy motivados por ampliar sus conocimientos científicos y conocer todo lo relativo al funcionamiento y uso de estas energías.



Fig. 3. La educación energética en la Feria de la Ciencia.

Otra actividad que ocupa el tiempo de los estudiantes es la elaboración y organización de la web de la cátedra, tarea que se lleva a cabo bajo la orientación de uno de los profesores. Dicha labor se centra fundamentalmente en el diseño de un sitio web de energía solar mediante una plataforma que tiene varias ventajas, tanto para los docentes como para los estudiantes, ya que sirve como fuente de información y brinda la posibilidad de interactuar de manera más activa; además de presentar grandes facilidades para editar contenidos de formación y obtener resultados en soporte web, presentación electrónica e imprimirlos, según los requerimientos editoriales; permite además adaptar los módulos a las necesidades de los estudiantes, mediante la creación de diferentes versiones de contenidos, a través de una simple reorganización y selección de estos, evitando la redundancia. Véase una de las páginas del sitio web mostrada en la figura 4.



Fig. 4. Página del Sitio Web de la Cátedra.

Teniendo en consideración la orientación didáctica asumida por la cátedra, de acercar a los estudiantes a modos de trabajo propios de la actividad científica contemporánea, un papel determinante son los experimentos docentes que diseñan y realizan los grupos de estudiantes. A continuación se exponen algunos de ellos:

- Determinación de las características de la radiación solar térmica en diferentes lugares de la universidad y su capacidad para producir variaciones de temperatura en los cuerpos y sustancias.
- Cálculo de la cantidad de paneles fotovoltaicos a instalar para cubrir las necesidades energéticas de locales de aulas y otros locales.
- Cálculo experimental de la radiación solar térmica que llega a la Tierra, midiendo la potencia por unidad de área para determinar la cantidad de calentadores solares de agua que se deben instalar en azoteas de diferentes edificaciones de la universidad.
- Estudios de consumo eléctrico en áreas de la universidad.
- Diseño de circuitos, modelos y maquetas para medir magnitudes como la intensidad de la corriente, tensión eléctrica y potencia de diversos consumidores conectados en serie y en paralelo mediante el software electronic workbench.

Conclusiones

El trabajo científico estudiantil descrito tiene un gran impacto en la calidad de la labor profesional que realizan los profesores encargados de atender esta actividad. Este permite obtener resultados científicos investigativos a partir del proyecto de investigación de la cátedra Dulce María Escalona, del proyecto de Física y del Centro de estudios de Educación Ambiental de la Universidad de Ciencias Pedagógicas Enrique José Varona.

Eleva el caudal de información científica y técnica disponible sobre la temática de las fuentes renovables de energía y la energía en general, constituyendo un repositorio de información valiosa y actualizada para profesores y estudiantes adjuntos a la cátedra o fuera de esta.

Favorece el intercambio de manera activa entre el profesor y el estudiante en los temas especializados de investigación, potenciando la autopreparación de los profesores y estudiantes para cumplimentar las diferentes tareas que se proponen, además de elevar el interés por la carrera de Matemática-Física.

Bibliografía

- CHIRINO RAMOS, M. Y B. G. GARCÍA (2005). «El trabajo científico como componente de la formación inicial de los profesionales de la educación». Educación Cubana. La Habana, p.1.
- FUNDORA LLITERAS, JUAN (2014). «El trabajo científico estudiantil en la Cátedra de Educación Energética de la UCPEJV una fuente de formación profesional y humana», en *Órbita Científica*, Universidad de Ciencias Pedagógicas Enrique José Varona No. 79 vol.20, p.3.
- FUNDORA LLITERAS, JUAN; JULIO VÁZQUEZ CONDE Y ADRIÁN CUBAS (2012). «La educación energética y el proceso de enseñanza aprendizaje de la Física», en revista Varona No. 55. La Habana: UCPEJV.
- PRIETO, T., A. BLANCO (1997). «Las concepciones de los alumnos y la investigación en didáctica de las ciencias». Málaga: SPICUM de la Universidad de Málaga y Centro de Profesores de Málaga.
- PRIETO, T. Y A. BLANCO (2011). «Trabajo Científico Estudiantil». Vice-rectoría de Pregrado. La Habana curso 2011 – 2012.
- MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR (2012). Resolución No. 90/07. La Habana.
- VALDÉS P y R. VALDÉS (2001). «La educación científica y los rasgos fundamentales de la actividad científica investigadora». Julio – diciembre. Revista *Varona* No. 33. La Habana.

Valoración de los métodos de evaluación de la sustentabilidad

Por **Dania González Couret***

* Dra. en Ciencias. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba.
dania@arquitectura.cujae.edu.cu

Resumen

A partir de un enfoque «tercermundista», el trabajo incursiona en algunos métodos internacionales para evaluar la sustentabilidad de proyectos y obras a escala arquitectónica y urbana, con vistas a valorar de forma comparativa sus fortalezas y debilidades, teniendo en cuenta fundamentalmente su posible aplicación en países en desarrollo y particularmente en Cuba. La investigación se inició con la búsqueda de un método para evaluar la sustentabilidad de la Universidad de las Ciencias Informáticas, posteriormente ampliada con la inclusión de la experiencia africana. Las categorías de evaluación difieren de un sistema a otro, pero todos hacen énfasis en la dimensión ambiental de la sustentabilidad. Solo los métodos provenientes de países en desarrollo incluyen la dimensión social y la necesidad del enfoque endógeno, lo cual constituye un importante reto actual para América Latina.

Palabras clave: sustentabilidad, metodologías de evaluación, certificación.

About methods to evaluate sustainability

Abstract

From a Third World vision, the present paper deals with some international methods to evaluate sustainability in Projects and realizations, at architectural and urban scale, in order to, value in a comparative way, strengths and weakness, mainly taking into account their possible application in developing countries, and particularly in Cuba. The research started by looking for a method to evaluate sustainability in the University of Informatics Sciences, and it was later on extended with the inclusion of the African experience. The evaluative categories differ from one system to the other, but all of them emphasize the environmental dimension of sustainability. Only two methods coming from developing countries include social dimension and the necessity of an endogenous approach, which is an important current challenge for Latin America.

Key words: Sustainability, methodologies, certification.

Introducción

Aunque la traducción del término original en inglés «sustainability» oficialmente usada en Cuba es «sostenibilidad», la autora del trabajo, coincidiendo con otros muchos especialistas, prefiere usar el vocablo «sustentabilidad». Los intentos por elaborar metodologías para evaluar la sustentabilidad en Cuba datan de algo más

de 20 años; pero de manera general predominaron en ellos los enfoques tecnológicos que conducían a resultados discutibles [Velásquez, 2003]. En el Centro de Estudios para las Construcciones y la Arquitectura Tropical (Cecat) se desarrollaron durante los años noventa diversas investigaciones, que incluyeron defensas de

tesis doctorales de aspirantes extranjeros, dirigidas a elaborar métodos para evaluar la sustentabilidad de soluciones constructivas. No obstante, aún es posible encontrar investigadores que insisten en plantearse como objetivo la búsqueda de tales procedimientos, a pesar de que en las últimas dos décadas numerosos de ellos se han elaborado y aplicado a escala internacional. El presente trabajo pretende ofrecer una valoración de algunos de los métodos más conocidos y empleados para evaluar la sustentabilidad de los edificios, a partir de un enfoque «tercermundista», tomando como base la investigación iniciada en 2013 para diagnosticar la sustentabilidad de la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI) [González, Llovet, y Rodríguez, 2013] y continuada posteriormente, con la inclusión de nuevos procedimientos provenientes de países en desarrollo.

Materiales y métodos

La necesidad de evaluar la sustentabilidad de la Universidad de las Ciencias Informáticas, con vistas a ofrecer vías para mejorar su desempeño, llevó a una revisión bibliográfica y recopilación de información sobre diferentes métodos de evaluación de la sustentabilidad a escala arquitectónica y urbana. El proceso condujo además, a evaluar de manera comparativa esos métodos, partiendo de las variables que podrían resultar de interés para las condiciones de Cuba. La elaboración de tablas, cuadros resúmenes y matrices sirvió de base para el análisis comparativo de los principales métodos considerados, identificar sus rasgos comunes y sus particularidades y valorar las potencialidades y limitaciones para su aplicación en el país.

La primera etapa de valoración de los métodos llevada a cabo durante el trabajo en la UCI, fue posteriormente ampliada, durante la etapa de preparación de un trabajo presentado en el Congreso Internacional Ecociudades2013 [González, 2013], con la inclusión de nuevos procedimientos provenientes de África y Asia. Las reflexiones finales emanadas de estas dos etapas de la investigación se exponen en el trabajo.

Métodos utilizados

Durante las últimas dos décadas se han elaborado y aplicado diversos métodos para evaluar y certificar la calidad del edificio o el proyecto, estableciendo su sustentabilidad. Su empleo tiene un carácter voluntario, pero estos sistemas de evaluación aportan a la arquitectura un valor añadido para competir en el mercado. Entre los más usados a escala internacional se encuentran [Evans, 2010]:

- BREAM: «Building Research Establishment Environmental Assessment Method» (Método de evaluación medioambiental para el desarrollo investigativo del edificio), del Reino Unido.
- LEED: «Leadership in Energy and Environmental Design» (Líder en eficiencia energética y diseño sustentable), de Estados Unidos.
- Green Star (Estrella verde) de Australia.
- CASBEE: «Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency» (Sistema de evaluación

exhaustivo para la eficiencia medioambiental en edificios), de Japón.

A los cuatro anteriores se suman otros como DGNB: «Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen» (Compañía alemana para edificios duraderos), de Alemania; HQE: «Haute Qualité Environnementale» (Alta calidad ambiental), de Francia; GRIHA: «Green Rating for Integrated Habitat Assessment» (Evaluación sustentable del hábitat integral), desarrollado en la India; GBAS de Taiwan; CETHAS de China; P.ITHACA de Italia y NABERS: «National Australian Built Environment Rating System» (Sistema de evaluación medioambiental para la construcción nacional en Australia); Eco-Profile de Noruega (Perfil ecológico) y el Estandar Passivhaus de Alemania, especializado en la eficiencia energética de la edificación.

BREAM

Es el método de evaluación y certificación voluntario de la sustentabilidad de los edificios más utilizado en el mundo, desarrollado en el Reino Unido por Building Research Establishment (BRE) en 1988 y puesto en marcha en 1990 [Bream, 2013]. Esta herramienta de evaluación en la proyección supone una inversión que se recupera rápidamente con el ahorro de energía y agua, así como el aumento del nivel de confort y calidad de vida. Incluye un conjunto de requisitos y créditos en 10 parámetros de evaluación:

- Gestión y planeamiento de la construcción: política de administración y manejo del sitio.
- Salud y confort: temas internos y externos (ruido, luz, calidad del aire).
- Energía: energía operacional y producción de dióxido de carbono (CO₂).
- Transporte: emisiones de CO₂ debido al transporte y factores relacionados con la localización.
- Consumo de agua: consumo y eficiencia interna y externa.
- Materiales: impactos de los materiales de construcción, incluyendo los ciclos de vida.
- Residuos: eficiencia en los recursos de construcción y administración y minimización de los residuos operacionales.
- Usos del suelo y ecología: tipos de sitios y huella de la edificación. Valores ecológicos, conservación y mejoramiento del sitio.
- Contaminación: externa del aire y del agua.
- Innovación: aplicación de dispositivos o tecnologías innovadoras.

El BREAM otorga cinco niveles de cumplimiento: «Aprobado» (30 puntos o más), «Bueno» (45 puntos o más), «Muy bueno» (55 puntos o más), «Excelente» (70 puntos o más) y «Sobresaliente» (85 puntos o más), de un total de 110 posibles puntos. Se puede aplicar a escala urbana y arquitectónica, para lo cual establece diversas categorías (comunidades, casas, multiresidencial, educación, oficinas, comercio, salud, industria, tribunales, prisiones, etcétera). Entre los proyectos evaluados con certificación

BREAM se encuentran el hospital Infanta de Sofía y un edificio de oficinas (Fig. 1), ambos en Madrid.



Fig. 1. Edificio de oficinas con certificación BREAM en Madrid [Bream, 2013].

LEED

Es un sistema de evaluación y certificación voluntario que potencia y promueve buenas prácticas de proyección, con principios sustentables, y certifica la implantación real de estrategias en el edificio acabado y funcionando. Fue desarrollado por el Consejo de la Construcción Verde de Estados Unidos (USGBC: United States Green Building Council) e implantado en el año 1998, momento a partir del cual se ha utilizado en varios países. Establece cinco variables iniciales básicas para la evaluación [Kubba, 2010]:

1. Sustentabilidad del sitio: promueve el máximo aprovechamiento de las potencialidades que ofrece el sitio, minimizando el impacto negativo del proyecto en su entorno, durante y después de la construcción. También se otorga este crédito a proyectos que contribuyen a reducir el efecto de isla de calor, utilizan transporte alternativo e incorporan el uso de energías renovables.
2. Eficiencia en el uso del agua: los créditos se otorgan a los diseños de paisajes y edificios que reducen el consumo de agua potable para labores de riego o instalaciones hidráulicas y en su lugar utilizan el agua pluvial.
3. Energía y atmósfera: se verifica que los sistemas energéticos instalados tengan un correcto funcionamiento y que el edificio consuma un mínimo de energía. Se otorgan créditos a los proyectos que optimizan el consumo energético y utilizan energías renovables generadas en el sitio.
4. Materiales y recursos: el sistema otorga créditos por el uso en las edificaciones de materiales reciclables y de bajo impacto ambiental, así como por la reutilización para el nuevo proyecto de partes existentes de otro edificio. La aplicación de estrategias para el uso eficiente de los materiales permite reducir los costos.
5. Calidad ambiental interior: esta categoría evalúa la calidad del aire interior, el confort térmico y lumínico. Se otorgan créditos a los edificios que incorporen tecnologías para el manejo de la ventilación, sensores de dióxido de carbono y para el control del humo, entre otros.

Posteriormente, en 2009, se incorporaron al sistema de evaluación LEED dos nuevas variables o categorías:

1. Innovación en el diseño: ofrece oportunidades para recibir puntos adicionales por actuaciones que excedan los requerimientos del LEED, con el objetivo de reconocer y premiar proyectos innovadores en el ámbito de la sustentabilidad. De esta manera se promueve la investigación en áreas aún no exploradas.
2. Prioridades regionales: se otorgan créditos adicionales a aquellos proyectos que tienen en cuenta características específicas de la región de emplazamiento.

Cada una de estas categorías o variables incluyen requisitos de obligatorio cumplimiento (prerrequisitos) y otros de carácter voluntario, que suman un total de 100 puntos, a los cuales se suman otros 10 posibles, por las nuevas categorías de «Innovación en el Diseño» (seis puntos) y «Prioridades regionales» (cuatro puntos). A partir de la puntuación obtenida se establecen cuatro niveles de certificación: «Certificado» (40-49 puntos), «Plata» (50-59 puntos), «Oro» (60-79 puntos) y «Platino» (80 puntos o más). Este método de evaluación posee diversos sistemas de evaluación o estándares, que dependen del uso y complejidad del edificio:

a) Diseño y construcción de edificios verdes:

- Nuevas construcciones y renovaciones de gran importancia (conocido como LEED-NC).
- Centros y proyectos de desarrollo.
- Escuelas.

b) Diseño interior verde y construcción:

- Interiores comerciales.
- Interiores de venta.

c) Operación y mantenimiento de edificios verdes:

- Edificios existentes. Operación y mantenimiento.

d) Desarrollo de barrios verdes: LEED para desarrollo de barrios.

e) Diseño y construcción de casas verdes: LEED para viviendas.

El aeropuerto de Yereván presenta el certificado de «Oro» de LEED (Fig. 2) [Yereván, 2013].



Fig. 2. Aeropuerto de Yereván con certificado de «Oro» de LEED [Yereván, 2013].

Green Star

Es un método voluntario de evaluación y certificación de sustentabilidad que tiene como objetivos principales prevenir la contaminación y reducir los residuos. Fue implementado en 2003 por la GBCA (Green Building Council Australia) y abarca 9 categorías que evalúan el impacto ambiental:

1. Gestión: adopción de principios de desarrollo sustentable a través del diseño, desde la concepción del proyecto y posteriormente en la construcción y puesta en marcha.
2. Calidad ambiental interior: rendimiento de los sistemas de climatización, iluminación u otros que puedan ser contaminantes.
3. Energía: reducción de emisiones de gases de efecto invernadero durante la construcción, reducción de la demanda de energía, eficiencia en el uso y generación de fuentes alternativas de energía.
4. Transporte: reducción de demanda de automóviles y fomento del uso de transporte alternativo.
5. Agua: ahorro de agua potable a través del diseño eficiente de los servicios, reutilización y reciclaje del agua, así como uso de agua pluvial.
6. Materiales: utilización eficiente de los recursos, a través de la adecuada selección de materiales y su reutilización.
7. Uso del suelo y ecología: reducción de impactos del proyecto en el entorno inmediato, conservación y restauración de la flora y la fauna.
8. Emisiones: fuentes puntuales de contaminación a la atmósfera por los edificios y servicios de construcción, el curso de agua y los ecosistemas locales.
9. Innovación: promueve innovaciones del mercado inmobiliario.

La importancia de cada una de estas categorías se adecua a las condiciones locales específicas en cada país o región. La puntuación máxima es de 100, con cinco puntos adicionales por la innovación. La escala de calificación se establece a partir del número de estrellas que se otorgan, según la puntuación obtenida: una estrella (10-19 puntos); dos estrellas (20-29 puntos); tres estrellas (30-44 puntos); cuatro estrellas (45-59 puntos); cinco estrellas (60-74 puntos); seis estrellas (75-100 puntos). Sin embargo, Reed, Bilos, Wilkinson y Schulte, [2009], se han referido al sistema Green Starcon un total de 145 puntos.

Para su aplicación, este método clasifica los edificios según su función en los diferentes sectores (educación, salud, comercio, industria, residencial de múltiples unidades) e incluso, subdivide las oficinas en proyectos, obras construidas e interiores. Entre los edificios certificados con el sistema Green Star se encuentran: un edificio de apartamentos en Seattle, Estados Unidos; «The Gauge», Australia (Fig. 3) [El Gauge, s/f]; el edificio de la Facultad de Economía y Comercio en la Universidad de Melbourne, también de Australia, que obtuvo la calificación «Una estrella», así como el edificio de apartamentos de Serrata, con la calificación «Cuatro estrellas».



Fig. 3. «The Gauge», Australia, certificado con el sistema «Green Star» [Reed, Bilos, Wilkinson y Schulte, 2009].

CASBEE

Es un sistema voluntario de certificación de diseño, construcción y operación de edificios, desarrollado en Japón en 2004 por el «Japan Sustainable Building Consortium» (JSBC), institución responsable y el «Japan Green Build Council» (JaGBC). Incluye requisitos y créditos a cumplir según los siguientes parámetros:

1. Eficiencia energética.
2. Eficiencia en el uso de recursos.
3. Medioambiente local.
4. Ambiente interior.

Estas categorías se reordenan atendiendo a dos criterios de certificación:

- Calidad (Q)
- Cargas (L).

Una construcción obtiene mayor puntuación en la medida que aumenta la Q y disminuye L. El parámetro Q

(Calidad) evalúa las mejoras en la calidad de vida para el usuario dentro del espacio interior, en tres categorías:

- Q1 Calidad ambiental interior.
- Q2 Calidad del servicio.
- Q3 Medioambiente del entorno.

Cargas (L): evalúa los impactos ambientales negativos del edificio sobre el espacio exterior, también en tres categorías:

- L1 Energía.
- L2 Recursos y materiales.
- L3 Medioambiente regional-global.

Sobre esa base, el CASBEE otorga cinco niveles de cumplimiento: C (bajo), clase B-, clase B+, clase A y clase S (excelente). Se aplica a edificios (oficinas, escuelas, viviendas) y también a proyectos urbanos. Contiene varias herramientas de evaluación [Evans, 2010]:

- CASBEE para el pre-diseño (CASBEE-PD): pretende asistir a los diseñadores en la correcta selección de los emplazamientos y en la estimación de los impactos ambientales preliminares.
- CASBEE para nuevas construcciones (CASBEE-NC): permite obtener una valoración a partir de las especificaciones del diseño y la estimación del rendimiento esperado.
- CASBEE para edificios existentes (CASBEE-EB): está dirigido a edificios en los cuales se disponga de al menos un año completo de registros de funcionamiento, para estimar su eficiencia.
- CASBEE para rehabilitación de edificios (CASBEE-RN): permite valorar propuestas de rehabilitación de edificios.
- CASBEE para edificaciones temporales (CASBEE for Temporary Constructions): pabellones de exhibiciones en los que, debido a su corto ciclo de vida, los materiales utilizados y su reciclaje posterior deben tener una consideración especial.
- El módulo CASBEE UD (CASBEE for Urban Development): se ha desarrollado para su aplicación en la renovación de centros urbanos que incluyan varios edificios.

Un edificio que ha obtenido la máxima calificación CASBEE «S» (excelente) es la sede central de la empresa Nissan en Yokohama (Fig. 4), por su efectiva reducción del consumo de energía en climatización e iluminación, el uso de cubiertas verdes para reducir la isla de calor, el aprovechamiento del agua de lluvia y la utilización de materiales reciclados.

Los países en desarrollo

A excepción del Sistema Nacional de Evaluación de Edificios Verdes, creado por el Ministerio de Energías Nuevas y Renovables de la India (GRIHA en inglés), todos los métodos referidos se han concebido en países desarrollados, por lo cual, prácticamente todas las variables consideradas corresponden a la dimensión ambiental de la

sustentabilidad, y no se incluyen los aspectos sociales. Por ello es necesario ajustar los indicadores generales para medir la sustentabilidad, elaborados por los países desarrollados, a las particularidades de las regiones en desarrollo, y en este sentido ya se han comenzado los primeros pasos.

El GRIHA [MINRE, s/f] adopta la tradicional filosofía de las «3R» (reducir, reusar, reciclar). Lo novedoso en este caso es que el primer principio derivado de las «3R» consiste en el rechazo a la adopción ciega de tendencias internacionales, y el último contempla la reinención de los sistemas de ingeniería, diseño y práctica, en lugar de seguir los ejemplos globalizadores. Esto demuestra una marcada intención de rechazar influencias foráneas y buscar soluciones endógenas a partir de sus propias potencialidades.

Por otro lado, es significativo que sean precisamente los países de África, cuyos indicadores de pobreza son mucho mayores que los de América Latina, los que hasta hoy han logrado cohesionarse más en torno al objetivo de desarrollar formas para evaluar la sustentabilidad de los edificios, más apropiadas a las particularidades de las regiones en desarrollo.



Fig. 4. Sede central de la empresa Nissan en Yokohama, calificada de «S» (excelente) por CASBEE [Serrata, 2013].

Esto quedó demostrado en la Declaración de Nairobi sobre edificios verdes, para la conferencia sobre el sistema de evaluación de edificios verdes en África (Fig. 5) [ONU Hábitat, 2010], entre cuyos objetivos se plantea reducir las emisiones de CO₂ y mejorar la habitabilidad de las ciudades con vistas a adaptarse al cambio climático. En ese sentido, urge elevar la calidad del ambiente construido, especialmente el desempeño ambiental y la eficiencia energética de los edificios. El documento subraya la importancia de tener en cuenta las especificidades sociales y culturales de África, particularmente, las prácticas tradicionales que han probado ser ambientalmente beneficiosas, a la vez que se atienden las necesidades de la población en la base de la pirámide económica y social que requiere viviendas accesibles y soluciones simples y económicas.



Fig. 5. Conferencia sobre el sistema de evaluación de edificios verdes en África [ONU Hábitat, 2010].

Lo más interesante de la experiencia africana es el desarrollo y uso de un sistema de evaluación de edificios verdes que tengan un desempeño ambiental mejorado en todas las fases del ciclo de vida. Ello incluye la iluminación, la ventilación natural y el empleo de materiales no tóxicos, argumentando que son más saludables para sus habitantes, menos caros de operar y más valiosos en el mercado, al reducir el consumo de energía, agua y otros recursos. Declaran que esto se logra desde la concepción y primera etapa de diseño, se implementa en la construcción y su desempeño se mide y monitorea continuamente en la operación.

Con este fin han creado los Consejos de Edificios Verdes, de los cuales existen 60 en el mundo, organizados en sedes regionales bajo la sombrilla del Consejo Mundial, que trabajan en el desarrollo de una herramienta de evaluación de edificios verdes a partir de las que ya existen en países desarrollados, modificándolas en función del necesario empleo de materiales de bajo costo en las viviendas y la inclusión de un rango más amplio de temas como los sociales, que están garantizados por regulaciones en el mundo desarrollado.

Especial énfasis ponen los africanos en los materiales de bajo costo, porque la mayoría de los expertos estiman que la energía embebida en los materiales está entre 15 %-20 % del impacto energético del edificio durante su vida útil, asumida en 50 años. Pero la mayoría de los materiales de construcción que ellos emplean (ladrillos de adobe, bloques de tierra comprimida, bloques de paja y otros productos a base de biomasa) no están certificados en ningún sistema [ONU Hábitat, 2010]. Los países africanos se han propuesto entrenar a los profesionales, introducir prácticas de edificios verdes en el sistema de educación, apoyar a los gobiernos y establecer los Consejos de Edificios Verdes a nivel nacional o subregional. Se proponen también crear una red africana para incrementar el intercambio entre expertos, profesionales, decisores y el sector privado, así como elaborar políticas y regulaciones que permitan impulsar estos temas.

Comparación de métodos

Un análisis comparativo de los cuatro métodos más ampliamente usados a escala internacional (BREAM, LEED,

Green Star y CASBEE) permite reconocer que el más antiguo es el BREAM, surgido en 1990, y que los sistemas CASBEE y Green Star poseen un alcance de aplicación limitado a las regiones de origen (Japón y Australia), ya que los temas que abordan tienen un fuerte carácter regional.

Por el contrario, los métodos LEED y el BREAM, aunque se concibieron fundamentalmente para los países donde se crearon (EE.UU. y Ucrania), se pueden adaptar y aplicar prácticamente en cualquier lugar, pues tratan cuestiones más generales de la sustentabilidad. No obstante, se ha reconocido la necesidad de desarrollar procedimientos específicos adecuados a las condiciones de las regiones en desarrollo, que consideren los materiales y recursos disponibles localmente y que contemplen no solo la dimensión ambiental de la sustentabilidad, sino también la económica y, fundamentalmente, la social.

Los principales objetivos de cada uno de estos métodos coinciden en promoverla aplicación de principios sustentables en el diseño de edificaciones o zonas urbanas, fundamentalmente para reducirlos impactos ambientales y el consumo de recursos naturales, así como mejorar la calidad de vida de los usuarios. Sin embargo, cada sistema establece sus propios niveles de certificación.

La calificación de la evaluación en LEED, Green Star, y CASBEE no es equivalente al BREEAM. La categoría Green Star «Seis Estrellas» (la mayor evaluación posible del Green Star) y la «Platino LEED» (mayor calificación LEED posible) aproximadamente, equivalen a «Muy bien» en BREEAM [Reed, Bilos, Wilkinson y Schulte, 2009], lo que significa que este último es más exigente (Fig. 6).

BREEAM	LEED	Green Star	CASBEE
EXCELENTE			
MUY BUENO	PLATINO	SEIS ESTRELLAS	
BUENO	ORO	CINCO ESTRELLAS CUATRO ESTRELLAS	S A
APROBADO	PLATA	TRES ESTRELLAS	B+
	CERTIFICADO	DOS ESTRELLAS UNA ESTRELLA	B- C

Fig. 6. Comparación entre las categorías de evaluación de BREEAM, LEED, Green Star y CASBEE [González, Llovet y Rodríguez, 2013].

El sistema de puntuación se aplica en cada método según el tema que evalúa. El BREAM y el Green Star se actualizan anualmente, mientras que el LEED y el CASBEE no tienen un período fijo para su actualización, sino que esta se realiza cuando se considere necesario. Cada método posee diversos esquemas de validación, también llamados estándares, para diferentes tipos de edificios clasificados según su función, complejidad y etapa (proyección o construcción), y también para certificaciones urbanas. Hasta el año 2010 el método de evaluación con mayores certificaciones en edificios era el BREAM [Bream, 2013].

Los cuatro métodos coinciden y consideran las variables: uso del suelo, ecología, transporte, uso del agua, materiales, recursos, energía y calidad ambiental interior, aunque los parámetros de cada variable difieren de uno a otro. También varía la importancia de cada variable, según la prioridad

que se le otorgue en el país donde el método se ha creado. BREAM establece estándares más altos que LEED para la construcción y, en Green Star, la conservación del agua alcanza los niveles más altos de evaluación, por ser Australia un país rodeado completamente de agua.

La variable energética es una de las que mayor importancia recibe en cada uno de los métodos considerados. Sin embargo, el que más importancia le otorga es LEED-NC, que establece 35 puntos de evaluación en esta variable. Por otra parte, LEED es uno de los métodos que más aspectos incluyen en la evaluación de la sustentabilidad, y el único que asume la prioridad regional como una variable.

Es por ello que, a pesar de que BREAM es el método más antiguo y usado de manera general, LEED se tomó como base para realizar una evaluación cualitativa de la UCI a escala urbana [González, 2014].

Por su origen estadounidense este es el método más usado en América Latina (Fig. 7). Cuenta con un manual que establece las buenas prácticas a seguir en cada una de las variables que mide y, aunque fue concebido para medir la sustentabilidad en edificios, es posible su aplicación a escala urbana.



Fig. 7. «La Plaza», Ciudad del Saber, Primer edificio certificado LEED «Oro» en Panamá. Foto cortesía de la autora, 2014.

Conclusiones

La evaluación de la sustentabilidad de proyectos o realizaciones a escala arquitectónica y urbana requiere de un enfoque integral que considere las tres dimensiones de la sustentabilidad, no solo la ambiental, que es la que predomina en los métodos más ampliamente usados, elaborados en países desarrollados.

Con independencia de la posible validez general de algunos sistemas de evaluación, los parámetros e indica-

dores de referencia se deben ajustar en cada caso, según las particularidades y las prioridades en cada región.

Especialmente, los países en desarrollo necesitan elaborar sus propios sistemas de evaluación, adecuados a sus posibilidades y recursos, que otorguen importancia a las dimensiones económica y social, como ya está haciendo el continente africano.

Por la prioridad que concede a lo regional, el sistema LEED puede servir de base para evaluar la sustentabilidad a escala arquitectónica y urbana en Cuba, y hacer las adecuaciones necesarias para incluir la dimensión social.

Bibliografía

- BREAM (2013). <http://www.breem.es/>; s/f. [consultada en 2013].
- ELGAUGE (s/f). http://www.google.com.cu/imgres?imgurl=http://www.construible.es/images/news/1001_universidad-melbou. [consultado en enero 12, 2013].
- EVANS, J. (2010). «Sustentabilidad en Arquitectura 1». Buenos Aires: Consejo Provincial de Arquitectura y Urbanismo.
- GONZÁLEZ COURET, DANIA (2013). «Sustentabilidad urbana en América Latina. Retos y perspectivas». Congreso Internacional Ecociudades. Bogotá: Universidad de la Gran Colombia.
- GONZÁLEZ MILIÁN, N.; M. LLOVET SALAZAR, Y E. RODRÍGUEZ GARCÍA (2013). «Por una UCI más sustentable». Tesis de Diploma. Director: Dania González Couret. Facultad de Arquitectura. La Habana: ISPJAE.
- GONZÁLEZ MILIÁN, N.; M. LLOVET SALAZAR; E. RODRÍGUEZ GARCÍA Y D. GONZÁLEZ COURET (2014). «Por una Universidad de las Ciencias Informáticas más sustentable», en *Arquitectura y Urbanismo*: Vol. XXXV (3): pp. 104–113, 2014. Disponible en: <http://rau.cujae.edu.cu/index.php/revistaau>
- KUBBA (2010). *Practices, Certification, and Accreditation Handbook*. NY: LEED; 2010.
- MINRE, Ministry of New and Renewable Energy. Green Rating for Integrated Habitat Assessment. *The National Rating System for Green Buildings. The Little Book of GRIHA rating*. New Delhi; ADaRSH; s/f.
- ONU HÁBITAT (2010). «Conference on Promoting Green Building Rating in Africa». Nairobi: UN - Hábitat; 2010.
- REED, BILOS, WILKINSON Y SCHULTE, (2009). *International Comparison of Sustainable Rating Tools*. Vol. 1. NY: Green Star; 2009.
- Serrata. http://www.google.com.cu/imgres?imgurl=http://www.asocreto.org.co/boletin/jpg/sostenibilidad_6-2012/; s/f. [consultada en enero, 2013].
- VELÁSQUEZ RANGEL, A. (2003). «Método para la evaluación de la sustentabilidad de proyectos de vivienda». Tesis en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Santa Clara: UCLV.
- YEREVÁN (2013). <http://www.aia-zvartnots.aero/>; s/f. [consultada en enero 12, 2013].

Mejoramiento del sistema de iluminación e incremento de su eficiencia

Por **Percy R. Viego Felipe***; **Julio R. Gómez Sarduy****; **Dayron Molina Castellanos*****

*Profesor Titular. Profesor de Mérito. Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente (CEEMA),
Facultad de Ingeniería, Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos, Cuba.
pviego@ucf.edu.cu

**Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Titular. Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente (CEEMA),
Facultad de Ingeniería, Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos, Cuba.
jgomez@ucf.edu.cu

***Profesor Adiestrado. Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente (CEEMA), Facultad de Ingeniería,
Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos, Cuba.
dcastellanos@ucf.edu.cu

Resumen

Cuando se persigue el propósito de incrementar la eficiencia de un sistema eléctrico industrial o de servicio, un aspecto importante a tener en cuenta es el mejoramiento del sistema de iluminación. Aunque la iluminación no tenga un peso importante respecto al consumo total de electricidad de la instalación, se debe considerar su contribución. Ahora bien, este mejoramiento no solo se puede hacer desde el punto de vista energético, sino que se debe llevar a cabo teniendo en cuenta que la calidad de la iluminación no empeore y, preferiblemente, que mejore. En el trabajo se analizan los principios para evaluar los sistemas de iluminación, las estrategias, medios y herramientas de control para reducir el consumo energético e incrementar su calidad, incluyendo el efecto del mantenimiento en el logro de los objetivos que se persiguen. Mediante un caso de estudio desarrollado por los autores en el sistema de iluminación en una planta de la industria molinera, se demostró el logro del mejoramiento de la eficiencia y de la calidad, así como la efectividad económica del método.

Palabras clave: sistemas de iluminación, iluminación eficiente, calidad de la iluminación eficiencia energética.

Improvement and efficiency increase of lighting system

Abstract

When pursuing the purpose of increasing the efficiency of an industrial or service electrical system, an important aspect to consider is the energy improvement of the lighting system, which although it may not have a great weight in the electrical consumption with respect to the total of the installation, it always contributes. However, this improvement cannot be made only from the energy point of view, but must be carried out taking into account that the quality of the lighting does not worsen and, preferably, that it also improves. In this article, the principles to evaluate the lighting systems, the strategies, means and control tools to achieve the reduction of the energy consumption and the increase of its quality are analyzed, including the effect of maintenance in order to achieve the objectives that are pursued. Through a case study developed by the authors to the lighting system in a plant of a milling industry, it was demonstrated the achievement of the improvement of efficiency and quality, as well as the economic effectiveness of the method.

Key words: lighting systems, efficient lighting, lighting quality, energy efficiency.

Introducción

La energía eléctrica que se utiliza en la iluminación es generalmente un valor no despreciable del total que se consume en las instalaciones. Se estima que en los edificios comerciales, este puede llegar a ser de 40 % como promedio. En la industria y otros servicios, suele ser menor (en dependencia del tipo de proceso), pero siempre un componente del consumo a considerar. Si se instalan sistemas de iluminación eficientes, el uso de la energía y los costos se reducen. Estos nuevos sistemas también producen una mayor calidad de la iluminación, lo que mejora el ambiente laboral. La productividad del trabajo frecuentemente también aumenta, debido a la mejora en la visibilidad. Los encargados de evaluar y mejorar los sistemas de iluminación tienen que estar familiarizados con los conceptos fundamentales, nuevas tecnologías y equipos, así como con los métodos de cálculo y de mejoramiento de estos sistemas.

Evaluación del sistema de iluminación

El primer paso es realizar una evaluación del sistema de iluminación. Esto significa efectuar un examen sistemático y la apreciación de dicho sistema. Básicamente es un proceso de tres pasos:

- Levantamiento del sistema de iluminación.
- Identificación de oportunidades para mejoras (incluyendo el ahorro de energía).
- Cálculo de los ahorros y de la recuperación potencial de la inversión, lo cual está sustancialmente afectado por la información recolectada en el levantamiento del sistema.

Los enfoques simplistas en el proceso de evaluación resultarán, a la larga, en errores costosos. Para evitarlos se requiere de tiempo y esfuerzos. La evaluación de la iluminación, para ser efectiva, necesita incluir en el levantamiento aquellos aspectos relacionados con las tareas visuales y con el medio que va a ser iluminado. Aunque muchos utilizan los términos eficiencia y efectividad indistintamente, estos son diferentes.

Los sistemas de iluminación eficientes se pueden describir de acuerdo con su comportamiento. El comportamiento de las lámparas se expresa en flujo luminoso por unidad de potencia (lm/W) y los sistemas en densidad de potencia (W/m²). La iluminación efectiva describe cuán correctamente satisface el sistema de iluminación las tareas visuales. Aquí efectivo significa «hacer algo bien». La iluminación energéticamente efectiva provee luz, dónde se necesita y cuándo se necesita, con un mínimo de energía.

Enfoques del mejoramiento de los sistemas de iluminación

Hay distintos enfoques para el mejoramiento de los sistemas de iluminación. El más simple es la recomposición rápida por paquetes. Por ejemplo, sustituir lámparas T12 y balastos magnéticos por lámparas T8 y balastos electrónicos. Pero a menudo este enfoque produce resultados pobres. Los estudios muestran que muchos sistemas de

iluminación no proporcionan niveles adecuados de luz para las tareas que se realizan en un área, debido frecuentemente a cambios en el trabajo que se lleva a cabo en ese espacio. Cuando se sustituye el sistema original y no se efectúa un rediseño para acomodar las nuevas tareas, las consecuencias pueden ser malas.

Otra causa puede ser desconocer determinados parámetros de los elementos del nuevo sistema de iluminación como por ejemplo, el factor de balastro, que afecta el flujo luminoso de salida. Es posible que se seleccione un balastro basado en su baja potencia activa, pero que produzca un bajo nivel de iluminación debido a su reducido factor de balastro.

En otras situaciones, el mismo enfoque lleva a una iluminación degradada por otras razones. Los usuarios pueden percibir una falta de calidad de la luz debido a que la nueva combinación de elementos de las luminarias, por ejemplo, de lámparas y reflectores, no satisfacen las necesidades de las tareas que se realizan. Así, es posible que no se satisfaga el criterio de espaciamiento mínimo y esto resulte en áreas oscuras. Otro error puede ser reemplazar lámparas por otras que tengan más brillo y que los ocupantes del local se quejen de que «está muy brillante».

Un enfoque adecuado de la evaluación de la iluminación no compromete la calidad o los niveles de iluminación y, por tanto, produce mejores resultados. Los niveles de luz se deben diseñar específicamente para las tareas actuales que se realizan en los locales, y la calidad de la iluminación debe estar implícita en la solución. Un enfoque correcto, que produce mejores resultados, requiere de más conocimiento, de un trabajo más complejo y resulta frecuentemente en un período de recuperación de la inversión más prolongado.

Mejorar el comportamiento de las luminarias es una de las formas de incrementar la eficiencia de la iluminación y se puede lograr de diferentes maneras. La limpieza de las superficies de reflexión mejora la eficiencia óptica, permitiendo que se emita más luz. La instalación de reflectores especulares puede mejorar, tanto la eficiencia óptica como térmica y permitir el uso de menos lámparas o de balastos con factores de balastro más reducidos.

El mejoramiento con nuevos lentes o una remodelación de las rejillas antideslumbrantes, mejora también la eficiencia y le da a las luminarias una nueva apariencia. En la actualidad, se desarrollan sistemas inteligentes para mejorar la calidad y la eficiencia de la iluminación. Ellos pueden incluir equipos de alta eficiencia y controles automáticos que ajustan la intensidad de la luz, basados en las condiciones existentes como la disponibilidad de la luz del día o de la ocupación [Nikhil, Arun, y Sanjib, 2016]; [Xia y Zhang, 2017].

La instalación de nuevos accesorios brinda la oportunidad de cambiar los parámetros originales del sistema de iluminación, incluyendo el número de lámparas y el total de luminarias. La forma adecuada para determinar las cantidades necesarias es realizando los cálculos de iluminación, aunque hay algunas acciones aproximadas pero que suelen dar buenos resultados como la antes mencionada (sustituir una luminaria vieja de cuatro tubos T12 por una de tres tubos T8).

Los controles de iluminación pueden reducir la energía eléctrica utilizada en estos sistemas (expresada en kWh) de dos maneras: disminuyendo la potencia instalada para la iluminación (expresada en kW) o reduciendo el tiempo de trabajo (expresado en h) [Marques *et al.*, 2012]. De las dos formas se reducen los costos del consumo de electricidad. Además, la reducción de la potencia consumida (expresada en kW) conduce a la disminución de las demandas máximas en los distintos períodos, con la consecuente reducción en la demanda facturable.

Se puede reducir la energía y la demanda eléctrica, así como la calidad de la iluminación, empleando los nuevos sistemas con diodos emisores de luz, conocidos por sus siglas en inglés LED (Light-Emitting Diode). Las inversiones en estos sistemas se pagan generalmente en menos de tres años. Estas unidades de bajo consumo de energía son estéticamente agradables. Hoy los LED son unas 30 veces más brillantes que los de primera generación.

La vida prolongada de los LED los hace atractivos para los requerimientos de bajo mantenimiento y alta confiabilidad en las aplicaciones de seguridad. Estos pueden durar decenas de años sin mantenimiento, según el tipo y su accionamiento. Los sistemas de iluminación basados en LED se pueden utilizar hoy en día de manera eficaz y eficiente, aun con problemas de calidad en el sistema eléctrico [Molina *et al.*, 2017].

Estrategias de control de la iluminación para reducir el consumo. Reducción de las horas de operación

Las horas de operación se pueden reducir por medio de controles de encendido-apagado (*switching*), sensores de presencia, controles de tiempo programado y fotoceldas.

a) Controles de encendido-apagado.

Existen dos mitos que atentan contra el ahorro de energía en iluminación. El primero de ellos dice: «operar en forma continua las lámparas fluorescentes es más barato que apagarlas por breves períodos». Desconectar las lámparas ahorra energía, extiende su vida útil y reduce los costos de reemplazo. Por ejemplo, la corriente durante el encendido de una luminaria de dos lámparas, de arranque rápido, dura menos de un segundo y, por lo tanto, no tiene casi ningún costo energético. El segundo mito dice: «conectar y desconectar las luminarias acorta la vida de las lámparas e incrementa los costos de mantenimiento». Por ejemplo, las lámparas fluorescentes durarán más horas si se operan continuamente, pero tendrán más años de vida si se desconectan cuando no están en uso. Aunque la vida promedio nominal (en horas) de este tipo de lámpara se acorta por el encendido y apagado, el tiempo-calendario de vida (en años) se alarga.

El tiempo-calendario de vida es el tiempo en años entre cambio de lámparas e incluye el tiempo que las mismas están desconectadas. Así, las lámparas F40 estándar, de encendido rápido, operadas en forma continua, tienen una vida nominal de 34 000 horas (3,9 años-calendario de vida). Apagar estas lámparas por 12 horas cada día, decrece la vida nominal de la lámpara a 30 000 horas, pero extiende el tiempo-calendario de vida a 6,9 años. Desconec-

tar las lámparas incandescentes siempre ahorra dinero, porque ellas consumen la mayor potencia y el encendido frecuente solo afecta levemente su vida.

Debido a que las lámparas de alta intensidad toman tanto tiempo para encender y aún más tiempo para reencender, se recomienda operarlas bajo el principio iluminación alta-baja y no por encendido-apagado. También se puede emplear un método de operación programada.

Los controles típicos para encendido-apagado son:

- Estación de botones que operan contactores (relés especializados que manejan las cargas de iluminación).
- Interruptores de pared locales.
- Interruptores activados por llaves.

Los interruptores de encendido-apagado comprenden los de distintas vías; por encendido multicircuito; o utilizando balastos múltiples para controlar separadamente las lámparas. El encendido multicircuito se logra subdividiendo los circuitos de iluminación en pequeñas áreas y proveyendo cada área con un interruptor.

b) Sensores de presencia.

El reconocimiento de presencia es una estrategia que se puede aplicar en áreas ocupadas intermitentemente, con el objetivo de conectar las luminarias cuando hay personas presentes y apagarlas automáticamente después que el local está desocupado.

Los sensores de presencia se desarrollan a través de dos tecnologías principales: la infrarroja y la ultrasónica. Los sensores infrarrojos reaccionan solo ante el calor del cuerpo y detectan la ocupación mediante la diferencia de temperatura entre un cuerpo y el medio. Por medio de lentes se crean zonas cónicas de detección, de manera que los sensores infrarrojos censan un área y la controlan. Las paredes divisorias, los estantes y otros obstáculos bloquean la detección y pueden dejar a las personas en la oscuridad.

Los sensores ultrasónicos emplean detectores volumétricos. Transmiten ondas por encima del límite audible para las personas y miden el tiempo de retorno de las ondas. Las unidades ultrasónicas pueden detectar la presencia de personas detrás de obstáculos, pero son sensibles a los movimientos del aire.

Hay dos tipos de ajuste en estos sensores: sensitivo y de retardo. El ajuste sensitivo hace que una unidad sea más o menos sensible al movimiento. Las unidades ultrasónicas se deben ajustar de manera que no sean sensibles al movimiento del aire. El ajuste de retardo establece el tiempo que las luces se mantienen encendidas cuando no se detecta presencia. Un ajuste de retardo muy reducido, puede disminuir la vida útil de las lámparas y producir quejas de los ocupantes sobre este tipo de encendido. Un ajuste de 15 minutos debe resultar apropiado.

c) Controles de tiempo programado.

El control de tiempo programado es la estrategia empleada para activar, extinguir o ajustar la iluminación de acuerdo con un programa predeterminado. Es la más apro-

piada para instalaciones donde las acciones suceden en determinados momentos.

El uso de relojes es la manera más sencilla de implementar estrategias de programación. Hay diferentes tipos, que incluyen los electromecánicos, los electrónicos y los astronómicos. Los relojes de tiempo astronómicos se utilizan para controlar la iluminación exterior y cada día se pueden ajustar automáticamente a los tiempos de salida y puesta del sol. Existen variantes para controlar el encendido varias veces en el día; para saltar días que se eliminan del programa; para realizar programaciones semanales, etcétera. Una fuente de respaldo (*backup*) permite mantener la alimentación a los relojes cuando hay interrupciones del suministro de energía.

Cuando los relojes se utilizan para desconectar las luces en áreas ocupadas, deben tener un aditamento que permita advertir a los usuarios cuándo las luces van a ser apagadas, de manera que estos puedan extender el tiempo de encendido si fuese necesario. Existen sistemas para el apagado secuencial en la iluminación de edificios.

d) Fococeldas.

Los interruptores de fotocelda son aquellos que se activan por la luz y que desconectan el alumbrado cuando la luz del día resulta adecuada para la realización segura y confortable de las tareas en un área determinada. Un aditamento de retardo evita una intermitencia rápida durante los días nublados.

Reducción de la potencia consumida

La graduación de la intensidad luminosa (*dimming*), el aprovechamiento de la luz del día y la compensación de la depreciación del flujo luminoso, son las tres estrategias principales de control para reducir la potencia eléctrica instalada en iluminación.

- 1) Graduación de la intensidad luminosa o *dimming*: ajuste de la luz de salida de las luminarias a un nivel específico deseado.

Hoy en día es posible lograr el *dimming* en la iluminación fluorescente (tanto de tubos convencionales como compactos) con balastos electrónicos ajustables que pueden reducir la intensidad luminosa hasta 5 % o 10 % de la salida nominal [Marques *et al.*, 2012].

El *dimming* en las lámparas de alta intensidad se logra con la reducción de la tensión. Un tipo común de control para estas lámparas es el de dos niveles, el cual utiliza un control a relé de capacitores en el compartimento del balastro que produce una reducción fija.

- 2) Aprovechamiento de la luz del día: estrategia de control que se aplica cuando se puede utilizar con efectividad para iluminar espacios interiores.

Estos sistemas cambian los niveles de iluminación artificial gradualmente, de acuerdo con el nivel de luz del día [Gutiérrez *et al.*, 2017]. La aplicación estratégica de fotosensores es la clave del sistema [Jianfei, Dong, y Pandhari-

pande, 2013]. A diferencia de las fotoceldas, que conectan las luces basadas en el nivel de iluminación, estos sensores de silicio incrementan o reducen la luz de un sistema fluorescente utilizando un balastro para graduar la intensidad luminosa.

3) Depreciación del flujo luminoso.

La salida de iluminación para cualquier tipo de lámpara, declina con su tiempo de funcionamiento, mientras que algunas, además, sufren un incremento de la potencia consumida a lo largo del tiempo. El resultado global es un descenso de la eficacia luminosa hasta alcanzar un punto en el que es económicamente más rentable reemplazar la lámpara por una nueva que esperar a que falle. En la figura 1 se muestra una curva de depreciación para una lámpara incandescente. Entre las causas de la disminución de la iluminación están:

- Ennegrecimiento de la superficie interior de la ampolla (producto de la evaporación del filamento en lámparas incandescentes y a la dispersión del material del electrodo que se deposita en las paredes de descarga (en el caso de las lámparas de descarga).
- Reducción gradual de la corriente de la lámpara motivada por el adelgazamiento del filamento en las lámparas incandescentes.
- Agotamiento gradual de los polvos fluorescentes en las lámparas fluorescentes y de mercurio.

Compensación de la depreciación del flujo luminoso

Es la más actual estrategia de control, la cual emplea fotosensores especiales que detectan el verdadero nivel del flujo luminoso y monitorean la depreciación de ese flujo en las lámparas [Jianfei, Dong y Pandharipande, 2013].

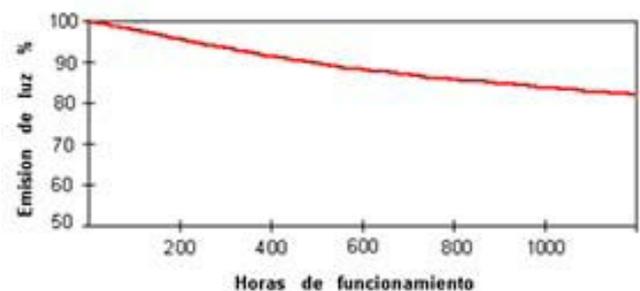


Fig. 1. Curva típica de depreciación para una lámpara incandescente.

Fuente: Elaboración propia.

Cuando las lámparas son nuevas y las superficies están limpias, la salida del balastro que gradúa la intensidad luminosa es baja y, por tanto, la potencia de entrada se reduce ahorrando energía. La potencia de entrada y el flujo luminoso se incrementan según las lámparas envejecen y las superficies acumulan suciedad, para compensar estos niveles de depreciación.

Mantenimiento

Los aspectos a considerar para el mantenimiento en la iluminación son:

- El flujo luminoso de salida de los sistemas de iluminación decrece con el tiempo.
- Muchos sistemas de iluminación están sobredimensionados para compensar la pérdida de flujo con el tiempo.
- Mejorar las prácticas de mantenimiento puede reducir la pérdida de flujo y reducir el uso de la energía o mejorar los niveles de iluminación.
- Las prácticas de mantenimiento por grupo ahorran dinero.
- El mantenimiento adecuado es la vía más efectiva (y a la vez menos apreciada) para reducir el costo total en iluminación.
- Cuando no se realiza el mantenimiento, el comportamiento del sistema de iluminación se afecta gradualmente. El resultado final es un sistema que puede operar a niveles tan bajos, a 50 % de sus capacidades potenciales.

A diferencia de lo que ocurre en otros sistemas tecnológicos de uso final de la energía, cuando a un sistema de iluminación no se le da mantenimiento, el consumo de energía se puede reducir. La potencia de entrada al sistema disminuye según las lámparas se queman y los balastos dejan de funcionar. Estos ahorros pueden ser ilusorios. Además, suele ocurrir que los usuarios compensan la pérdida de iluminación, utilizando equipos portátiles muy ineficientes.

La solución más efectiva es mantener altos niveles de iluminación, aplicando un plan de mantenimiento dirigido a cuatro factores de pérdida de iluminación, que son recuperables con la realización del mantenimiento: el coeficiente de lámparas quemadas, la depreciación de los niveles de iluminación de las lámparas con el tiempo, la depreciación de la luminaria por suciedad y la depreciación de la superficie del local por suciedad

Caso de estudio. Sistema de iluminación efectivo y eficiente

Para ejemplificar las potencialidades de ahorro y la factibilidad de un sistema de iluminación eficiente basado en lámparas LED, se presenta un caso de estudio sobre el mejoramiento del sistema de iluminación en el piso de una planta, en una industria molinera donde se encuentran los bancos de molinos. Estos son los encargados de triturar y reducir el grano de trigo, hasta extraerle el máximo de la harina contenida en él. Cada banco de cilindros cuenta con elementos de ajustes que un operador debe atender:

- Nivel del producto en el visor del banco.
- Velocidad del rodillo alimentador.
- Apertura de la cortina de alimentación.
- Ajuste de los cilindros.
- Calidad de la granulación a la salida de cada banco.
- Funcionamiento del sistema neumático de aspiración.
- Tensión de las correas de transmisión.

Los elementos antes mencionados requieren de la iluminación necesaria para una correcta operación, ya que se debe prestar atención a partes móviles y peligrosas de la máquina y a la calidad del producto que sale de cada una de las secciones de bancos. Además, se debe observar en el interior del banco el funcionamiento correcto y los ajustes de todas sus partes.

La norma cubana NC-ISO 8995/CIE 5008:2003 [ONN, 2003] establece, para la industria alimentaria, una iluminación mantenida de 300 lux en actividades de clasificación y lavado de productos, molienda (molturación), mezclado y envase. De igual manera, la norma establece los valores de iluminancia del entorno inmediato de acuerdo con los niveles de iluminación requeridos por la actividad (ver Tabla 1).

Tabla 1. Iluminancia del entorno inmediato asociada a los niveles de iluminancia de la tarea principal

Iluminancia de la tarea (lux)	Iluminancia de los entornos inmediatos (lux)
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	Igual a la iluminancia de la tarea

Características del local

El local de trabajo objeto de estudio tiene 14 m de ancho y 30 m de largo. Posee además un pasillo de 7 m de ancho, separado por cuatro columnas donde se encuentran los bancos de cilindros. Cuenta también con cinco ventanas de cristal triples de 2,40 x 1,10 m, que permiten el aprovechamiento de la luz natural, como se muestra en la figura 2.



Fig. 2. Ventanas triples de cristal. (Fotografía cortesía de los autores).

Las paredes interiores del local se encuentran pintadas con un color amarillo mate y el techo es de color

blanco, favoreciendo el reflejo de la luz. El sistema de iluminación actual está compuesto por 24 luminarias con balastro electrónico, que posibilita el montaje de 48 lámparas fluorescentes de 40 W, aunque no todas se encuentran en funcionamiento por fallas en los balastos o falta de lámparas. (Fig. 3).



Fig. 3. Sistema de iluminación actual mostrando deficiencias por lámparas falladas. (Fotografía cortesía de los autores).

Análisis y estudio del alumbrado interior del local

Los datos de la instalación son los siguientes:

- a) Separación entre luminarias 3,40 m.
- b) Altura de las luminarias 2,20 m.
- c) Tipo de lámparas:
 - Lámpara fluorescente de 40 watt, tipo T8
 - Longitud 1,20 m
 - Intensidad luminosa 180 lux (1 lux = 1 lum/m²)
 - Precio en moneda total \$ 1,38.

Se realizaron mediciones de la iluminancia frente a los bancos de cilindros, en horarios del día y en el lugar frecuentado por los operadores para realizar los ajustes y supervisión de la molienda. Los valores promedios de las mediciones se muestran en la tabla 1. Como se muestra

Tabla 1. Iluminancia promedio en lux, medidas en las dos líneas de molienda

Línea A			
Fila 1 Cara A	Fila 1 Cara B	Fila 2 Cara A	Fila 2 Cara B
91	78	43	70
330	181	74	61
117	91	39	73
389	103	44	98
158	79	42	53
253	71	92	54
127	67	53	67
161	65	60	108
Promedio			
203,25	91,875	55,875	73

en esos resultados, la iluminación actual es deficiente, teniendo la mayoría de las zonas de trabajo iluminancias que incumplen las recomendaciones de la norma NC-ISO 8995/CIE S008:2003 (como mínimo debe ser 300 lux).

Por esa razón, se propone sustituir las lámparas fluorescentes por tecnología LED, manteniendo las mismas luminarias. Las características de las lámparas LED propuestas son:

- a) Tubos LED de cristal T8 de 9 W.
- b) Longitud 0,60 m cada una.
- c) Intensidad luminosa 262 lux.
- d) Entrada AC 90-260 V 50/60 Hz.
- e) Precio en moneda total \$14,99.

Un resumen de la propuesta por luminaria se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Propuesta de sustitución del alumbrado

Tipo de lámpara	Cantidad de lámparas por luminaria	Potencia por lámpara (W)	Potencia de la luminaria (W)	Iluminación (lum/m ²)
Fluorescente T8	2	40	80	360
LED	2	9	18	520

La inversión inicial es aproximadamente diez veces superior a la necesaria para la reposición total de las lámparas actuales; sin embargo, la utilización de tecnologías eficientes permite un ahorro de energía anual (considerando 8760 h de trabajo) de 13 MWh. Tomando un precio promedio de la energía en esta instalación de \$0,31/kWh, este ahorro representa \$4132,05/año. El costo inicial de las 48 lámparas LED de 9 W es de \$719,52 y si se utilizan las lámparas T8 de 40 W actuales es de \$66,24. El período de recuperación de la inversión propuesta (PRI) será:

$$PRI = \text{Desembolso inicial} / \text{Flujo de caja anual} = (719,52 - 66,24) / 4132,05 = 0,158 \text{ años} \text{ (58 días)}$$

Línea B			
Fila 1 Cara A	Fila 1 Cara B	Fila 2 Cara A	Fila 2 Cara B
109	300	245	280
245	176	256	156
211	152	264	134
204	125	270	127
130	205	239	189
157	107	477	109
184	153	506	149
345	111	656	101
Promedio			
198,125	166,125	364,125	155,625

Conclusiones

Se demostraron los principales enfoques para lograr el mejoramiento de los sistemas de iluminación, incluyendo el empleo de tecnologías LED, que son muy eficientes y eficaces.

Se establecieron los principales métodos de control de estos sistemas, tanto los que permiten lograr el mejoramiento a partir de la reducción del tiempo de operación, como a partir de la disminución de la potencia instalada.

Se consideraron procedimientos poco empleados a pesar de su eficacia: el aprovechamiento de la luz del día y la compensación de la depreciación del flujo luminoso de las lámparas con el tiempo, ambos con la aplicación estratégica de fotosensores.

En el estudio de caso desarrollado en una planta molinera, se demostró la notable mejora que se logra en la calidad, la eficiencia y los costos en el sistema de iluminación en un área de la fábrica. Se sustituyeron 24 luminarias con dos lámparas fluorescentes T8 por luminaria (con cuatro luminarias apagadas) que existían, por un sistema LED del mismo número de luminarias. A pesar de que se requiere una inversión inicial mucho mayor, permite un aumento de la iluminación de 360 a 520 lum/m² y la inversión se recupera en 58 días.

Bibliografía

- ABDALAAL, R. M. y C. N. MAN HO (2017). Characterization of commercial LED lamps for power quality studies, *IET Generation, Transmission & Distribution*, Vol. 11, No. 4, 2017, pp. 1063 – 1071.
- GUTIÉRREZ, S. *et al.* (2017). «Use of automated blinds in smart buildings for energy savings: A Mexican case», *Proceedings of the 2017 IEEE 37th Central America and Panama Convention (CONCAPAN XXXVII)*, Managua, Nicaragua, IEEE, November 2017.
- JIANFEI DONG, J. A. Pandharipande (2013). «Lumen Depreciation Diagnosis in Modulated LED Lighting Systems», *IEEE Photonics Technology Letters*, »Vol. 25, No. 15, 2013, pp. 1466 – 1469.
- MARQUES, H. V. *et al.* (2012). «Constant-frequency magnetically controlled universal ballast with SoS compliance for TL5 fluorescent lamps», *IEEE Transactions en Power Electronics*, Vol. 27, No. 4, 2012, pp. 2163 – 2175.
- MOLINA, J., *et al.* (2017). «LED lamp modelling for harmonic studies in distribution systems», en *IET Generation, Transmission & Distribution*, Vol. 11, No. 4, 2017, pp.1063 – 1071.
- NIKHIL, X, K. ARUN Y K. P. SANJIB (2016). «Design, fabrication and testing of smart lighting system». *Proceedings of Future Technologies Conference (FTC)*, San Francisco, CA, USA, IEEE, December 2016.
- ONN (2003). «Iluminación de puestos de trabajo en interiores», NC-ISO 8895/CIE S 008:2003, La Habana: Ed. Oficina Nacional de Normalización. 2003, 30 pp.
- XIA, X. Y D. ZHANG (2017). «Distributed illumination control of LED networked systems via local occupancy information», *Proceedings of IEEE 56th Annual Conference on Decision and Control (CDC)*, Melbourne, VIC, Australia, IEEE, December 2017.

Transición agroecológica, diferentes métodos y ejemplos

Por **Leidy Casimiro Rodríguez***
* Dra. C. Universidad de Sancti Spíritus. Cuba.
leidy7580@gmail.com

Resumen

La transición agroecológica va más allá de simples tecnologías apropiadas. Es un proceso dirigido a la transformación de los agroecosistemas, entendidos como las relaciones ecológicas, sociales, económicas y culturales de un territorio dado. Dentro del proceso de conversión agroecológica, son fundamentales la diversidad biológica y cultural; el diseño participativo de los arreglos vegetal y animal, que se deben establecer para optimizar el desempeño de los diferentes tipos de interrelaciones entre subsistemas; el aprovechamiento de los recursos disponibles localmente y el enfoque hacia la resiliencia socioecológica. En este sentido, existen varios métodos que involucran a la comunidad campesina, objetivo en dicho proceso de diseño para garantizar la participación activa de los actores vinculados. El trabajo expone algunos de esos métodos y los ejemplos que ponen de manifiesto cómo la transición agroecológica es un fenómeno multifactorial, multidimensional, multiescalar, contextual y complejo.

Palabras clave: agroecología, transición, participativa, contexto

Agroecological transition, different methods and examples

Abstract

The agro-ecological transition (TA) goes beyond simple appropriate technologies, being a process aimed at the transformation of agroecosystems understood as the ecological, social, economic and cultural relations of a given territory. Within the agroecological conversion process, are important the biological and cultural diversity, the participatory design of the plant and animal arrangements that must be established to optimize the performance of the different types of interrelations between subsystems, the utilization of locally available resources and the focus towards the socioecological resilience. In this sense, there are several methodologies that involve the rural community that is objective in this design process to guarantee the active participation of the linked actors. The objective of this paper was to present some of these methodologies and at the same time three examples were mentioned that show how TA is a multifactorial, multidimensional, multiscale, contextual and complex phenomenon.

Keywords: agroecology, transition, participatory, context

Transición agroecológica

La transición agroecológica (TA) se define como un proceso multidimensional de cambio (ambiental, tecnológico, socioeconómico y político), que ocurre a través del tiempo y conlleva a una transformación de los sistemas convencionales de producción hacia otros de base agroecológica [Caporal y Costabeber, 2004]. La TA está íntimamente relacionada con las condiciones ambientales de cada agroecosistema y de adaptación a dicha realidad, comprometida y

condicionada por los procesos socioculturales y organizativos de su entorno [Marasas *et al.*, 2012; Tiftonell *et al.*, 2012 y Gliessman, 2014].

El diseño y manejo agroecológico requieren de procesos de innovación contextuales y transdisciplinarios [Vázquez, 2015], ya que para lograr sistemas socioecológicos autosuficientes, diversificados y económicamente viables, deben existir diseños de sistemas integrados con tecnologías adaptadas al medioambiente local,

que están dentro de las posibilidades de los agricultores [Altieri, Nicholls 2013].

La consolidación de la TA dependerá, por un lado, de la generación y validación de alternativas tecnológicas apropiadas y apropiables para cada contexto específico y por el otro, de la resolución de aquellos conflictos de intereses que dinamicen los procesos de resistencia, confrontación y finalmente de adaptación social [Tittonell, 2013]. Un proceso de TA implica el desafío de generar soluciones tecnológicas en un escenario hegemónicamente adverso y, por consiguiente, la importancia de la innovación y la experimentación campesina, sumado a ello, la discusión y la confrontación de distintos intereses y, posiblemente contradictorios, de los actores involucrados [Marasas *et al.*, 2012].

Gliessman fue de los precursores de los diferentes métodos para la TA, reflejando en sus estudios que el proceso de conversión de sistemas convencionales a sistemas diversificados de baja intensidad de manejo, se compone de tres fases fundamentales:

- Eliminación progresiva de insumos agroquímicos mediante la racionalización y mejoramiento de la eficiencia de los insumos externos, a través de estrategias de manejo integrado de plagas, malezas, suelos, etcétera.
- Sustitución de insumos sintéticos y prácticas convencionales por otras alternativas ambientalmente más beneficiosas.
- Rediseño del agroecosistema de forma tal que funcione sobre las bases de un nuevo conjunto de procesos ecológicos, subsidiando su funcionamiento sin necesidad de insumos externos sintéticos u orgánicos.

Con posterioridad, este autor incluyó una cuarta fase, muy a tono con la presente investigación: «Cambio de ética y de valores... una transición hacia una cultura de sostenibilidad» [Gliessman *et al.*, 2007; Gliessman, 2014]. Con ella se refirió a la educación y la cultura para la producción y consumo de alimentos, por parte de campesinos y consumidores.

Se debe tener en cuenta que para la conversión, no es suficiente copiar prácticas de manejo de fincas consideradas faros agroecológicos o la sustitución de insumos contaminantes. Se deben asegurar las interacciones, según los principios de la Agroecología como ciencia, y de numerosas variables sociales, culturales y políticas; pues, cada diseño es contextual y lo que se podrá repetir son las sinergias que hacen que un agroecosistema sea sustentable en el tiempo [Altieri, Nicholls 2013].

Marasas *et al* [2012] aseguran que se requiere conocer los argumentos y las variables que influyen en la toma de decisiones de los campesinos; las estrategias colectivas de organización que fortalezcan las que se vayan tomando y el poder de negociación con otros actores. Se deben considerar además, políticas públicas y redes institucionales que estimulen y generen una estructura de sostén para la perdurabilidad y sustentabilidad de dichas experiencias.

A través de marcos normativos, aplicados a la agricultura familiar, se favorecerá su desarrollo escalonado. Los retos más importantes serán la sistematización de los procedimientos y la institucionalización de los procesos de planificación desde los niveles locales hasta el nivel nacional [Kammerbauer *et al.*, 2001]. En este contexto, la dimensión institucional juega un papel fundamental para el logro de sistemas familiares sustentables; en el papel de las distintas instituciones como entidades capaces de llevar a cabo las medidas referentes al logro de la sostenibilidad socioeconómica y ambiental de estas familias campesinas en su entorno [Lehtonen, 2004].

Al mismo tiempo, debe existir una comunión entre el productor del alimento y su consumidor, y la necesidad de un tratamiento integrado y coherente a los alimentos en su recorrido desde la tierra hasta la mesa, pues la transición agroecológica debe estar protagonizada por las familias campesinas, los consumidores y el concurso de políticas públicas que hagan avanzar la transición.

La sociedad debe comprender la importancia de la TA y de las familias campesinas, cuya vocación de producir alimentos variados, nutritivos y saludables, debe ser estimulada, apoyada y valorada.

Se requiere necesariamente de las políticas y de la acción colectiva para estrechar vínculos entre todos los actores vinculados y aprovechar las fortalezas de cadenas de suministro cortas. Estas tendrán, entre otras ventajas, la reducción del número de eslabones e intermediarios, en aras de reducir los costos a los consumidores (por lo general, los intermediarios no agregan valor al producto, sino que lo encarecen estableciendo altos márgenes de ganancia), el aumento de los beneficios que obtienen los campesinos y facilitar que todos sepan el origen de los alimentos que consumen. Esto, sin dudas, aportará a la cultura agroecológica de la sociedad en general y fortalecerá la TA.

Métodos para la transición agroecológica

Para garantizar la participación activa de los campesinos en los procesos de conversión agroecológica, se han desarrollado varios métodos entre las que se destacan: el marco para la evaluación de sistemas de manejo de recursos naturales mediante indicadores de sustentabilidad (MESMIS), la investigación acción participativa (IAP), el método de campesino a campesino (CAC) y el método para evaluar la resiliencia socioecológica en fincas familiares (MERS), entre otras.

Evaluación de sistemas de manejo de recursos naturales mediante indicadores de sustentabilidad

El MESMIS se ha implementado para evaluar la sostenibilidad de los sistemas agrícolas, la cual presenta una serie de características en su enfoque. Este método parte del supuesto de que un agroecosistema sustentable es aquel que posee los siguientes atributos: productividad, estabilidad, confiabilidad, resiliencia, adaptabilidad, equidad y autosuficiencia [Astier, Masera y Galván, 2008]. Cada uno de ellos se puede evaluar a través

de diversos criterios diagnósticos (ver cuadro), por medio de los cuales se proponen indicadores que permitirán evaluar el grado de sustentabilidad del sistema [Astier, Masera y Galván, 2008].

Atributos y criterios diagnósticos de un agroecosistema sustentable, según MESMIS

Atributos	Criterios diagnóstico
Productividad	Eficacia y eficiencia productiva. Rendimiento obtenido
Estabilidad Confiabilidad Resiliencia	Tendencia de los rendimientos Empleo de recursos renovables Diversidad biológica y económica Prevención de riesgos
Adaptabilidad	Opciones productivas Capacidad de cambio e innovación Proceso de capacitación
Equidad	Distribución de costos y beneficios Democracia en la toma de decisiones Participación efectiva
Autosuficiencia	Control de las relaciones con el exterior Nivel de organización Dependencia de recursos externos

Fuente: [Astier, Masera y Galván, 2008].

El MESMIS ofrece respuestas endógenas porque considera el factor local como aspecto fundamental del diagnóstico. Por esa misma razón, es un método en permanente construcción [Astier, Masera y Galván, 2008].

Se han presentado avances en adaptar los esquemas participativos, interdisciplinarios y flexibles que caracterizan al MESMIS, con la finalidad específica de evaluar la resiliencia a la variabilidad climática. Este tipo de estrategias puede ayudar a elevar la utilidad del conocimiento local para evaluar la vulnerabilidad de las comunidades campesinas a eventos climáticos extremos, además de contribuir al desarrollo de estrategias regionales apropiadas para su adaptación [Rogé y Astier, 2013].

Métodos de campesino a campesino

Por su parte la CAC es un método dinamizador, que coloca al campesino y a su familia como protagonistas del proceso de conversión de sus predios [Machín, Roque, Ávila y Rosset, 2010].

Kohlmans [2006] la define como «una forma de promoción y mejoramiento de los sistemas productivos, para situarlos en condiciones de alcanzar mayores índices de sustentabilidad, partiendo del principio de que la participación y empoderamiento de sus propios actores son elementos intrínsecos del desarrollo sostenible, que se centra en la iniciativa y el protagonismo de campesinos y

campesinas», criterios que apoyan Machín, Roque, Ávila y Rosset, [2010].

Uno de los elementos fundamentales de este método es descubrir, reconocer, aprovechar y socializar el rico acervo de conocimientos de las familias y comunidades agrícolas, ligado a sus condiciones históricas concretas y a su propia identidad, demostrando mayor preocupación por las dimensiones sociales, económicas, ecológicas y culturales del trabajo campesino [Machín, Roque, Ávila y Rosset, 2010]. La CAC se basa fundamentalmente en cinco principios:

1. Empezar despacio y en pequeño.
2. Limitar la introducción de tecnologías.
3. Obtener éxito rápido y reconocible.
4. Experimentar en pequeña escala.
5. Desarrollar un efecto multiplicador.

Dentro de las fases de este método se realizan diagnósticos rápidos participativos para identificar prioridades y mejoras que se pueden introducir inicialmente para comenzar los cambios, así como propiciar los intercambios de experiencias entre campesinos y promotores avanzados para observar logros y establecer compromisos. Simultáneamente, se establecen procesos de capacitación para facilitadores y promotores y se imparten talleres sobre prácticas agroecológicas [Machín, Roque, Ávila y Rosset, 2010].

Investigación acción participativa

La IAP es otro método participativo para la TA, pues parte de la base de que no hay auténticos procesos de desarrollo si no involucran directamente y como protagonistas principales a los agricultores, a los cuales van dirigidos los proyectos, considerando sus realidades, necesidades, conocimientos y creencias [Vázquez, 2010].

El enfoque agroecológico considera que el conocimiento generado en centros de investigaciones y laboratorios se debe complementar con la percepción y conocimientos de los agricultores, a partir del diálogo entre profesionales y campesinos, en un proceso de interacción creativa dentro de las comunidades rurales. A partir de la sinergia entre el conocimiento local y el científico, se pretende encontrar soluciones a los problemas de los productores. La IAP permite generar tecnologías apropiadas localmente, según las distintas situaciones, los recursos disponibles y los objetivos de cada comunidad [Marasas *et al.*, 2012].

Este método se postula como un marco metodológico que articula diferentes niveles jerárquicos (finca, sociedad local y sociedad mayor) en un proceso de cambio, que introduce en el análisis la dimensión temporal con diferentes fases de desarrollo [Guzmán y Alonso, 2007] entre las que se encuentran:

- La observación participante para la búsqueda y análisis de información secundaria.
- La investigación participativa que pretende realizar un diagnóstico participativo de los problemas de la producción agraria en la zona, establecer las

relaciones entre ellos, categorizarlos por orden de importancia, identificar soluciones con orden de prioridad, asignar tareas y establecer un proceso de seguimiento del proceso de transición.

- La acción participativa para la creación de redes de trabajo conjunto entre grupos sociales con intereses similares para generar sinergias mediante la puesta en marcha de acciones conjuntas, optimizar el aprovechamiento de los recursos disponibles, movilizar recursos económicos, facilitar el intercambio de información, apoyar iniciativas y actuaciones decididas en el seno de las redes, y servir de foros de debate.
- La evaluación para la verificación del conocimiento producido y de la efectividad de los cambios logrados como resultado de la acción a través del seguimiento de los indicadores propuestos; tiene como objetivo además, valorar todo el proceso en sí y generar información continua para reconducirlo en caso necesario.

Programa de innovación agropecuaria local

En Cuba, con una amplia y activa participación de los diversos actores del sector agroalimentario, que priorizan el papel que juegan los campesinos, se ha implementado un método para fortalecer la innovación agropecuaria local, implementada en dos etapas: una desarrollada en el período 2001-2006, conocida como etapa del fitomejoramiento participativo (FP), y otra conocida actualmente como programa de innovación agropecuaria local (PIAL), liderada por el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA).

En el PIAL se llevan a cabo diversas estrategias para atender la problemática de la producción de alimentos agroecológicos, dedicándose especial atención a la capacitación de hombres y mujeres del sector rural y a los procesos de innovación e iniciativas locales de experimentación campesina. A través de este programa se benefician más de 50000 campesinos, se involucran 12 instituciones cubanas de ciencia y tecnología, a su vez, conectadas con numerosas instituciones internacionales [Miranda *et al.*, 2011 y Ríos, 2015].

En la actualidad el PIAL ha ampliado su aplicación en el país y está inmerso en desarrollar núcleos de innovación a escala local, creando así las bases para la existencia de un sistema de innovación que permita el acceso permanente al conocimiento, la adopción y generalización de este como parte importante del desarrollo de los sistemas agroecológicos en el país.

El PIAL consolida una red de innovación agropecuaria que involucra diversas instituciones de enseñanza e investigación agropecuaria, generando evidencias en la acción sobre alternativas para la producción y distribución de alimentos sobre bases agroecológicas, con un fuerte componente participativo, orientado a las relaciones con equidad de género e inclusión social.

Método para evaluar la resiliencia socioecológica en fincas familiares

El método para evaluar la resiliencia socioecológica (MERS) [Casimiro Rodríguez, 2016] es una nueva herramienta analítica y metodológica que permite, a partir de la evaluación de un

conjunto de indicadores e índices (Tabla 1), no solo determinar la resiliencia socioecológica de una finca familiar o territorio de fincas, sino también sirve de base conceptual, metodológica y práctica para la transición agroecológica (Fig. 1).

Su aplicación facilita, en el corto plazo, determinar cuán resiliente es un sistema socioecológico en el contexto de la agricultura familiar, permitiendo identificar puntos críticos del diseño y manejo del sistema, establecer sobre esa base planes estratégicos que posibiliten mejorar cada indicador desfavorable y optimizar los favorables para el futuro.

La MERS, en el largo plazo y a través de aplicaciones periódicas, permite mostrar el progreso y la dinámica de la TA y apoyar este proceso de evolución a partir de las experiencias pasadas y proyecciones futuras.

Al comparar en el tiempo, el comportamiento de los diferentes indicadores y los cambios de estado de los recursos de la finca, se pueden visualizar de forma participativa y con equidad de género, aspectos ecológicos, tecnológicos, socioculturales o políticos que puedan estar incidiendo de forma negativa en sus valores y en un bajo índice de resiliencia socioecológica, lo cual conlleva a la formulación de estrategias locales que influyan en el mejoramiento de los resultados y contribuyan a procesos efectivos de toma de decisiones, tanto para los agricultores que pueden tomar medidas para mejorar su resiliencia, como para los políticos que tienen la posibilidad de elaborar políticas agrarias que corrijan los puntos críticos que la ponen en peligro.

Además, para los investigadores con posibilidades de obtener información sistémica clave, permite comprender los problemas que afectan la resiliencia de los sistemas socioecológicos familiares.

Este nuevo método incluye una visión de sistemas complejos, abiertos y dinámicos, en lugar de una perspectiva relacionada a una única unidad de observación, lo que coincide con los criterios de [Chapin, *et al.*, 2004], para la evaluación de la sustentabilidad desde el enfoque de la resiliencia socioecológica. El reto está en direccionar un estado pluralmente deseado para el sistema, a partir de las diferentes visiones sobre resultados actuales y futuros de indicadores, índices y acciones, y en la promoción de un proceso articulado de aprendizaje continuo [Moreno y Fidélis, 2012; Wehbe *et al.*, 2015].

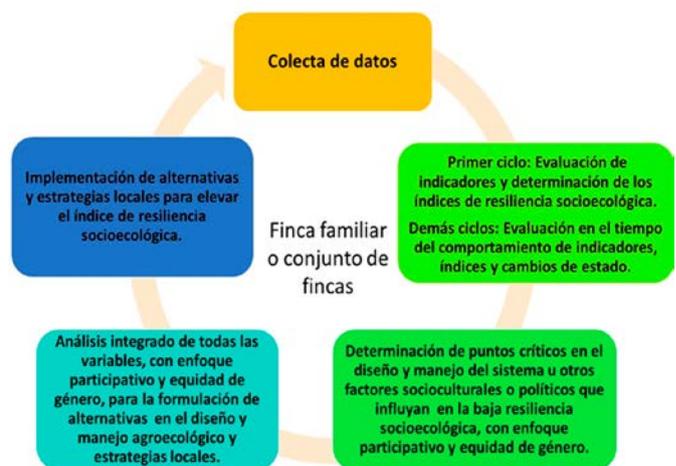


Fig. 1. Representación esquemática de la aplicación práctica del método para evaluar la resiliencia socioecológica (MERS) de fincas familiares.

Transición agroecológica, diferentes métodos y ejemplos

Tabla 1. Método de cálculo para medir el índice de resiliencia socioecológica en una finca familiar

Variable (i)	Peso (Wi)	Escala (Pi)	Índice (%)
Personas alimentadas/ha/año, por aportes de proteína (Pp)	0,33	Pp > 7; 5 7 > Pp > 5; 4 5 > Pp > 3; 3 3 > Pp > 2; 2 2 > Pp > 0; 1	Soberanía alimentaria $SA = \frac{\sum_{i=1}^n (Pi \times Wi)}{5 \sum_{i=1}^n Wi} \cdot 100$
Personas alimentadas/ha/año, por aportes de energía (Pe)	0,001	Pe > 10; 5 10 > Pe > 8; 4 8 > Pe > 6; 3 6 > Pe > 4; 2 4 > Pe > 0; 1	
Proporción de alimentos para la familia producidos en la finca (AF)	0,66	AF > 75 %; 5 75 % > AF > 60 %; 4 60 % > AF > 45 %; 3 45 % > AF > 30 %; 2 30 % > AF = 0; 1	
Índice de utilización de la tierra (IUT)	0,005	IUT > 1,5; 5 1,5 > IUT > 1,3; 4 1,3 > IUT > 1; 3 1 > IUT > 0,7; 2 0,7 > IUT > 0; 1	Soberanía tecnológica $ST = \frac{\sum_{i=1}^n (Pi \times Wi)}{5 \sum_{i=1}^n Wi} \cdot 100$
Porcentaje de insumos externos usados para la producción (IE)	0,201	20 % > IE = 0; 5 20 % < IE < 35 %; 4 35 % < IE < 50 %; 3 50 % < IE < 70 %; 2 70 % < IE < 100 %; 1	
Diversidad de la producción utilizando el índice de Shannon (H)	0,281	H > 2; 5 2 > H > 1,5; 4 1,5 > H > 1; 3 1 > H > 0,5; 2 0,5 > H > 0; 1	
Índice de aprovechamiento del potencial de Fuentes Renovables de Energía asociado a tecnologías apropiadas (IAFRE)	0,401	IAFRE > 75 %; 5 75 % > IAFRE > 50 %; 4 50 % > IAFRE > 35 %; 3 35 % > IAFRE > 20 %; 2 20 % > IAFRE = 0; 1	
Intensidad Innovadora de la finca familiar (IIF)	0,111	IIF > 80 %; 5 80 % > IIF > 70 %; 4 70 % > IIF > 50 %; 3 50 % > IIF > 30 %; 2 30 % > IIF = 0; 1	

Eficiencia energética (EE)	0,402	EE > 3,5; 5 3,5 > EE >= 2,5; 4 2,5 > EE >= 1,5; 3 1,5 > EE >= 1; 2 1 > EE 1	Soberanía Energética $ST = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i \times W_i)}{5 \sum_{i=1}^n W_i} \cdot 100$
Proporción de energía inyectada a la finca proveniente del exterior (EFE)	0,110	30 % > EFE = 0; 5 30 % <= EFE < 40 %; 4 40 % <= EFE < 60 %; 3 60 % <= EFE < 80 %; 2 80 % <= EFE < 100 %; 1	
Proporción de energía aprovechada desde la finca (EF)	0,282	EF > 70 %; 5 70 % >= EF > 60 %; 4 60 % >= EF > 50 %; 3 50 % >= EF > 30 %; 2 30 % >= EF = 0; 1	
Balance energético (BE)	0,201	BE > 10; 5 10 > BE >= 7; 4 7 > BE >= 4; 3 4 > BE >= 1; 2 1 > BE > 0; 1	
Costo energético de la producción de proteína (CEP)	0,003	30 > CEP = 0; 5 30 <= CEP < 60; 4 60 <= CEP < 90; 3 90 <= CEP < 120; 2 120 <= CEP; 1	
Relación costo/beneficio (RCB)	0,1	0,35 > RCB; 5 0,35 <= RCB < 0,50; 4 0,50 <= RCB < 0,75; 3 0,75 <= RCB < 0,95; 2 0,95 <= RCB; 1	Eficiencia Económica $EEco = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i \times W_i)}{5 \sum_{i=1}^n W_i} \cdot 100$
Índice de dependencia de recursos externos (IDIE)	0,9	20 % > IDIE = 0; 5 20 % <= IDIE < 40 %; 4 40 % <= IDIE < 60 %; 3 60 % <= IDIE < 80 %; 2 80 % <= IDIE < 100 %; 1	
<p>Índice de resiliencia socioecológica (%)</p> $IRS = \frac{SA + ST + SE + EEco}{4}$			

Ejemplos de transición agroecológica a diferentes escalas y contextos

La TA es también un fenómeno multiescalar. Existen varios ejemplos a nivel mundial de fincas faros o movimientos agroecológicos que así lo demuestran.

Finca El Hatico

La finca El Hatico, es un proyecto familiar de más de 100 años (familia Molina-Durán), donde fundamentalmente, en las últimas dos décadas, existe un diseño y manejo hacia la transición agroecológica, basado en la integración agrícola-pecuaria-forestal, el uso mínimo de productos químicos y una activa participación familiar

en las actividades de la finca. Tiene una altura de 1000 msnm; la temperatura promedio es de 24° C; un régimen de precipitaciones promedio de 750 mm/año y un área de 288 ha en el Valle del Cauca, Colombia, en una zona de bosque seco tropical.

Es un sistema silvopastoril intensivo (SSI), con principios agroecológicos que combinan arbustos forrajeros sembrados en grandes densidades, árboles, palmeras y pastizales mejorados. La alta carga animal y la buena producción de leche y carne en estos sistemas, se logran a través del pastoreo rotativo con cercas eléctricas y un suministro permanente de agua para el ganado. Tienen un diseño y manejo agroecológico de caña

de azúcar, con los cuales han logrado rendimientos de hasta 120 t/ha en comparación con el promedio regional de 102 t/ha.

El año 2009 fue el más seco registrado en los últimos 40 años en El Hatico, con una reducción de 44 % de las precipitaciones en comparación con el promedio histórico, y los agricultores detectaron una reducción de 25 % en la biomasa de los pastos. La producción de forrajes del SSI se mantuvo constante durante todo el año y permitió neutralizar los efectos negativos de la sequía en todo el sistema. Como respuesta a las condiciones climáticas extremas, se ajustaron los niveles de carga animal y se aumentó la suplementación con energía. A pesar de ello, la producción de leche de la finca en el año 2009 fue la más alta registrada, con un incremento de 10 % en comparación con los cuatro años anteriores. Mientras tanto, los ganaderos en otras partes del país reportaron una severa pérdida de peso en los animales y altas tasas de mortalidad debido al hambre y la sed [Altieri, Nicholls, 2013].

Ecofuturo

Es una organización de base comunitaria también ubicada en el Valle del Cauca, en la comunidad Buena Vista, municipio El Dovio, a una altura de 1650-2000 msnm, en un área de 391 ha, donde existe un sistema compuesto por una microcuenca, área aislada, bosques ribereños y agroecosistemas, en el que se están generando a esa escala procesos locales de conservación.

A partir de la conversión agroecológica de sus agroecosistemas y el entorno que los rodea, se logra la restauración de servicios ecológicos y la recuperación de recursos como el agua y el suelo, los que sufrieron históricamente una erosión extrema y en muchos casos, pérdida de suelo. Su meta es la conservación y recuperación de ecosistemas naturales y el mejoramiento agroecológico de los sistemas productivos. Conservan especies de la flora y la fauna importantes en la región: árboles en peligro de extinción como el comino (*Aniba robusta* Klotzsch. & H. Karst. Mez), molinillo o copachí (*Talauma hernandezii* Lozano), palma de cera (*Ceroxylon alpinum* Bonpl. ex DC.), roble (*Quercus humboldtii* Bonpl.) y cedro rosado (*Cedrela montana* Moritz ex Turcz.); aves endémicas como la clorocrisa multicolor (*Clorochrysa nitidissima* Sclater) y mamíferos muy escasos en los paisajes rurales como el mono aullador (*Alouatta seniculus* L.).

Estos procesos de TA han estado acompañados desde 1987 por el Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV). A partir de entonces arborizaron, desde cada espacio familiar, la microcuenca Los Saínos, para un total de 14 ha con 21 000 árboles.

Los mismos pobladores exponen que lo importante fue reconocer, apropiarse y planificar su territorio sobre bases agroecológicas, además de integrar conocimientos con los técnicos (de los programas que brindaron apoyo) y las organizaciones de base. Señalan los aportes de la investigación: los bancos forrajeros, sistemas agroforestales, cosechas de aguas de lluvia, filtros lentos de arena, biodigestores, plantas acuáticas, el trabajo investigativo-participativo de todos los habitantes, sustitución de bebederos para que el gana-

do no tome directo de la fuente de agua y evitar así ciertos daños que se habían producido con anterioridad.

En comunidad también se logran tener un botiquín veterinario y un fondo rotatorio. De esta unión existe en la actualidad, en ese lugar, pequeñas organizaciones como Amigas del buen sabor, grupo de mujeres que promueven la cultura alimentaria; Herederos del planeta, grupo de niños investigadores de la comunidad y CAMPAB, la Asociación de los hombres para el trabajo de mingas, entre otras.

En total son 197 familias las que hoy pueblan ese sector y que han establecido este proceso de conversión de una forma participativa bajo un mismo proyecto y esfuerzo comunitario.

Movimiento agroecológico de campesino a campesino en Cuba

Otro ejemplo de escalonamiento de la agroecología desde los pequeños espacios fue, a través de la metodología de CAC en Cuba, desde 1997 (Fig. 2), el Movimiento Agroecológico de Campesino a Campesino (MACAC), liderado por la Asociación Nacional de Agricultores Pequeños (ANAP). Este movimiento estableció un sistema de métodos, procedimientos y técnicas que facilitaron desencadenar procesos de intercambio y aprendizaje entre familias campesinas y otros actores.

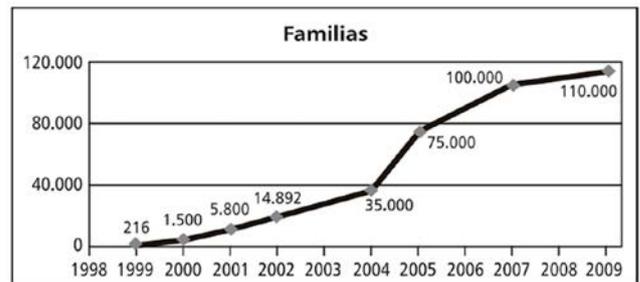


Fig. 2. Tendencia del crecimiento de familias agroecológicas en los primeros 10 años de implementada el método CAC (1998-2009).

Fuente: Machín, Roque, Ávila y Rosset, 2010.

Las características participativas que ofrece el MACAC, ONG que atiende la organización y funcionamiento de las cooperativas en las que están agrupados los pequeños agricultores en Cuba, junto a la tradición y hábitos de la ANAP, permitieron una transición agroecológica a un nivel superior. A partir de 2009, con la implementación de nuevas leyes para la entrega de tierras estatales ociosas en usufructo, se ha incrementado el porcentaje de tierras en manos de familias campesinas y la incorporación de jóvenes a la producción agropecuaria, esto ha conducido además, a que el mayor porcentaje de tierras agrícolas esté bajo el régimen cooperativo en la actualidad. A pesar de que varios elementos de la agroecología ya se estaban practicando en mayor o menor escala, fue el MACAC quien generalizó su disseminación, pues logró dinamizar la transmisión horizontal y la socialización del conocimiento y las buenas prácticas de unos campesinos a otros. Además, involucró adecuadamente, en condiciones de igual

participación a técnicos, investigadores y directivos, lo que propició un diálogo de saberes con un sentido más profundo de pertenencia y un mayor compromiso social [Machín, Roque, Ávila y Rosset, 2010].

Otros ejemplos exitosos

Existen sistemas con diseño y manejo agroecológico a gran escala con fines más específicos que han demostrado funcionar a través del tiempo. Entre estos resaltan: (1) el caso del cultivo de la uva en California, Estados Unidos (2); el proyecto Laguna Blanca en Argentina, como parte del mejoramiento del paisaje rural y con diferentes fines productivos y (3) en España, en las dehesas de Extremadura, con vistas a recuperar las grandes extensiones de tierras degradadas como consecuencia del monocultivo con ganado.

Conclusiones

Los métodos expuestos tienen en común, como finalidad, la producción agrícola sostenible sobre bases agroecológicas y procesos que contribuyan a la resiliencia y TA. A pesar del impacto y la importancia que tienen estas metodologías participativas en la transición agroecológica, todavía existen muchos factores que limitan o restringen la difusión e implementación de la agroecología más plenamente [Altieri y Toledo, 2011]. Por tanto, además del papel fundamental de las reformas políticas, institucionales y de programas de investigación y desarrollo que garanticen que estas alternativas sean transferidas de forma masiva, equitativa y accesible, es importante que los políticos y decisores tengan una participación activa en todos estos procesos de conocimiento, práctica, validación y escalonamiento de buenos resultados.

Bibliografía

- ALTIERI M. A. Y C. I. NICHOLLS (2013). «Agroecología y resiliencia al cambio climático: Principios y Consideraciones Metodológicas». En: M. A. Altieri, C. I. Nicholls y L. R. Ríos, eds. *Agroecología y cambio climático: Metodologías para evaluar la resiliencia socioecológica en comunidades rurales*. Medellín: SOCLA, pp. 7-20.
- ALTIERI, M. A. Y V. M. TOLEDO (2011). «The Agroecological Revolution of Latin America: Rescuing Nature, Securing Food Sovereignty and Empowering Peasants», en *The Journal of Peasant Studies* 38 (3): 587-612, 2011.
- ASTIER M. O. R. MASERA Y Y. GALVÁN (2008). *Evaluación de sostenibilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional*. Primera ed. Madrid: Mundiprensa.
- CAPORAL, F. R. Y J. A. COSTABEBER (2004). «Agroecología e Extensão Rural: Contribuições para a promoção do Desenvolvimento Rural Sustentável». Primera ed. Brasilia: MDA/SAF/DATER- IICA. 166p.
- CAPORAL, F. R. (2013). «Agroecología: ciencia para agriculturas más sostenibles». *ALAI. América Latina en Movimiento*, 487, pp. 6-10.
- CASIMIRO RODRÍGUEZ, L. (2016). «Bases metodológicas para la resiliencia socioecológica de fincas familiares en Cuba». Tesis presentada en opción al título académico de Doctor en Agroecología. Medellín: Universidad de Antioquia, 244 pp.
- CHAPIN, F. S.; G. PETERSON Y F. BERKES (2004). «Resilience and Vulnerability of Northern Regions to Social and Environmental Change», en *Ambio* 33 (6): 344-349, 2004.
- GLIESSMAN S. R., F. J. ROSADO-MAY, C. GUARDARRAMA, J. JEDLICKA, A. COHN, V. E. MÉNDEZ, R. COHEN, L. TRUJILLO, C. BACON Y R. JAFFE (2007). «Agroecología: promoviendo una transición hacia la sostenibilidad», en *Ecosistemas*, 16(1), pp. 13-23.
- GLIESSMAN S. R. (2014). *Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems*. Third ed. California: CRC Press. 405p.
- GUZMÁN, G. Y A. M. ALONSO (2007). «La investigación participativa en agroecología: una herramienta para el desarrollo sustentable», en *Ecosistemas: Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, 16(1), pp. 24-36, 2007.
- KAMMERBAUER J, B. CÓRDOBA; R. ESCOLÁN; S. FLORES; V. RAMÍREZ Y J. ZELEDÓN (2001). «Identification of development indicators in tropical mountainous regions and some implications for natural resource policy designs: an integrated community case study», en *Ecological Economics*, 36(1), pp. 45-60.
- LEHTONEN, M. (2004). «The environmental social interface of sustainable development: capabilities, social capital, institutions», en *Ecological Economics*, 49(2), pp. 199-214. 2004.
- MACHÍN B, A. D. ROQUE; D. R. ÁVILA Y P. M. ROSSET (2010). *Revolución agroecológica: el Movimiento de Campesino a Campesino de la ANAP en Cuba. Cuando el campesino ve, hace fe*. Primera ed. La Habana: ANAP-Vía Campesina. 176p.
- MARASAS M., ET AL. (2012). «El camino de la transición agroecológica». Primera ed. Buenos Aires: INTA. 100p.
- MIRANDA T., T. SÁNCHEZ, L. LAMELA Y D. ÁLVAREZ (2011). «Innovación local participativa ante el cambio climático». en H Ríos, D Vargas y FR Funes-Monzote, eds. *Innovación agroecológica, adaptación y mitigación del cambio climático*. La Habana: INCA, pp. 213-220.
- MORENO, S. Y T. A. FIDÉLIS (2012). «Proposal to Explore the Role of Sustainability Indicators in Local Governance Contexts: The Case of Palmela, Portugal», en *Ecological Indicators* 23: 608-615, 2012.
- RÍOS, A. (2015). *La Agricultura en Cuba*. Primera ed. La Habana: INFOIIMA. 374p.
- ROGÉ P Y M. ASTIER (2013). «Previniéndose para el cambio climático: una metodología participativa». En: C. I. Nicholls, L. A. Ríos y M. A. Altieri, eds. *Agroecología y resiliencia socioecológica: adaptándose al cambio climático*. Medellín: CYTED, pp. 124-148.
- TITTONELL P. R. LAHMAR, B. A. BATIONO, N. D. LAMSO Y Y. GUERO (2012). «Tailoring conservation agriculture technologies to West Africa semi-arid zones: Building on traditional local practices for soil restoration], en *Field Crops Research*, Volumen 132, pp. 158-167.
- TITTONELL, P. (2013). «Livelihood strategies, resilience and transformability» en *African Agricultural Systems*, 10 (1016), pp. 1-12.
- VÁZQUEZ L. L. (2015). «Diseño y manejo agroecológico de sistemas de producción agropecuaria», en: *Sembrando en Tierra Viva. Manual de Agroecología*. La Habana: Proyecto Tierra Viva, pp. 133-160.
- VÁZQUEZ, L. L. (2010). *Agricultores experimentadores en agroecología y transición de la agricultura en Cuba*, en: T. E. León y M. A. Altieri, eds. *Vertientes del pensamiento agroecológico. Fundamentos y aplicaciones*. Bogotá: Socla, pp. 227-246, 2010.
- WEHBE, M. B., M. A. MENDOZA, R. A. SEILER; A. M. VIANCO, A. M. BARONIO, Y A. J. TONOLLI (2015). *Evaluación de la sustentabilidad de sistemas productivos locales: Una propuesta basada en la participación colaborativa y en la resiliencia de los sistemas socio-ecológicos*. Buenos Aires: Brief for GSDR, 8 pp., 2015.

Resiliencia urbana y ambiente térmico en la vivienda

Por **Dania González Couret***; **José Fabián Véliz Párraga****

*Dra. en Ciencias. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba.

**Aspirante del Programa de Doctorado en Arquitectura Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador; Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba.
dania@arquitectura.cujae.edu.cu; jfveliz@hotmail.com

Resumen

Se expone parte del marco conceptual de una investigación encaminada a evaluar el ambiente térmico interior de la vivienda de interés social en la ciudad de Portoviejo, provincia de Manabí, Ecuador, en aras de mejorar su habitabilidad y su contribución a la resiliencia urbana. Esta etapa constituye una investigación teórica donde se discute la evolución de los conceptos y tendencias referidos a la sostenibilidad urbana y su relación con la producción social del hábitat, la calidad de la vivienda y, particularmente, el ambiente térmico interior. De los procesos y enfoques globales se derivan principios que conducen a las variables, objeto de estudio en futuras etapas de la investigación y se comentan investigaciones precedentes dirigidas a evaluar y mejorar el ambiente térmico interior en la vivienda popular o de interés social.

Palabras clave: sustentabilidad urbana, vivienda de interés social, calidad de la vivienda, ambiente térmico interior.

Urban resilience and housing thermal environment

Abstract

The paper presents part of the conceptual framework of a research focused on evaluating the thermal indoor environment in social housing located in Portoviejo, Manabí, Ecuador, in order to improve habitability and contribution to urban resilience. The present step is related to a theoretical research in order to discuss the evolution of concepts and trends referred to urban sustainability and its relation to social production of habitat, housing quality and particularly, thermal indoor environment. From global processes and approaches, principles are derived, conducting to variables to be taken as study objects in future steps of the research. Previous research focused on evaluating and improving thermal indoor environment in popular and social housing are commented.

Key words: urban sustainability, social housing, housing quality, indoor thermal environment.

Introducción

La importancia creciente de la ciudad para el desarrollo sostenible quedó expresada en la Conferencia Cumbre Hábitat III, celebrada en Quito, en octubre de 2016, con el lema «La ciudad que queremos», donde se reconocieron seis áreas temáticas principales: la cohesión y equidad social en ciudades vivibles; el marco legal; el desarrollo espacial; la economía urbana; la ecología, así como la vivienda urbana y los servicios básicos [ONU Hábitat, 2016]. En el tema de la vivienda, la prioridad se desplazó de los aspectos cuantitativos a la preocupación por la calidad, es-

pecialmente en la vivienda de interés social, lo cual quedó confirmado en campañas como la del buen vivir, de amplio reconocimiento en países de América Latina [Calla, 2007]. Particular atención dentro de la calidad de la vivienda se ha otorgado al ambiente térmico interior [Staines, 2013], no solo por su importancia para el bienestar y la salud de sus habitantes, sino también por el impacto ambiental que genera como consecuencia del incremento del consumo energético en ventilación y climatización artificial.

Este trabajo recoge parte de los resultados de la etapa teórica inicial de una investigación encaminada a mejorar

el ambiente térmico interior de la vivienda de interés social en la ciudad de Portoviejo, capital de Manabí, en la costa ecuatoriana. El objetivo es fundamentar las variables objeto de estudio, identificadas como condicionantes del ambiente térmico interior en la vivienda de interés social y su conexión con los objetivos de desarrollo del milenio.

Materiales y métodos

Esta investigación teórica tributa a la elaboración de un marco conceptual y metodológico, para lo cual se parte de la revisión y valoración de los principales documentos, emanados de los congresos y reuniones internacionales sobre el hábitat urbano. La aplicación del método histórico-lógico permite comparar los diversos enfoques y caracterizar su evolución, así como fundamentar su relación con el ambiente térmico interior de la vivienda.

Además de la investigación documental, la presente etapa también se nutre de la evaluación de experiencias prácticas concretas, mediante la observación directa como método de la investigación empírica. Adicionalmente, se ha considerado la información sobre casos de estudio publicados o presentados en eventos, lo cual se ha enriquecido mediante el intercambio directo con actores involucrados en estas experiencias [Universidad..., 2015].

Como parte de la revisión documental, se han incluido numerosos resultados de investigaciones precedentes, encaminadas a mejorar la calidad y el ambiente térmico interior de viviendas de interés social en diversos contextos [Romero, 2010], cuyos resultados han sido valorados a partir de su factibilidad de aplicación en climas cálido-húmedos y en contextos socioeconómicos como los de Cuba y la costa pacífica ecuatoriana, específicamente, la ciudad de Portoviejo capital de la provincia Manabí.

Resultados y discusión

Ciudades inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles

El término inglés original «sustainable development» fue traducido de inmediato al castellano como «sostenido», «sostenible» o «sustentable». El primero fue rápidamente desechado, al reconocer la imposibilidad del crecimiento sostenido, pero sobre los dos restantes se han desarrollado numerosas polémicas en los últimos treinta años, achacando significados diferentes a ambos términos que, en definitiva, son el resultado de la traducción de uno solo inicial. De manera general existe una tendencia a preferir el vocablo «sustentable» por diversas razones [Coyula, 1997], a pesar de que en Cuba, el término oficialmente usado es «sostenible», que además, se ha empleado en los objetivos de desarrollo para 2030, aprobados a nivel global en octubre de 2015 [ONU, 2016].

El nuevo paradigma de la sostenibilidad surgió a finales de la década de los ochenta como solución sin alternativa, para la supervivencia del planeta ante la crisis ecológica de finales del pasado siglo xx, por lo cual su origen fue ambiental. Sin embargo, este concepto evolucionó rápidamente hacia tres dimensiones principales: la ambiental, la económica y la social, que han sido identificadas como la

«tríada básica» del desarrollo sostenible: ambientalmente sano, económicamente viable y socialmente justo.

La aceptación del carácter inevitable e irreversible del proceso de urbanización, que se ha producido fundamentalmente en los países en desarrollo durante el último medio siglo, condujo a reconocer en la Conferencia Cumbre Hábitat 2, en Estambul 1996 [ONU Hábitat, 1996], la necesidad de desarrollar asentamientos sostenibles en un mundo en urbanización y, por tanto, a la confirmación de la importancia de las ciudades para la sostenibilidad del planeta.

Desde finales de los años noventa, el arquitecto británico Richard Rogers reconocía que una ciudad sostenible es aquella donde vivienda, salud, trabajo y esperanza se distribuyen equitativamente; de forma diversificada y compacta, de manera que proteja el campo y permita a las personas vivir cerca del lugar de trabajo; que garantice la comunicación y el contacto fácil; ecológica y eficiente en el uso de los recursos; que sea creativa para que la imaginación prospere; y también bella, de forma que estimule la imaginación y recree el espíritu [Butera, 1998]. A pesar del tiempo transcurrido desde su formulación, este concepto sigue teniendo total vigencia y apunta hacia una nueva dimensión de la sostenibilidad que pudiera ser la espiritual o humana.

En el año 2000 se aprobaron los «objetivos del milenio», cuyo cumplimiento desigual e irregular fue evaluado en 2015. Estos 11 objetivos, cada uno de los cuales contemplaba sus respectivas metas, estaban dirigidos a erradicar la pobreza y el hambre; lograr la enseñanza primaria universal; promover la igualdad de género; reducir la mortalidad infantil; mejorar la salud materna; combatir las enfermedades; garantizar la sostenibilidad del medioambiente; y fomentar la asociación mundial para el desarrollo [ONU Hábitat, 2015]. Como parte de la sostenibilidad del medioambiente se contemplaba la meta de mejorar sustancialmente la vida de los habitantes de los asentamientos informales precarios. Su incumplimiento a escala global condujo a que fueran retomados y ampliados en los nuevos «objetivos de desarrollo sostenible» hacia el año 2030, aprobados en octubre de 2015.

En la reunión de seguimiento de Estambul + 5, celebrada en la ciudad de Nueva York en el año 2001, se aprobó una agenda de acción regional para América Latina y El Caribe sobre asentamientos humanos, que reconocía como desafíos del escenario regional, la modernización de las instituciones para la gestión territorial y habitacional, y el ordenamiento territorial [ONU Hábitat, 2002]. Esto incluía los marcos regulatorios y los instrumentos financieros, así como las políticas de uso de suelo, descentralización, participación ciudadana, integración social y equidad de género.

Entre los objetivos generales de aquella agenda se encontraba la generación de estrategias de desarrollo que garantizaran el crecimiento económico, la equidad, la sostenibilidad ambiental y la realización del potencial humano en un marco de democracia. Las áreas temáticas reconocidas entonces fueron: el logro de la equidad y el combate contra la pobreza urbana; la productividad de

los asentamientos humanos para mejorar la calidad de la vida; el mejoramiento del medioambiente en los asentamientos humanos; la gobernabilidad y la participación, así como la eficiencia en las políticas de gestión.

Sin embargo, las alternativas generadas en los países desarrollados por lo general se enfocan fundamentalmente en la dimensión ambiental. Tal es el caso de las ciudades neutrales desde el punto de vista del cambio climático o del ciclo del carbono [Kimman, 2009]. Se ha denominado ciudad neutral, aquella que tiende a cerrar los ciclos de la energía, los recursos, el agua, el aire y el suelo. Por ejemplo, una ciudad será neutral desde el punto de vista energético, cuando toda su demanda sea cubierta por fuentes renovables, para lo cual es necesario reducir el consumo e incrementar la generación a partir de energías renovables.

Similar enfoque ha sido aplicado a escala arquitectónica en el concepto de «edificios de energía cero o casi cero», promovido por Mazria [2012] en el movimiento Arquitectura 2030, y por los Objetivos 20-20-20 de la Unión Europea, que pretenden reducir 20 % del consumo de energía y 20 % de las emisiones, así como generar mediante fuentes renovables 20 % de la energía consumida, de manera que para el 31 de diciembre de 2020 todos los edificios de nueva construcción deberán ser de consumo casi nulo [Montes de Oca, 2011].

En los edificios de energía cero, la producción es superior al consumo, pero como la estación del año con mayor potencialidad para la generación de energía renovable no coincide con la de mayor demanda, su almacenaje asume un rol protagónico, y el cambio de fase aparece como una alternativa promisorio. Según Butera [2012], el proceso de diseño arquitectónico de estos edificios requiere de un enfoque integrado desde el inicio, que parte de minimizar las necesidades de consumo energético mediante un diseño arquitectónico apropiado, al cual se adicionen tecnologías eficientes de acondicionamiento ambiental, para luego satisfacer, mediante fuentes renovables, la demanda energética optimizada.

El término «inteligente», aplicado hace algunas décadas a los edificios dotados de sistemas automatizados de regulación y control, se emplea ahora en las ciudades, pero no solo en relación con el uso de tecnologías de la información y la comunicación, sino que incluye de forma más general e integral la economía, la vida urbana, la población, el ambiente, la movilidad y la gobernanza.

La conferencia internacional Río + 20 [ONU, 2012] amplió aún más el concepto de ciudades y asentamientos sostenibles, a partir de un planeamiento integral con enfoque holístico, que garantice el acceso a la vivienda y los servicios sin desplazar a la población, contribuya a erradicar la pobreza urbana y rural, a conservar al patrimonio y a revitalizar los centros urbanos. Otro principio básico para el logro de la sostenibilidad urbana, reconocido en Río + 20, es la oferta de viviendas y servicios básicos inclusivos, que propicien seguridad y salud para todos; espacios verdes seguros, agua y saneamiento, aplicando el principio de las «3R» (reducir, reusar y reciclar), a la vez que se reduzca la vulnerabilidad y se potencie la resiliencia y la adaptación al cambio climático.

La Conferencia de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible Río + 20, la cual formuló «el futuro que queremos», reconoció además la importancia de la participación y la necesidad de fortalecer el rol de los gobiernos locales en la revitalización de los centros urbanos, la promoción de la eficiencia energética de los edificios, la garantía de un transporte sostenible y de un uso mixto del suelo, así como la conveniencia de fomentar la cooperación entre ciudades.

El concepto de ciudades resilientes hace énfasis en la necesaria mitigación, adaptación y reversión del cambio climático, y es opuesto al de vulnerabilidad. Resiliencia implica flexibilidad, redundancia, capacidad de aprender y de reorganizarse [ONU Hábitat, 2012]. Por otro lado, el concepto de ciudades vivibles refleja claramente que el bienestar físico y síquico de los seres humanos es el fin último de la sostenibilidad urbana.

Los debates más actuales se refieren a la necesaria evolución de las instituciones gubernamentales; la nueva relación entre la ciudad y el territorio; el tránsito de la satisfacción de las necesidades básicas a la co-creación y co-gestión de los servicios públicos; la competencia y cooperación entre ciudades; la reinención continua de la ciudad, y los modelos territoriales policéntricos.

A partir del reconocimiento de la economía de escala y el rol económico de las ciudades como generadoras de riquezas, se emplea el concepto de prosperidad urbana que ha evolucionado según Acioli [Acioli, 2015], de cinco a seis dimensiones, donde la gobernanza urbana se adiciona a las previamente reconocidas: sostenibilidad ambiental, equidad e inclusión social, calidad de vida, desarrollo de infraestructura y productividad. Estas se toman como base para medir el índice de prosperidad urbana de cada ciudad.

En la conferencia cumbre del hábitat (Hábitat III), celebrada en Quito, en octubre de 2016, con el lema «la ciudad que queremos», se debatió la nueva agenda urbana para los próximos 20 años, cuyos pilares reconocidos son el ordenamiento jurídico, financiero y físico [Claus, 2015], en aras de la integración, inclusión y sostenibilidad para la equidad y prosperidad, y en lo cual resulta esencial el espacio público, el uso mixto del suelo y la planeación urbana.

Así, el programa de transformación de ciudades, desarrollado por el Grupo Argos en Colombia [Grupo Argos, 2015], asume como principios básicos el desarrollo de ciudades de primer piso, caminables, con espacios públicos generosos, que propendan a la vida de barrio, incluyentes, verdes, planeadas, conectadas, saludables, competitivas, amables y seguras. Para ello se requiere de una gestión conjunta donde participen el sector público, el privado y la academia, y de grandes proyectos que promuevan la transformación.

De los 17 objetivos de desarrollo sostenible, aprobados en octubre de 2015 (Fig. 1), casi todos tienen una relación directa con el desarrollo urbano, a pesar de que uno de ellos (el 11) está directamente dirigido al logro de ciudades y asentamientos humanos «inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles». Para ello se han reconocido siete metas e indicadores vinculados a la vivienda

y a los asentamientos precarios: el transporte público y la accesibilidad; la planificación y el uso del suelo; la preservación del patrimonio histórico; la prevención de desastres; el medioambiente; los residuos sólidos; y el espacio público.



Fig. 1. Objetivos de desarrollo sostenible. Símbolos.

Sustentabilidad de la vivienda urbana de interés social

El fracaso del modelo urbano moderno, que nació con la vivienda social masiva, condujo al cuestionamiento de ambos conceptos. En América Latina, los conjuntos habitacionales planeados como urbanizaciones abiertas en las periferias urbanas, no resultaron accesibles a la población de menores recursos (Fig. 2). En Europa fueron abandonados, ante la preferencia por la ciudad tradicional (Fig. 3). En contraposición, la autoconstrucción y los asentamientos espontáneos fueron la alternativa viable para los pobres de la región, quienes han ido conformando una ciudad informal que con el tiempo se ha consolidado (Fig. 4). Por otra parte, los edificios repetitivos en las urbanizaciones monótonas y anodinas fueron ocupados por los estratos más bajos de la sociedad, constituidos por los negros pobres en Norteamérica y los inmigrantes en Europa, con lo cual, este modelo urbano y habitacional, en ocasiones, estuvo asociado con algunos males sociales.

El resultado de este proceso ha conducido, en ocasiones, a la desaparición temprana de estos fragmentos de ciudad, mediante demoliciones e implosiones o a su rehabilitación participativa por empresas europeas sin fines de lucro y, por otro lado, al proceso de urbanización de la pobreza en la ciudad informal, autoconstruida y progresiva.

El término de vivienda social ha sido sustituido por el más usado en la actualidad: vivienda de interés social, referido a un proceso en el cual, el Estado no es ya el único responsable, sino un actor más que juega el rol de facilitador, donde participa también el sector privado y la población accede de forma diferenciada según su poder adquisitivo.

El reconocimiento del carácter inevitable e irreversible del proceso de urbanización [ONU Hábitat, 1996] (las personas emigran a la ciudad en busca de oportunidades de salud, educación, trabajo, recreación y otras, que no pueden satisfacer en las zonas rurales) se relaciona con el derecho a la ciudad e incluso, el derecho a hacer una ciudad (informal), que es también el resultado del

proceso de producción social del hábitat. Sin embargo, el debate actual conduce al reconocimiento de que una ciudad inclusiva, segura, resiliente y sostenible no se produce de forma espontánea, sino que es el resultado de un proceso de planeamiento integrado, holístico y participativo.



Fig. 2. Edificio de viviendas en el Conjunto Nariño, Bogotá.



Fig. 3. Edificio de viviendas «del Millón» en Estocolmo, Suecia.

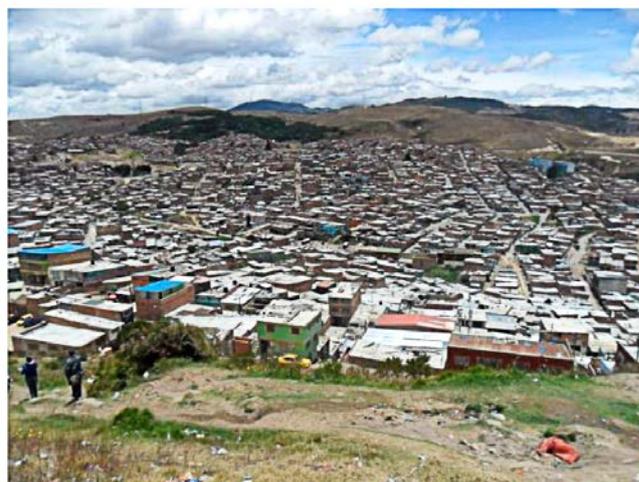


Fig. 4. Ciudad Bolívar, Bogotá.

Ambos enfoques, el del futuro deseado de la ciudad y el posible de la vivienda, encierran diversas contradicciones que se deberán resolver en la teoría y en la práctica.

Existe consenso en cuanto a la necesaria integración social en ciudades inclusivas, pero para ello se requieren estrategias claras que estimulen esa integración: vencer el miedo a la violencia; la tendencia natural de los diversos estratos sociales a segregarse, replegarse y protegerse; así como mecanismos económicos que favorezcan el financiamiento cruzado, fundamentalmente del suelo, la infraestructura, los servicios y el espacio público (Fig. 5).

Promover el uso mixto del suelo, favorece la dinámica urbana y el uso continuo del espacio público, lo cual contribuye a la seguridad y desestimula la violencia. Esto también garantiza la relación de la vivienda de los diferentes estratos con servicios adecuados, y contribuye a promover la economía local, con una oferta de empleos en el sector formal e informal, que representa fuentes de ingresos para la población de menores recursos (Fig. 6). El uso mixto del suelo contribuye también a reducir las distancias y facilitar la movilidad cotidiana; además, fomenta la estructuración de la ciudad en unidades con relativa autonomía como las células de los organismos vivos, lo cual, en contraposición al «zoning» del urbanismo moderno, constituye un principio básico de la sostenibilidad urbana [González Couret, 2016].

Además del uso mixto del suelo, este se debe aprovechar al máximo como recurso prácticamente no renovable. La baja densidad de ocupación del suelo genera crecimientos urbanos extensivos, con los correspondientes incrementos de la demanda de infraestructura y las distancias de transportación, lo cual a su vez, influye en el aumento del consumo de energía y la contaminación ambiental. Sin embargo, predomina una tendencia en la población de menores ingresos a preferir la vivienda unifamiliar aislada, directamente vinculada al terreno, con respecto a los edi-

ficios multifamiliares o de apartamentos de varios pisos, donde se ve afectada su privacidad y los costos de mantenimiento se incrementan.

La solución de esta contradicción conduce a la formulación de estrategias educativas y a la búsqueda de alternativas apropiadas (morfologías urbanas y tipologías arquitectónicas), que permitan un mejor aprovechamiento del suelo urbano y una reducción de los costos sin afectar el ambiente interior, la habitabilidad y la privacidad de las viviendas [González Couret, 2011], y que propicien además, una importante presencia del verde urbano (Fig. 7).

En cualquier caso, las soluciones urbanas y arquitectónicas que se asuman deberán tener en cuenta las tradiciones locales, los gustos, las preferencias de la población y sus formas de vida. Un proceso de planeamiento participativo propiciaría esto y facilitaría una mejor toma de decisiones. Las soluciones a desarrollar deberán ser lo suficientemente flexibles para su transformación y adecuación, en función de las necesidades y posibilidades de la población, en un proceso progresivo de mejoramiento continuo en el tiempo.

La adecuación de la arquitectura y el urbanismo al clima local es determinante, tanto para el bienestar y la salud de las personas como para reducir el consumo energético. En ello juega un importante rol el diseño bioclimático pasivo, que debe tomar como referencia las tradiciones de la arquitectura vernácula de cada lugar, con vistas a reinterpretarlas en la contemporaneidad de acuerdo con las necesidades actuales y las nuevas condicionantes contextuales y tecnológicas.

Entre los recursos disponibles que se deben aprovechar al máximo para una mayor sostenibilidad urbana, no solo se encuentran el suelo, la infraestructura, la vegetación, el agua, el sol y el viento, sino también los materiales y elementos de construcción. El uso de materiales locales no solo se justifica por la ventaja de reducir la transportación, sino porque constituyen parte de la tradición, de manera que se adecuan al contexto y son asimilados y conocidos por la población.



Fig. 5. Parque de los Pies Descalzos. Medellín.



Fig. 6. Dinámica urbana generada por la inclusión del sistema de bibliotecas públicas y el metro-cable en los barrios populares de Medellín.



Fig. 7. Proyecto urbano Las Arboledas en La Habana, el cual permitió densidades apropiadas con alturas medias y presencia de espacios verdes.

Los recursos naturales se deberán consumir a menor velocidad que la de su renovación, y es conveniente promover siempre que sea posible el empleo de materiales reciclados y reciclables.

La protección del patrimonio es otro principio esencial de sostenibilidad urbana, que se relaciona con los valores culturales inmateriales, anteriormente mencionados, pero también con el medio construido. No se trata solo de preservar el patrimonio heredado, sino de asumir las nuevas acciones de producción o transformación del hábitat y la ciudad, como decisivas en la conformación del patrimonio cultural a legar a las futuras generaciones.

Calidad de la vivienda y ambiente térmico interior

El reconocimiento del derecho a la vivienda ha estado asociado con campañas encaminadas a promover el buen vivir y una adecuada calidad de vida. Los enfoques cuantita-

tivos han dado paso a los cualitativos, en los cuales, la calidad de la vivienda, incluida la vivienda de interés social, representa un objetivo esencial. Cada vez son más numerosas y diversas las investigaciones dirigidas al establecimiento de requisitos, parámetros e indicadores para evaluar la calidad de la vivienda [Pérez, 2013], y todas ellas reconocen la importancia del ambiente térmico, por su impacto en la salud de los habitantes, en el consumo de energía y, por tanto, en el cambio climático y en la resiliencia urbana.

Se entiende por ambiente térmico a la combinación de variables micro-climáticas que influyen en la sensación térmica percibida por las personas que lo habitan. Estas son: la temperatura y la humedad relativa del aire, la temperatura radiante y la velocidad del viento. Esta última tiene una influencia notable en la sensación térmica, percibida en climas cálidos y húmedos, ya que la ventilación es prácticamente el único mecanismo de

termorregulación posible, pero es un parámetro muy variable y difícil de predecir. La humedad relativa también tiene un peso importante en la sensación térmica percibida, pero resulta muy difícil modificar sus valores mediante las soluciones de diseño arquitectónico. Por lo tanto, la temperatura del aire y la temperatura radiante son los parámetros del microclima interior, objetos de estudio aquí, por la influencia que en ellos tiene la solución arquitectónica.

El ambiente térmico interior de la vivienda está condicionado por factores internos y externos, además de los propios de la solución arquitectónica. Entre los factores externos se encuentra el microclima del lugar donde se ubica la vivienda. Este depende de la latitud, la altitud y las condiciones locales, y se caracteriza por las variables climáticas como la temperatura y la humedad relativa del aire, el comportamiento del viento y la radiación solar. Las fuentes generadoras de calor como los equipos, las luminarias y los propios habitantes, también condicionan el ambiente térmico interior de la vivienda.

La solución arquitectónica, objeto de estudio de este trabajo, influye en el ambiente térmico interior mediante el diseño (la forma) y los materiales y elementos de construcción y terminación. Para su estudio se ha asumido la clasificación ofrecida en investigaciones precedentes: contexto, volumetría, espacio y envolvente [González et al, 2015].

En lo que a la influencia del contexto se refiere, esta se produce mediante las sombras arrojadas, la forma en que refleja, absorbe y emite la radiación solar recibida y el modo en que condiciona el comportamiento del viento alrededor de la edificación. Esto depende de la separación entre los edificios y su altura, lo cual determina el ángulo de visión del cielo, y condiciona la ocupación y utilización del suelo. También resultan determinantes la vegetación existente, los materiales y el albedo [Sánchez, 2015].

Por otro lado, la tipología volumétrica de la propia edificación también condiciona la ocupación y la utilización del suelo, el flujo de viento y el autosombreado con respecto a la radiación solar incidente. La altura y el número de plantas generan diferencias en el ambiente térmico interior de los diversos pisos, en dependencia del contexto. El ambiente térmico está condicionado también por las características del espacio interior, sus dimensiones y proporciones, así como la forma de relación con el exterior.

La envolvente está constituida por todos los cierres exteriores de la edificación (cubierta, paredes y ventanas) y su influencia en el ambiente térmico interior depende de su posición en el espacio y su orientación con respecto al sol, así como de sus dimensiones y proporciones, de las sombras arrojadas sobre estos por parte del contexto, el propio edificio u otros elementos adicionales de protección solar.

Por último, las propiedades físico-térmicas de los materiales y elementos de cierre, que constituyen la envolvente arquitectónica, condicionan el flujo térmico a través de ellos y la inercia que depende de su capacidad térmica; con lo cual, cuando están expuestos a la radiación solar directa, tienen una gran influencia en las temperaturas interiores (temperatura del aire y temperatura radiante).

La relación entre los procesos y enfoques globales discutidos en la primera parte de este trabajo; los principios que de ellos se derivan y las variables objeto de estudio para evaluar el ambiente térmico interior en la vivienda, se resumen en la tabla 1.

Las principales estrategias de diseño reconocidas para mejorar el ambiente térmico interior en regiones de clima cálido-húmedo, consisten en reducir por todos los medios la carga o ganancia térmica hacia el espacio interior y, en segundo lugar, maximizar la ventilación natural por todas las vías posibles (Fig. 8). Lo primero se logra incrementando las sombras arrojadas, preferiblemente provenientes de la vegetación, para aprovechar el «efecto de la sombra viva». Cuando no es posible sombrear la envolvente arquitectónica, es conveniente reducir la absorción de calor en las superficies exteriores y el flujo térmico hacia el espacio interior. Se recomienda evitar que se almacene calor en la estructura de la edificación, ya que las temperaturas del aire son elevadas tanto por el día como por la noche, por lo que resulta conveniente emplear elementos de baja inercia térmica.



Fig. 8. Vivienda vernácula rural en el clima cálido-húmedo de Cuba.

Por la perpendicularidad de los rayos solares en la franja ecuatorial, la cubierta tiene un rol decisivo en la reducción de la carga térmica que se transmite hacia el espacio interior. Sin embargo, el material de construcción que más se emplea en el techo de la vivienda popular es la plancha acanalada de acero galvanizado, con un elevado coeficiente global de transferencia térmica, el cual ha sustituido a la tradicional cubierta vegetal de la vivienda vernácula (Fig. 9).



Fig. 9. Vivienda popular con cubierta de plancha acanalada de acero galvanizado en Portoviejo, provincia de Manabí, Ecuador.

Tabla 1. Variables que condicionan el ambiente térmico interior de la vivienda, a partir de los principios que se derivan de los enfoques globales expresados en el objetivo 11 de desarrollo sostenible

Procesos y enfoques globales	Principios			Variables objeto de estudio				
PROCESO DE URBANIZACIÓN	Aprovechamiento del suelo urbano	Reducción de impacto ambiental		MORFOLOGÍA URBANA TIPOLOGÍA ARQUITECTÓNICA	CONTEXTO	Ocupación del suelo		
	Integración e inclusión social	Reducción de pobreza urbana				Vegetación		
	Uso mixto del suelo (vivienda y servicios)					Materiales (albedo)		
	Generación endógena de recursos económicos					Tipología		
	Progresividad y mejoramiento continuo					Número de plantas		
PROCESO DE PRODUCCIÓN SOCIAL DE HÁBITAT	Participación	Vivienda apropiada		FLEXIBILIDAD PROGRESIVIDAD	VOLUMETRÍA	Autosombreado		
	Cultura. Tradición. Formas de vida.					Dimensiones. Proporciones		
DERECHO A LA VIVIENDA Y AL BUEN VIVIR	Calidad de la vivienda	Habitabilidad	Ambiente térmico interior	Bienestar y salud de las personas	DISEÑO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	ESPACIO	Relación con el exterior	
							Reducción del consumo de energía	Posición. Orientación
		Durabilidad. Mantenimiento	Reducción del consumo de recursos	Dimensiones. Proporciones				
				Protección solar				
Propiedades físico térmicas								

Es comprensible el abandono del empleo de cubiertas vegetales en la vivienda urbana, por la concentración de la demanda de ese elemento natural, la durabilidad y el riesgo de incendio, aunque la razón de mayor peso sea de tipo cultural, al asociar la fibra vegetal con atraso y pobreza, y el acero galvanizado con modernidad y desarrollo. Sin embargo, son muchos los errores que se cometen, tanto por parte de la población como de los promotores de la vivienda de interés social, al asumir soluciones que en la búsqueda de una mayor calidad, afectan notablemente el ambiente térmico interior, sin tener en cuenta los costos del ciclo de vida de la vivienda (Fig. 10).



Fig. 10. Vivienda de interés social promovida por el Ministerio de la Vivienda y el Urbanismo (MIDUVI) en Ecuador.

La tendencia a reproducir volúmenes puros reduce la posibilidad de autosombreado y protección de lluvias por parte de la propia edificación. Esto se agrava cuando se trata de ventanas de vidrio expuestas al sol, que contribuyen a incrementar la temperatura interior como consecuencia del efecto invernadero. En muchos casos, las soluciones económicas prescinden de portales que posteriormente las personas agregan, afectando en ocasiones el entorno urbano y la iluminación natural interior. (Fig. 11).

En la población predomina el deseo de incrementar el espacio habitable techado sin una clara conciencia del impacto que esto puede ocasionar en la habitabilidad de la vivienda, la salud de los habitantes y el consumo energético. En contextos de alta ocupación del suelo, la adición de espacios exteriores techados llega a cubrir casi la totalidad del lote.



Fig. 11. Adición de espacio techado que afecta la habitabilidad interior de la vivienda en Portoviejo.

No obstante, se aprecia una tendencia al aumento del número de investigaciones dirigidas al mejoramiento de la calidad de la vivienda de interés social y popular, y particularmente, de su ambiente térmico interior. La Universidad Autónoma de Ciudad Juárez publicó en 2013 [Staines, 2013] los resultados de una investigación desarrollada en seis ciudades de cuatro países (México, Colombia, Chile y España), sobre la habitabilidad y la eficiencia energética en conjuntos habitacionales de interés social.

Numerosos estudios precedentes pueden servir de referencia para la vivienda de interés social en el clima cálido y húmedo de la ciudad Portoviejo en Ecuador. Tal es el caso de las investigaciones realizadas por Romero, R. [Romero, 2010], encaminadas a evaluar el confort térmico y el ahorro de energía en la vivienda económica en México, para regiones cálidas, tanto húmedas como secas.

García, Bojórquez, y Ruiz, Torres, [García, Bojórquez, y Ruíz, 2011] demostraron que los habitantes de la vivienda popular autoproducida se adaptan mejor al ambiente térmico interior que los que habitan en una vivienda económica en Mérida, México; mientras que Mecott, S. [Mecott, 2011] probó que es posible mejorar el comportamiento térmico de paneles de ferrocemento para la vivienda en Oxaca y Odeku. Overen y Meyer [Odeku, Overen, y Meyer, 2014] propusieron cómo mejorar la eficiencia térmica de viviendas de bajo costo, usando pinturas traslúcidas de agua en Sudáfrica.

Referencia directa constituye el trabajo de Díaz O. [Díaz, 2012], quien evaluó el comportamiento del techo de acero galvanizado de la vivienda vernácula en el clima cálido-húmedo de la República Dominicana. Díaz O. reconoció la necesidad de desarrollar estrategias que contribuyan a mejorar su desempeño térmico, entre las que apunta como preferible la doble cubierta ventilada.

El marco conceptual establecido en la investigación teórica, ha servido de base para el diseño de un trabajo experimental, encaminado a evaluar el desempeño térmico de la vivienda popular y la vivienda de interés social que se construye en la ciudad de Portoviejo, capital de la provincia de Manabí, en Ecuador, con vistas a demostrar su impacto negativo y proponer soluciones alternativas que permitan mejorar la habitabilidad de la vivienda y la sostenibilidad urbana.

Conclusiones

El logro de viviendas y servicios básicos adecuados, seguros y asequibles en urbanizaciones inclusivas, planificadas y gestionadas de forma participativa, que salvaguarden el patrimonio, reduzcan el impacto ambiental negativo y utilicen de manera eficiente los recursos disponibles, constituyen metas esenciales de los objetivos de desarrollo del milenio, aprobados en 2015.

Particular importancia adquiere la vivienda urbana, a partir del reconocimiento del carácter inevitable e irreversible del proceso de urbanización, y de que las ciudades constituyen espacios generadores de riquezas, donde la esperanza de vida es mayor.

El proceso de producción social del hábitat predominante en las ciudades de América Latina, durante el último medio siglo, ha demostrado ser efectivo cuando se gestiona adecuadamente, e indica la necesidad de re-

conocer que la conformación del hábitat humano urbano es un proceso participativo, dinámico y continuo.

El derecho a una vivienda de calidad que promueva el buen vivir de la población urbana ha sido universalmente reconocido e incluye la habitabilidad, así como la promoción de salud física y espiritual.

El ambiente térmico interior de la vivienda urbana de interés social, promovida por el Estado para los estratos sociales de menores ingresos, está directamente relacionada con las morfologías urbanas y tipologías arquitectónicas que influyen en el uso del suelo y la posible inclusión social; requiere de soluciones flexibles susceptibles de mejoramiento progresivo por parte de sus habitantes y es vital en la calidad de la vivienda, su impacto ambiental y la salud de sus ocupantes.

El ambiente térmico interior de la vivienda está condicionado por su diseño y los materiales de construcción empleados en su ejecución, cuya influencia se expresa a través de las siguientes variables: el contexto urbano, fundamentalmente la ocupación del suelo, presencia de vegetación y el albedo; la volumetría y tipología arquitectónica, el número de plantas y el autosombreado; las dimensiones y proporciones del espacio interior y su relación con el exterior; así como la envolvente, su forma, orientación, exposición al sol, superficies y materiales.

La experiencia internacional demuestra una tendencia en América Latina al incremento de la preocupación por mejorar el ambiente térmico interior de la vivienda de interés social, mediante el desarrollo de investigaciones y aplicaciones prácticas, las cuales señalan que es posible lograrlo sin elevar los costos, partiendo de un análisis de ciclo de vida y evaluación costo-beneficio.

Bibliografía

- ACIOLI, C (2015). «Conferencia en la Convención Internacional de Ordenamiento Territorial y Urbanismo», La Habana, 2015.
- BUTERA, F. (2012). «Edificios de energía cero». Taller Internacional Cubasolar 2012, Santiago de Cuba, 2012.
- BUTERA, F. 1998. «Uso de la energía para un desarrollo urbano sostenible». Congreso Internacional de Energía Renovable y Educación Energética, ISPJAE, La Habana, 1998.
- CALLA, A. (2007) «Las políticas de vivienda en Bolivia». Seminario Taller Internacional La producción social de vivienda y las políticas públicas, Viceministerio de Vivienda y Urbanismo, La Paz, 2007.
- CLAUS, J. (2015). «Conferencia del Presidente de ONU Hábitat en la Convención Internacional de Ordenamiento Territorial y Urbanismo», La Habana, 2015.
- COYULA, M. (1997). «Ambiente, población y desarrollo en un mundo en urbanización», Quiénes hacen ciudad?, Ediciones SIAP, Cuenca, 1997.
- DÍAZ, O. (2012). «La cubierta metálica en el clima cálido húmedo: análisis del comportamiento térmico del techo de zinc de la vivienda vernácula dominicana». Directores: Anna Pagès, Antonio Isalgue. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 2012.
- GARCÍA, C.; G. BORJORQUEZ, Y P. RUÍZ (2011). «Sensación térmica percibida en vivienda económica y auto-producida, en periodo cálido, para clima cálido húmedo». Ambiente Construido, v. 11, n. 4, p. 99-111, Porto Alegre, 2011.
- GONZÁLEZ COURET, DANIA (2011). «Uso del suelo y ambiente interior», en Arquitectura y Urbanismo Vol. XXXII, No 2, pp. 9 – 15.
- GONZÁLEZ COURET, DANIA (2016). «Urban sustainability in Latin America. Challenges and perspectives», en Arquitectura y Urbanismo, Vol XXXVI, No 1, pp. 63 – 69.
- GONZÁLEZ COURET, DANIA et al. (2015). «Evaluación cualitativa de la influencia del diseño arquitectónico en el ambiente interior», en Arquitectura y Urbanismo, vol. XXXVI, No 3, pp. 53 – 66.
- GRUPO ARGOS, (2015). «Programa de transformación de ciudades». Cities for Life. Global Meeting, Medellín, 2015.
- KIMMAN, J. (2009). «The Road Towards Energy Neutral Cities». World Renewable Energy Congress 2011, Linköping, 2009.
- MAZRIA, E. (2012). «Clean Energy: The Future is Now», en World Renewable Energy Forum. Denver: American Solar Energy Society, 2012.
- MECOTT, S. (2011). «Vivienda bioclimática con paneles modulares de ferrocemento y materiales aislantes alternativos para la ciudad de Oaxaca». Director: Felipe Cano. IPN, Oaxaca, 2007.
- MONTES DE OCA, M. (2011). «Edificios de energía casi nula, Una realidad inminente», en P. Romera García (Ed.), Curso de Arquitectura Sostenible (pp. 66 – 71). Las Palmas de Gran Canarias: Escuela de Arquitectura, 2011.
- ODEKU, K; OVEREN, K., Y E. MEYER (2014). «Thermal Efficiency for Low Cost Houses using Translucent Water-Based Acrylic Paint», en Mediterranean Journal of Social Sciences, Vol. 5 No. 20.
- ONU HÁBITAT, (1996). «Habitat Agenda», Estambul, 1996.
- ONU HÁBITAT, (2012). «Climate Change», Nairobi, 2012.
- ONU HÁBITAT, (2016). <http://www.habitat3.org> (consultado 20 de febrero de 2016)
- ONU HÁBITAT, 1996: «Habitat Agenda», Estambul, 1996.
- ONU HÁBITAT, 2002. «Plan de acción regional para los asentamientos humanos en América Latina y El Caribe», Conferencia Hábitat más cinco, Nueva York, 2002.
- ONU, (2012). «Documento final de la Conferencia». Río + 20. Conferencia de las Naciones Unidas sobre Desarrollo Sostenible. (Informe A/CONF.216/L.1*). Río de Janeiro, 2012.
- ONU, 2015. Objetivos de Desarrollo Sostenible en sitio web de ONU Hábitat. <http://www.habitat3.org>. (consultado 20 de febrero de 2016).
- PÉREZ, A. (2013). «Bases para el diseño de la vivienda de interés social». Universidad de La Salle, Bogotá, 2013.
- ROMERO, R. (2010). «Confort térmico y ahorro de energía en la vivienda económica en México: regiones clima cálido, seco y húmedo». Primer Encuentro Académico CONAVI CONACID, México, 2010.
- ROMERO, R. (2010). «Confort térmico y ahorro de energía en la vivienda económica en México: regiones clima cálido, seco y húmedo». Primer Encuentro Académico Conavi Conacid, México, 2010.
- SÁNCHEZ, O. (2015). «Los usos activos y pasivos del sol y el viento en la vivienda urbana en La Habana». Tesis presenta en la Facultad de Arquitectura del ISPJAE, La Habana, 2015.
- STAINES, E. (2013) «Habitabilidad y eficiencia energética en conjuntos habitacionales de interés social», Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, 2013.
- STAINES, E. (2013). «Habitabilidad y eficiencia energética en conjuntos habitacionales de interés social». Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, 2013.
- UN HABITAT, 2015. «Milenium Goals» <http://www.unhabitat.org> (consultado 15 marzo 2005).
- UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA (2015). «Memorias del 1er Encuentro de Experiencias Significativas de Recomposición Social y Urbana». Bogotá.

Diseño y construcción de un digestor anaerobio a escala de laboratorio, para el estudio del biodiesel con fines energéticos

Por **Orellana Blanco Jorge***

* Ing. Centro de Investigaciones de Alimentos, Morón, Ciego de Ávila, Cuba.
esp_laboratorio2@cibacav.cu

Resumen

La actividad mundial depende del uso de los combustibles fósiles, y la escasez de estos ha provocado conflictos sociales y económicos de gran magnitud. Como alternativa energética surge el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía para reducir el consumo del petróleo y sus derivados, y de esta manera contribuir al desarrollo sustentable. El biogás se conoce desde el surgimiento de la humanidad, pero no fue hasta la actualidad, impulsado por las necesidades económicas y el cambio climático, que despertó gran interés su uso con fines energéticos. Sin embargo, los conocimientos sobre esta tecnología se amplían y son los países en vías de desarrollo los más interesados en ello. Por esa razón se ha desarrollado en el Centro de Investigaciones de Bioalimentos, como resultado de la investigación, un digestor anaerobio de cúpula fija de primera generación a escala de laboratorio, en el cual se han obtenido volúmenes de gas por encima de la media con una relación de 1 m³ a 1,2 m³ biogás por metro cúbico de residual mezclado. El trabajo permitió además diseñar un gasómetro que permitirá almacenar el gas necesario para realizar los estudios.

Palabras clave: digestión anaerobia, fuente renovable de energía.

Design and construction of an anaerobic digester at laboratory scale for the study of biogas for energy purposes

Abstract

Global activity depends on the use of fossil fuels, and the shortage of these has caused social and economic conflicts of great magnitude. As an alternative energy comes the use of renewable energy sources to reduce the consumption of oil and its derivatives and thus contribute to sustainable development. Biogas has been known since the emergence of humanity, but has not been so far, driven by economic needs and climate change that has aroused great interest its use for energy purposes, however, the knowledge of this technology is still expanding and it is the developing countries that are most interested in this. For this reason, as a result of the research, an anaerobic first-generation fixed dome at laboratory scale has been developed in the Biofood Research Center, in which volumes of gas have been obtained above the average with a ratio of 1 to 1.2 m³ biogas/m³ of mixed residual. The completion of the work also made it possible to design a gasometer that will store the gas needed to carry out the studies.

Keywords: anaerobic digestion, renewable source of energy.

Introducción

El mundo se desarrolla con una total dependencia de la energía. Esta es necesaria para toda actividad humana,

bien en forma de electricidad, calefacción o gas natural. La creciente demanda de los últimos años se ha cubierto mayoritariamente con fuentes de energía de origen fósil,

como el carbón, el gas natural y el petróleo. La sobreexplotación de las energías fósiles, unido a su condición de ser un recurso limitado, está siendo cuestionada cada día más, de que puedan continuar siendo por sí solas, las fuentes para producir la energía del futuro, considerando también las condicionantes de tipo económico y técnico de la explotación de los nuevos yacimientos.

Si a este factor se le suma que las energías de origen fósil son las principales responsables de las emisiones de gases de efecto invernadero y, por tanto, del calentamiento global, se comprende que desde hace algún tiempo las miradas se han vuelto hacia los programas de desarrollo de las fuentes renovables de energías (FRE) en todo el mundo [Miembros..., 2010].

Los residuos no solo constituyen un problema para la población y el medioambiente, sino que además se desaprovechan como fuente alternativa de materias primas y energía, por lo que es necesario estudiar diferentes opciones para aprovechar todo su potencial. En muchos casos, la valorización energética es una alternativa imprescindible para optimizar la explotación de los residuos/subproductos agroalimentarios. Además, el interés por convertir dichos materiales en fuentes renovables de energía, ha aumentado notablemente en los últimos años, ante los precios del barril de petróleo y las perspectivas futuras.

Existe gran variedad de técnicas para el aprovechamiento energético que son aplicables en función del tipo de residuo o subproducto a utilizar. Se clasifican en métodos termoquímicos (combustión, pirólisis y gasificación); métodos químicos (producción de biodiesel mediante transesterificación) y métodos bioquímicos (producción de bioetanol mediante fermentación alcohólica y producción de biogás, a través de la fermentación o digestión anaerobia).

Los métodos termoquímicos suelen requerir sustratos de poca humedad, lo que restringe su uso en muchas ocasiones, ya que los subproductos de la industria agroalimentaria presentan por lo general un elevado contenido de agua. La producción de biodiésel exige un tipo de residuos muy concreto, con alto contenido en grasas y cierto grado de pureza.

Para producir bioetanol también se precisa un tipo específico de residuos (elevado contenido en hidratos de carbono, almidón, etcétera), con bajo contenido en impurezas. Por tanto, es la digestión anaerobia la que ofrece mayores posibilidades para el aprovechamiento del residual, no solo porque disminuye o elimina el poder contaminante de una amplia variedad de residuos de elevada humedad, de distinta composición y procedencia, generando un efluente rico en nutrientes que se puede emplear para el mejoramiento de suelos y alimento animal, sino que además, constituye una fuente de energía (biogás), que se puede aprovechar para producir calentamiento, electricidad o accionar motores.

Cuba es un país subdesarrollado y, en consecuencia, afectado directamente por las políticas neoliberales de grandes potencias desarrolladas que imposibilitan el crecimiento económico. Ello ha provocado un aumento considerable en la toma de conciencia por parte de la po-

blación, acerca del uso racional y eficiente de las fuentes no renovables de energía y el uso cada vez más creciente de otras fuentes renovables como la digestión anaerobia para solucionar problemas energéticos, económicos y ambientales.

Varios son los ejemplos del uso de esta tecnología en sectores estatales y no estatales, diseminados por todo el territorio de la provincia Ciego de Ávila, contando con un alto número de digestores de diferentes tecnologías y una estrategia de construcción de nuevos sistemas. El Centro de Investigaciones de Bioalimentos (CIBA), ubicado en el municipio de Morón, desarrolla dentro de sus líneas de trabajo el empleo de los digestores, no solo en la remoción de los residuales, sino también, en el uso de la energía como valor agregado de esta tecnología, impulsando su uso con un trabajo sólido y sostenido por varios años.

Actualmente cuenta con dos prototipos a gran escala, uno tubular de polietileno y otro de cúpula fija construido con concreto. CIBA constituye un centro de referencia dentro de la provincia en el aprovechamiento de las FRE; pero el control exacto de los principales parámetros (pH, relación excreta-agua, volumen de alimentación, etcétera), en el funcionamiento de estos biodigestores a gran escala, es muy engorroso y no se dispone de equipamiento e instrumentos especializados para las investigaciones que se realizan del biogás como fuente de energía. En la investigación realizada se planteó como problema científico, cómo controlar las variables de funcionamiento de un digestor anaerobio de primera generación a escala de laboratorio y se propuso diseñar un digestor anaerobio de primera generación a escala de laboratorio para evaluar las características energéticas del biogás.

Materiales y métodos

Parámetros técnicos del digestor

Los elementos que componen un digestor, según Campos, [2011], son:

1. Tanque de digestión: define la denominación del digestor. Está compuesto por la cámara de fermentación y la cúpula. En la cámara de fermentación anaeróbica, el material a descomponer permanece un determinado tiempo, llamado «tiempo de retención hidráulica», en el cual ocurre la degradación y liberación del biogás. Su geometría es cilíndrica y su capacidad está dada por el volumen de material a degradar. La función de la cúpula es almacenar el gas en los momentos que no existe consumo, pues la producción de gas es ininterrumpida a lo largo de todo el día. La capacidad de almacenaje de la cúpula depende del volumen de la cámara de fermentación.
2. Laguna de compensación: en ella se acumula el material ya fermentado (digerido), donde se puede recoger. La capacidad de la laguna depende del volumen del digestor (un tercio del mismo) y puede tener diferentes formas (cuadrada, circular, rectangular) y construirse encima de la cúpula o al lado del tanque de fermentación.
3. Registro de carga: puede tener variadas formas y su tamaño depende del diseño del digestor. En él se

introduce el material a fermentar, mezclándose con agua en las proporciones adecuadas y homogeneizándose.

4. Conducto de carga: comunica al registro de carga con el tanque de fermentación.

Los principales parámetros para el cálculo de una planta de biogás son:

- Volumen del digestor: volumen de la materia orgánica más el agua.
- Volumen de la cámara de fermentación.
- Volumen de la campana: valor máximo de almacenamiento de gas.
- Volumen de carga: volumen total de materia ya diluido que penetra dentro del digestor por día.
- Tiempo de retención hidráulica: indica la cantidad de tiempo en días que permanece el material dentro del digestor.

Cálculo del número de animales equivalentes

Si se conoce el número de animales (Ca) por peso, se puede calcular la masa total (Mt) por la siguiente expresión:

$$Mt = (Ca_1 * kg \text{ peso}_1) + (Ca_2 * kg \text{ peso}_2) + \dots + (Ca_n * kg \text{ peso}_n)$$

Posteriormente se determina el número de animales equivalentes (#Ae) por la expresión:

$$\#Ae = \frac{Mt (kg)}{50 (kg)}$$

Cálculo de la cantidad de excreta

Es el promedio de excreta diaria por peso promedio del animal, conociéndose que por cada animal de 50 kg, se obtienen aproximadamente 2,25 kg de excreta al día. Conociendo la relación promedio de excreta que se obtiene por cada animal de 50kg, se calcula la cantidad de materia orgánica (Ce) por la expresión:

Cálculo del volumen del digestor

Conociendo la cantidad de materia orgánica que se puede recoger diariamente para alimentar el digestor y la relación excreta/agua, el volumen del digestor V_d , se calcula mediante la expresión:

$$Ce = \#Ae * 2,25 \text{ kg}$$

donde: T_r es el tiempo de retención hidráulica (TRH), tiempo que requieren las bacterias para degradar la materia orgánica. El TRH varía entre 20 y 55 días, en dependencia del tipo de animal (cerdos, caballos, vacunos, etcétera), ya que se usan diferentes proporciones entre las cantidades de excretas y agua.

Cálculo del volumen de la cámara de fermentación

El volumen de la cámara de fermentación V_{cf} está entre 75 % a 80 % del volumen del digestor, por lo cual:

$$V_d = (kg(\text{excreta}) + kg(\text{agua})) T_r$$

Cálculo del volumen de la cúpula

La cúpula es un segmento de una esfera y su volumen V_c está en el rango de 20 % a 25 % del volumen del digestor, entonces se tendrá la expresión:

$$V_c = V_d \cdot (0,20 \sim 0,25)$$

donde: V_c es el volumen de la cúpula en m^3 .

Cálculo del volumen total del digestor

De lo anteriormente planteado se tendrá que el volumen total del digestor V_d es la suma del volumen de la cámara de fermentación V_{cf} más el volumen de la cúpula V_c :

$$V_d = V_{cf} + V_c$$

Diseño del gasómetro

La experiencia práctica indica, según lo planteado por Silva en 2002, que 40 % a 60 % de la producción diaria de gas tiene que ser almacenada. Es por ello que en la mayoría de los casos se requiere de un tanque de almacenamiento de biogás. El volumen del tanque depende de las velocidades relativas de generación y de consumo de biogás. El dimensionado puede ser para:

- Cubrir la velocidad pico de consumo (V_{gs1}). En ese caso el volumen se determina considerando el máximo consumo de gas:
 - Volumen del tanque, máximo consumo de gas = $(G_c, \text{max}) \times (t_c, \text{max})$
 - G_c, max = máximo consumo gas horario
 - t_c, max = tiempo de máximo consumo (h)
- Mantener el gas producido durante el período de cero consumo. En este caso el tamaño se determina por el tiempo de cero consumo de gas:
 - Volumen del tanque, período de cero consumo = $(G) * (t_z, \text{max})$
 - G = producción de gas
 - t_z, max = tiempo máximo de consumo cero

El tamaño final se selecciona dependiendo del mayor valor obtenido de la situación a) o b). Se debe agregar un margen de seguridad de 10 % a 20 %.

Determinación del volumen de biogás

En muchas investigaciones se requiere establecer la cantidad total de biogás producido y su calidad. Para determinar el primer parámetro, algunos investigadores emplean varios procedimientos. Uno de ellos es la extracción y medición del biogás producido por una bomba hidráulica translúcida (o un cilindro de succión), que emplea una sustancia ácida, generalmente ácido sulfúrico al 2,5 %.

El sistema funciona mediante una presión negativa, la cual permite succionar el biogás generado en el reactor biológico para medirlo en el cilindro de la bomba hidráulica, que está calibrado en mililitros. Este sistema es pa-

recido al desarrollado por la compañía Charles Griffin en Londres en 1935 [Haldane, Graham, 1935].

Otra forma de medir el volumen es por el método del desplazamiento de líquido. Este consiste en medir la altura inicial y final del líquido desplazado para calcular la diferencia de altura; posteriormente se calcula el volumen de líquido desplazado por el gas en el digestor circular por la siguiente expresión:

$$Vg = \pi r^2 \Delta h$$

Resultados y discusión

Diseño del digestor anaerobio

Para el diseño del digestor se empleó el método descrito en Materiales y métodos.

- Se partió de un volumen total conocido de 5,1 L, aplicando ingeniería inversa.
- Se definió el volumen de digestión en correspondencia con la relación del volumen entre la cámara de fermentación y la cúpula:

$$V_d = 4,1 \text{ L} = 4100 \text{ ml}$$

$$V_c = V_d \times 0,24 = 0,984 \approx 1 \text{ L}$$

- El TRH está íntimamente ligado con dos factores: tipo de sustrato y su temperatura.

Según Varnero [2011] para procesos mesofílicos que se desarrollan entre 25°C y 45°C, se establecen tiempos de retención de 30 a 60 días. Sin embargo, teniendo en cuenta que el digestor constituye un elemento del sistema de tratamiento, la relación costo beneficio es el factor que finalmente determinará la optimización entre la temperatura y el TRH.

De acuerdo con lo descrito en un artículo publicado en: <http://www.ingenieroambiental.com>, los tiempos de retención donde se obtienen los mayores volúmenes de biogás oscilan entre 20 y 30 días.

Seleccionándose un TRH = 24 días el volumen diario ($V_{\text{día}}$) de alimentación, se calcula de la siguiente manera:

$$V_{\text{día}} = \frac{V_d}{\text{TRH}} = 170,8 \text{ ml/día}$$

La relación excreta/agua para residual porcino se establece de 1:1-3; según [Sánchez, Hernández y Pavón, s/f], la proporción utilizada fue 1:3.

El volumen de excreta (V_{excreta}) se calcula por la expresión siguiente:

$$V_{\text{excreta}} = \frac{V_{\text{día}}}{4} = 42,7 \text{ ml}$$

Como la densidad del residuo en las condiciones de recogida se considera aproximadamente 1000 kg/m³, según [Díaz, s/f]; entonces el V_{excreta} es 42,7 g. Por tanto, el volumen de agua ($V_{\text{H}_2\text{O}}$) será:

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = V_{\text{día}} - V_{\text{excreta}} = 128,0 \text{ ml}$$

Construcción del reactor anaerobio

Teniendo en cuenta los volúmenes calculados en el apartado anterior, se procede a la construcción a escala del digestor. Primeramente, se realizó un diseño en 2D para corregir las medidas correspondientes (ver anexo 1A) y luego la construcción del mismo (ver anexo 1B). Los materiales empleados fueron:

- Pomos plásticos de 5 L.
- Tubos de PVC.
- Cuchilla de corte.
- Pegamento de silicona.
- Conectores.

Construcción del gasómetro

El objetivo fundamental de esta etapa se centra en almacenar todo el biogás generado en el digestor, por tanto, fue seleccionado el método descrito en el apartado B del acápite Diseño del gasómetro.

Volumen del tanque, período de cero consumo (Vg) = (G) * (tz, max.)

$$Vg = \frac{4 \text{ L}}{24 \text{ h}} * 24 \text{ h} = 4 \text{ L}$$

Se deja un margen de seguridad de 20 %.

$$\frac{(4 * 20)}{100} = 0,8$$

El digestor almacena por diseño aproximadamente 1,105 L, entonces el gasómetro debe tener el siguiente volumen:

$$V_{\text{gr}} = 4 - (1,105 + 0,8) = 2,095 \text{ L} \approx 2 \text{ L}$$

El procedimiento de construcción fue igual al descrito en el epígrafe anterior. El plano se puede ver en el anexo 2A y el gasómetro ya construido en el anexo 2B. Los materiales empleados fueron:

- Pomos plásticos de 2L.
- Cuchilla de corte.
- Pegamento de silicona.
- Conectores.

Inicio del proceso de digestión anaerobia y control del volumen de biogás

El digestor (ver anexo 3) fue ubicado en el laboratorio a temperatura ambiente, evitando la incidencia directa de factores externos. Inicialmente fue inoculado con residual de dos digestores actualmente en funcionamiento. Por esta vía, se obtuvo el biogás en menos tiempo del esperado, ya que a las 24 horas se pudo encender el mechero conectado al mismo.

Posteriormente, se comenzó a alimentar una vez al día con las cantidades calculadas anteriormente. En el anexo 4 se aprecia gráficamente el crecimiento paulatino de la producción de biogás.

Después de varias semanas el digestor se mantuvo con una producción constante y permitió un estudio más detallado, al utilizar un pHmetro digital. La observación consistió en determinar los volúmenes de biogás a diferentes horas del día y su relación con otros parámetros como pH, potencial y temperatura. Los resultados se muestran en los anexos 5(A, B, C y D).

Análisis de los resultados

El diseño artesanal del digestor anaerobio a escala de laboratorio se realizó aplicando ingeniería inversa al método descrito. El mismo se encuentra funcionando estable y correctamente, por lo que los resultados son alentadores.

Según Guardado, [2015], en la mayoría de los digestores simples, la relación entre el volumen de biogás producido por metro cúbico de volumen de digestión del residual mezclado con agua, va desde 1/1 a 1/4 m³ de biogás por metro cúbico de residual mezclado. En una producción promedio de biogás, la relación sería: 1 m³ de biogás/2,5 m³ de residual mezclado, es decir, 0,4/1. Si se observan los volúmenes de biogás obtenidos en el digestor a escala, la relación obtenida varía entre 1 m³ y 1,2 m³ biogás/m³ de residual mezclado.

A criterio del autor, este digestor representa un medio ideal para realizar otros experimentos, que pudieran aportar importantes conocimientos al mejoramiento de esta tecnología, ya que constituye una representación casi exacta de los digestores de cúpula fija que comúnmente se pueden encontrar a escala industrial, y los resultados se obtienen en tiempo real con un alto grado de fiabilidad. En los valores obtenidos en la prueba de comportamiento se aprecia que los mayores volúmenes de biogás se obtienen en dos momentos del día, separados entre sí aproximadamente 10 horas, a partir de la alimentación y a valores muy similares de pH, temperatura y conductividad, demostrando las condiciones óptimas del digestor.

Se realizó un diseño empírico del gasómetro con un volumen de 2 L de biogás que trabaja a baja presión sin flotante. Este juega un papel importante dentro del sistema, ya que logra almacenar el gas necesario para realizar los estudios. Además, el principio de su funcionamiento permite incorporar nuevamente el gas almacenado con la presión adecuada y sin gasto energético.

En la construcción del digestor y el gasómetro se emplearon materiales y envases reciclables, contribuyendo con el cuidado del medioambiente.

Conclusiones

Se diseñó y construyó un digestor anaerobio de cúpula fija a escala de laboratorio, cuyas dimensiones y funcionamiento son proporcionales a un prototipo a escala real.

Se fijaron los principales parámetros operacionales del sistema propuesto.

Se obtuvo un volumen de biogás de 1,2 m³ de biogás/m³ de residual mezclado, almacenado en un gasómetro a baja presión sin flotante, con capacidad para 2 L de biogás.

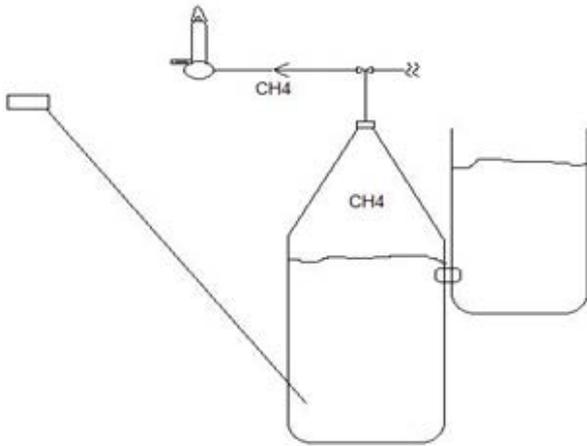
Bibliografía

- MUVIHIWA, R. (2015). *A thermodynamic approach to biogas production*. Sudáfrica: Departamento de Física. Universidad de Sudáfrica.
- GUARDADO, J. A. (2015). «Biogás para la familia campesina». Amanco-Manzanillo: Proyecto Tierra Viva. Soberanía Alimentaria.
- AINIA CENTRO TECNOLÓGICO (2012). *Valorización energética: producción de biogás mediante co-digestión anaerobia de residuos/subproductos orgánicos agroindustriales*. Valencia, España: Dept. Calidad y Medio Ambiente.
- VARNERO, M. (2011). *Manual de biogás*. Santiago de Chile: MINENERGIA/PNUD/ FAO/GEF, Ed. Proyecto CHI/00/G32 "Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables". (ISBN 978-95-306892-0)
- CAMPOS, B. (2011). «Methodology to determine the design and construction parameters of design of biogas installations for little farms», en *Revista Científico Técnica Agropecuaria* vol. 20 no.2, abr.-jun.2011 (versión On-line ISSN 2071-0054).
- MIEMBROS DE LA MESA DE BIOGÁS (2010). *El sector del biogás agroindustrial en España*. Madrid, España: Dirección General de Recursos Agrícolas y Ganaderos y Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- SILVA, J. (2002). *Tecnología del biogás. Gestión Integral del Tratamiento de Aguas Residuales*. Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería y Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente.
- DÍAZ, M.; S. ESPITIA Y F. MOLINA (2002). *Digestión Anaerobia. Una Aproximación a la Tecnología*.
- HERNÁNDEZ, L. (1988). *Diseño de un Reactor Anaeróbico para el Tratamiento de Residuos Municipales*.
- ZEEUW, W. (1987). *Granular Sludge in UASB Reactors*. Proceeding of the Gastmat Workshop Lungstern, Netherlands.
- HALDANE, J; E. GRAHAM, (1935). *Methods of Air Analysis*. Charles Griffin & Co., Londres.
- DÍAZ, M. (s/f). ¿Cómo evaluar los digestores de biogás? Cuba: Las Tunas. Delegación del CITMA.
- SÁNCHEZ, J.; A. HERNÁNDEZ Y A. PAVÓN (s/f). *Uso y mantenimiento de biodigestores de cúpula fija, una forma de contribuir al desarrollo local sostenible*. Matanzas, Cuba: Universidad de Matanzas, Departamento de Química e Ingeniería Química y Departamento de Técnicas de Dirección.
- XINHUA (2014). Cuba amplía uso del biogás como fuente energética. *Revista América Economía*, 12 de junio de 2014. <http://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/cuba-amplia-uso-del-biogas-como-fuente-energetica>.

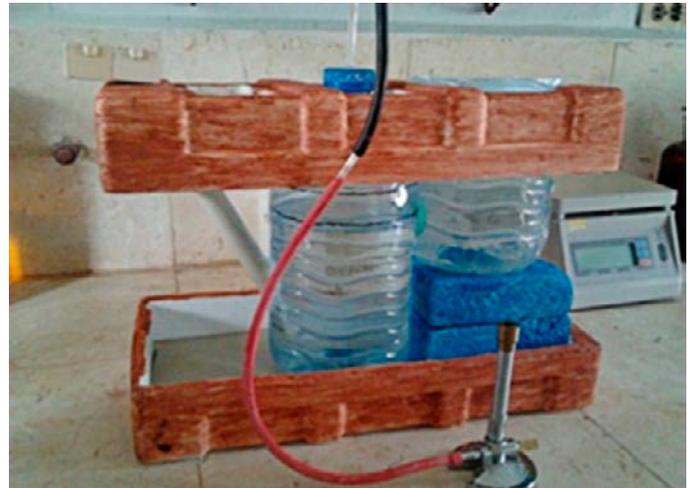
ANEXOS

Anexo 1: Diseño del digestor anaerobio

A)

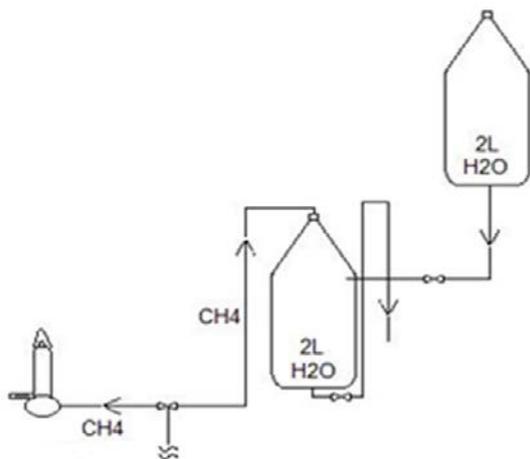


B)



Anexo 2: Diseño del gasómetro

A)



B)



Anexo 3: Digestor anaerobio en funcionamiento

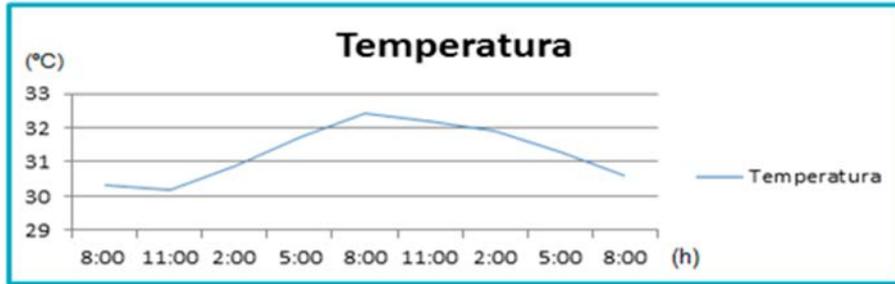


Anexo 4: Evolución en la producción del digestor anaerobio

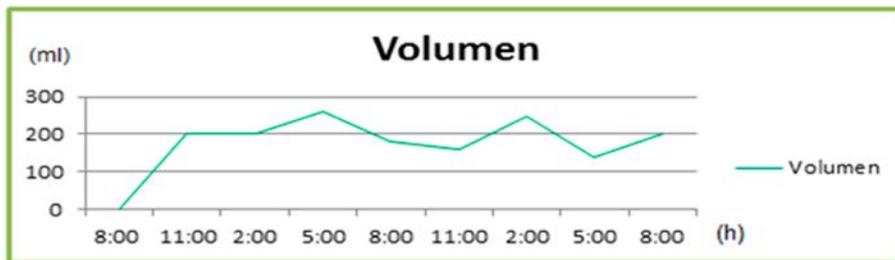


Anexo 5: Comportamiento del digester anaerobio

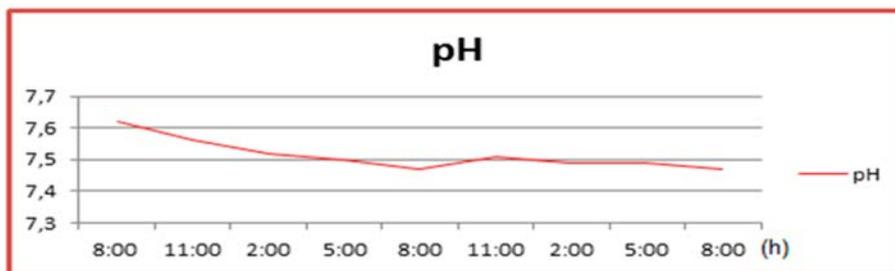
A)



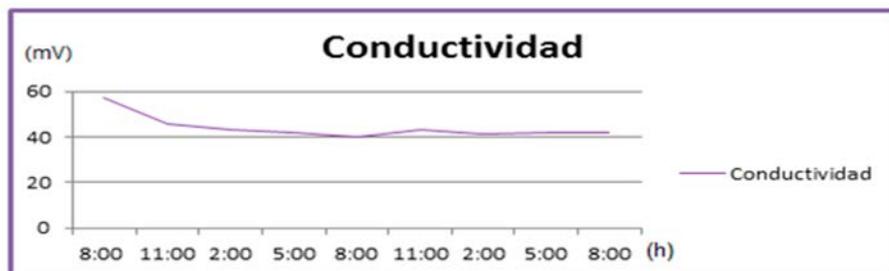
B)



C)



D)



CONVOCATORIA
XIII Taller Internacional
CUBASOLAR 2018

DEL 21 AL 25 DE MAYO / LAS TUNAS, CUBA

«Un mundo mejor con la energía del sol»

LA SOCIEDAD Cubana para la Promoción de las Fuentes Renovables de Energía y el Respeto Ambiental (Cubasolar), convoca a la décima tercera edición del Taller Internacional Cubasolar 2018, que se celebrará en el hotel Brisas Covarrubias en la provincia de Las Tunas, Cuba, del 21 al 25 de mayo de 2018.

Esta edición promoverá con énfasis la construcción consciente de un sistema energético sostenible basado en las fuentes renovables de energía y el respeto ambiental, la cooperación entre los países, la transferencia de conocimientos y el diálogo e intercambio de experiencias y prácticas entre autoridades de gobierno, investigadores, educadores, especialistas, gestores, empresarios, profesionales, productores, usuarios de tecnologías y demás personas que trabajan por la sostenibilidad de nuestro planeta.

El Taller estará organizado en conferencias magistrales y seminarios paneles que se desarrollaran en plenario, cubriendo temas de gran vigencia:

Temas centrales del evento

- La soberanía alimentaria y las fuentes renovables de energía.
- El abasto de agua y las fuentes renovables de energía.
- Importancia de la cooperación Sur-Sur y Sur-Norte-Sur.
- Soberanía energética, medio ambiente y desarrollo local sostenible.
- Educación, cultura e información energéticas para la sostenibilidad.

Contenido esencial del evento será el desarrollo paralelo del curso (opcional e interactivo) sobre la educación energética y ambiental. El curso se ofrece sin costo adicional, se acredita en esta ocasión en coordinación con la Universidad de Las Tunas y se estructura a partir de diferentes formas organizativas que se integran como parte del programa del evento: conferencias magistrales, conferencias interactivas, seminarios debate y visitas de campo, favoreciendo la amplia participación y el intercambio sobre las temáticas y el conocimiento de la experiencia cubana en el actual contexto de desarrollo social y económico del país.

Como en ocasiones anteriores, se organizará la Exposición Cubasolar 2018 sobre las potencialidades, experiencias y resultados en la aplicación de las diferentes especialidades energéticas y medioambientales asociadas a los temas del evento.

Presentación de trabajos

Los interesados en exponer sus contribuciones al evento lo realizarán por medio de carteles, para lo cual deberán enviar

por correo electrónico al Comité Organizador un resumen en idioma español, de no más de 500 palabras en formato Word, letra Arial 12 e interlineado a espacio y medio, que contenga: título, autores, país, institución, correo electrónico, objetivos, propuestas o alternativas y resultados logrados o esperados. Los resúmenes deberán enviarse antes del 15 de febrero de 2018. La selección de los trabajos aceptados se dará a conocer a los autores antes del 31 de marzo de 2018.

Las ponencias en carteles se realizarán en un área designada para la presentación. Los carteles tendrán una superficie total que no excederá los 0,7 m de ancho x 1,0 m de largo y deberán entregarse al Comité Organizador en la oficina de acreditación de la sede del evento.

Publicación de los trabajos en extenso

El Comité Organizador publicará el trabajo en extenso de los autores que lo deseen en el Cd del evento. Los interesados deberán enviar el mismo, antes del 30 de abril del 2018 con las normas siguientes: Presentación en versión Microsoft Word, en letra Arial de 12 puntos, espacio y medio; con 2000-5000 palabras (aproximadamente, sin contar los anexos). Con las partes siguientes: Título, Datos del (los) autor (es), Resumen, Palabras clave, Introducción, Desarrollo (que puede incluir Materiales y Métodos, Resultados y Discusión), Conclusiones, Recomendaciones, Referencias o bibliografía, y Anexos (si los tuviera).

De igual forma, de resultar de interés para los autores el trabajo podrá ser evaluado para su publicación en la revista científica digital *Eco Solar* (categorizada en Latindex), y en la revista impresa *Energía y Tú*, de carácter científico popular.

Precios del evento en Pesos Cubanos Convertibles (CUC)

Inscripción: 260 CUC.

El precio de la inscripción otorga el derecho a participar en todas las actividades oficiales, módulo de materiales para el desarrollo de las sesiones, transportación interna a los lugares previstos del programa, certificados de asistencia y de autor en caso de presentar trabajos.

Paquete de gastos (4 noches por persona)

232 CUC (habitaciones sencillas)

172 CUC (habitaciones dobles)

La agencia receptiva (Cubatur) ofrece un paquete turístico que cubre los gastos por participante durante el Taller que incluye, el alojamiento diario en el hotel Brisas Covarrubias en la modalidad de todo incluido.

También podrá optarse por la atención paralela a acompañantes, servicios de recibimiento y despedida en aeropuertos cubanos y traslado hasta la sede del evento, regreso al aeropuerto y alojamiento antes y después del evento.

Formas de pago

La inscripción y el paquete de gastos, serán abonados preferiblemente antes del comienzo del Taller por transferencia bancaria, previa consulta al Comité Organizador, o directamente en el hotel sede del evento, en el momento de la acreditación.

Comité Organizador:

cubasolar2018@cubasolar.cu

Organismo receptivo:

carlos.horta@central.cbt.tur.cu