



REVISTA CIENTÍFICA TRIMESTAL DE CUBASOLAR

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

**48**



Cooperativa y fuentes renovables de energía.....	1
Estudios ecológicos a nivel de biosfera.....	11
Estudio de factibilidad de las mezclas de residuos orgánicos para la producción de biogás.....	26
Papa agroecológica: una contribución a la seguridad alimentaria de la población cubana.....	49
Por una Universidad de las Ciencias Informáticas más sustentable .....	57

## **Cooperativa y fuentes renovables de energía**

### **Cooperative and renewable energy sources**

*\* Licenciado en Derecho. Presidente  
del Comité Gestor de la Cooperativa  
no Agropecuaria de Producción y Servicios Especializados  
Energéticos Renovables, Somostec, Cuba.  
e-mail: jmorales@cubasolar.cu*

#### **Resumen**

El trabajo aborda la tesis referida a la necesidad de creación de un marco legal adecuado para la participación del cooperativismo y el cuentapropismo en función del desarrollo mediante el uso de las fuentes renovables de energía (FRE). Para ello se requiere comprensión, y se propone que la estrategia normativa contemple una etapa actual o de tránsito, otra de convivencia y una de cero utilización de recursos no renovables en función de objetivos planificados. También se proponen algunas actividades a incluir en el nomenclador actual que aseguren una mayor especialidad o especialización en función de la eficiencia, el ahorro energético y el desarrollo y explotación de las FRE. Finalmente, con la descripción de ese proceso, se evalúa críticamente su estado actual, y se alienta su desarrollo para lograr una seguridad económica ganada con el esfuerzo propio o colectivo, así como la independencia energética y el beneficio que tal acción significa desde el punto de vista de la preservación del medio ambiente.

**Palabras clave:** Fuentes renovables de energía, cooperativa no agropecuaria, cuentapropismo, cooperativismo, marco legal

#### **Abstract**

The article addresses the necessity of creating an adequate legal framework for the participation of the private sector in the development of the country through the use of renewable energy sources (FRE). We propose that the regulatory strategy considers a current or transit stage, another of coexistence and one of zero use of non-renewable resources based on planned objectives. New activities are also proposed to be included in the current list of activities authorized for the private sector, in order to ensure a greater specialization in terms of efficiency, energy saving and the development and exploitation of the FRE. Finally, with the description of that process, its current state is critically evaluated, and its development is encouraged for achieving economic security gained through self-help or

collective effort, as well as energy independence and the benefit that such actions means from the point of view of the preservation of the environment.

**Keywords:** renewable energy sources, non-agricultural cooperative, private sector, cooperatives, legal framework

## **Introducción**

En el proceso de actualización del sistema económico cubano, el Partido y el Estado han decidido potenciar el trabajo por cuenta propia y extender el cooperativismo como forma de producción no estatal a diversos sectores de la economía nacional.

Concientizar sobre la necesidad de ese cambio juega un papel fundamental en el desarrollo de estos procesos novedosos y socialmente revolucionarios.

Es imposible prever los resultados de tamaña empresa sin estudiarlos detenidamente para evitar corruptelas, lagunas y tendencias negativas al desarrollo en aquellas cuestiones que pretendemos auspiciar. De este hecho se deriva la necesidad de realizar los experimentos que se han planteado, para después generalizar las experiencias.

Se han aprobado lineamientos, políticas y normas jurídicas de amplio respaldo social, pero el avance, «sin prisas pero sin pausas», es lento porque aún no se ha logrado que los que tienen que tramitar, ejecutar, evaluar o decidir lo hagan con el dinamismo que necesita un proceso en el cual el ciudadano que quiere incorporarse ha cifrado sus esperanzas de terminar con las dificultades de más de veinte años de «período especial» resistidas con dignidad y entereza.

En el contexto experimental en que deberá moverse una cooperativa no agropecuaria de producción y servicios especializados en energías renovables, como la que hemos presentado, podemos hacer todo lo que la ley no prohíbe, lo que los implementadores aprueben y lo que nuestra capacidad de acción como entidad económica nos permita, sin que con ello estemos diciendo que asistimos a somos a la solución de todos los problemas, o que será fácil hacerlo.

Las cooperativas no agropecuarias y las fuentes renovables de energía (FRE) no se excluyen mutuamente, ambos temas son vitales para el socialismo que queremos construir, y conceptualmente se sustentan en el principio de inclusión. La dificultad radica en lo novedoso que resultan y en los obstáculos que acostumbramos a poner ante el advenimiento de lo nuevo.

La ley no impone restricciones. Queda claro que la intención del legislador fue no imponerlas, pero tampoco dice expresamente lo que se puede hacer y esa carencia es lo que dificulta nuestras acciones, pues decisiones ya tomadas se dejan en mano de implementadores sin establecer vías o métodos efectivos para que las ejecuten. Esta situación nos desfavorece especialmente en las condiciones subjetivas y objetivas que hoy imperan.

Cooperativas, cuentapropistas, sistema empresarial estatal, ministerios, Órganos de la Administración Central del Estado, Consejo de Ministros, Comisión de Implementación, Órganos Locales del Poder Popular, Consejo de Estado, legisladores reunidos en la Asamblea Nacional del Poder Popular y FRE, todos en función del desarrollo se unen en la necesidad de cambiar la matriz energética nacional y consolidar un socialismo sostenible y próspero, pero mientras no se organice un entorno seguro para accionar, la incorporación definitiva del sector no estatal al cumplimiento del objetivo no será lograda con precisión.

Hay que definir las metas del desarrollo a alcanzar y la participación de cada cual en ese empeño. Si para el sistema empresarial estatal de alguna manera funciona el esquema de Dirección Administrativa de la Economía, para el cuentapropismo y cooperativismo es un factor negativo, pues el propio principio de voluntariedad que lo conforma le permite por sí mismo decidir su incorporación o no, siendo la necesidad de solventar por todas los problemas económicos que afronta el individuo y sus familiares, lo que prima al decidir cualquier acción en ese sentido, y el criterio económico el único que puede incentivar su incorporación al tema.

Podemos hacer una norma que obligue a considerar las FRE como alternativa para el desarrollo local y nacional, y excluir al sector productivo no estatal, pero estará limitada: primero por la falta de una infraestructura participativa e inclusiva que satisfaga las necesidades propias de la ejecución de la política de incorporación progresiva de las FRE a la matriz energética nacional, con énfasis en el desarrollo local, y después por la falta de actores que se incorporen al esquema de generación, mantenimiento, apoyo logístico, distribución, consumo, investigación, innovación, racionalización y desarrollo. Todo ello, en un entorno donde a costa de esfuerzos personales de consideración, el «apagón» casi ha sido desterrado. Tendríamos que ir más allá y normar el consumo energético de otra manera. Hay que eliminar subsidios e incentivar alternativas basadas en el uso de las FRE en función del desarrollo para hacer atractiva la participación, pues solo el llamado a la conciencia y una tarifa eléctrica que al final subsidia el Estado no resultan incentivos suficientes a favor de un cambio necesario a nuestra sociedad.

Desde los planos subjetivo y objetivo el incentivo en pro de la inclusión de todos, y la manera en que consumimos, deciden a la hora de intentar cambiar un esquema actual de generación, distribución y consumo que visto desde la óptica de sus destinatarios satisface sus requerimientos básicos de uso, pero por otro, alejado de sus bolsillos y desconocido en sus particularidades.

En esta forma de pensar y actuar radica el problema principal, escondido tras simples cuentas de usuarios e inversionistas que no piensan en futuro porque los altos costos se lo impiden. Si el usuario no consume porque existen alternativas más prácticas y ajustadas al estado actual de su bolsillo, la cooperativa o el inversionista no arriesgan sus esfuerzos hacia ese sector de mercado.

Resultará un gravísimo error para el que debe legislar, concebir planes de incentivo económico considerando que por el hecho de tener el sol sobre nosotros, el viento en todas partes, la biomasa descomponiéndose y el agua rodeándonos, producir energía a partir de esas fuentes es fácil o más barato que hacerlo a la manera tradicional. En esta etapa de inversión y desarrollo, de búsqueda de técnicas y tecnologías apropiadas, es tan oneroso como acudir a combustibles fósiles para producir energía.

La falta de insumos, de infraestructura y de capacidad productiva para explotar estas fuentes renovables equipara los costos actuales, aunque en la medida en que se agoten los portadores tradicionales y se avance tecnológicamente por el camino del empleo de las FRE, la situación se revertirá, se alcanzarán costos mucho menores y el beneficio ambiental se manifestará de forma positiva sobre nuestro ya deteriorado planeta.

Para comprender lo que pueden hacer los que hoy somos cuentapropistas y optamos por la condición de cooperativistas en el campo de la producción y servicios especializados energéticos renovables, hay que partir de que no basta con la voluntad de hacerlo todo, porque por sobre ella se encuentra la Ley con sus omisiones, y a partir de ello la voluntad de los decisores.

Convertir esta realidad en un movimiento económico y social positivo pasa por la voluntad política de hacer coincidir la voluntad de los que quieren con la de los que deciden, por ello hay que abordar algunos aspectos de la realidad actual que serán determinantes dentro del marco legal que decidirá, en definitiva, el futuro de esta medular cuestión.

La creación de un marco legal adecuado a la participación del cooperativismo y el cuentapropismo en función del desarrollo mediante el uso de las FRE, requiere comprensión en cuanto a que la estrategia normativa debe contemplar una etapa actual o de tránsito, otra de

convivencia y una de cero utilización de recursos no renovables en función de objetivos planificados.

### **Etapa actual o de tránsito**

En esta etapa la norma privilegia la generación de energía por medio de combustibles fósiles, relegando objetiva y subjetivamente el uso de las FRE a un plano en el que se le reconoce importancia pero se desdeña su aporte, abordando el problema «a lo grande de manera centralizada», pues los esquemas de poder, de generación, distribución y consumo a los que nos hemos acostumbrado nos impiden ver que precisamente el valor de usar las FRE en función del desarrollo se expresa exponencialmente en términos de eficiencia y eficacia, cuando lo hacemos en función del desarrollo local.

De más está decir que en esta etapa se decide el futuro y que los errores tácticos o estratégicos que cometamos pesarán en dinero, bienestar, crédito social y patrimonio ambiental.

Para superar esta etapa necesitamos elaborar de manera participativa y democrática una política energética de inserción de las FRE que nos permita participar sin abandonar los principios socialistas que nos guían; que en sus postulados decida que si bien el cambio de la matriz energética requiere de tecnologías que hay que importar, se hace necesario hacerlo sin perder de vista que lograr la independencia energética de portadores tradicionales no debe hacerse de manera que pasemos a ser totalmente dependientes de tecnologías foráneas, y que se disponga de la convivencia armónica de todas las formas de hacer, para evitar un escenario en el que la terapia de choque que hará comprender la necesidad de convivir puede ser el desabastecimiento de petróleo por pérdida de nuestros mercados, obligándonos a enfrentar dicha convivencia de manera obligatoria en condiciones similares a las de los peores tiempos del período especial, por no haber hecho con antelación lo que hoy debemos hacer.

Al elaborar la política tengamos especialmente en cuenta que necesitamos ahora de tecnología foránea: comprémosla, incentivemos su obtención e importación, ordenándola desde una perspectiva cognitiva que nos permita definir qué queremos introducir y qué podemos producir, y solo entonces aprobemos e incentivemos la importación, pero en paralelo demos facilidades reales a la creación de la industria nacional y a las soluciones científicas, tecnológicas, productivas y sociológicas que se requieran.

En la inversión en función del desarrollo no licitemos nuestras potencialidades naturales de sol, viento, agua o biomasa, para favorecer alianzas que comprometan el futuro a largo plazo. Partamos de la eficiencia, y lo ahorrado o logrado volvamos a reinvertirlo; fomentemos

capital de trabajo y nuevas capacidades, e incentivemos el empleo de las FRE con medidas de ahora y con vigencia a más de 20 años.

Hagamos atractiva esta fórmula de hacer para toda la sociedad y el capital financiero propiciémoslo incentivando la sustitución, el ahorro, la producción, el financiamiento estatal y las exportaciones; demos participación al capital y al empresariado internacional de forma inteligente y comedida, y pongamos bien claro en la Ley estas cuestiones.

Partiendo de esa política deben elaborarse una Ley Energética y un marco legal que permitan el salto social necesario a una segunda etapa, por demás muy próxima y que denominaremos de convivencia.

### **Etapa de convivencia**

Mientras transcurre esta etapa, lo actual deberá regirse por la norma que hoy debemos seguir para obligar a la convivencia armónica de la producción de energía mediante el uso de las FRE y de portadores energéticos tradicionales; ello es inevitable, porque significa más que todo independencia de portadores energéticos tradicionales importados.

También se caracterizará por la importación de tecnologías energéticas renovables, la creación de capacidades propias para producir tecnologías, equipamiento, servicios e infraestructura afín; por la planificación del uso de las FRE en función del desarrollo local y por incentivar el desarrollo en función del uso de las FRE, por cambiar el esquema de generación centralizado por otro distribuido, por la preparación del escenario y el entorno económico que propicia el potencial comunitario, limitando en lo posible la generación con portadores fósiles, etc., y en definitiva por preparar el paso a una nueva etapa de desarrollo en el cual la opción contaminante o insostenible sea definitivamente rechazada, inclusive si aparecieran reservas energéticas convencionales propias en nuestro ámbito geográfico.

Esa realidad hay que plasmarla en una Ley General de Energía, pues esa es la manera de desatar las fuerzas productivas, señalar el camino y obligar al tránsito sin abandonar el trabajo educativo para crear una cultura energética nacional de nuevo tipo.

Por demás, el objeto de este trabajo es argumentar la participación del sector cooperativo, también extendido al privado, en el desarrollo y explotación de las FRE, y explicar algunas de las sinergias que se producen o producirán en el campo de la generación, distribución y consumo de energía para proponer, desde nuestra experiencia, algunas soluciones a temas medulares que deben incluirse en el marco regulatorio que ha de normar estas cuestiones.



## **Trabajo por cuenta propia y FRE**

La legislación actual no contempla en el nomenclador de actividades autorizadas a ejercerse por cuenta propia, ninguna que denote especialidad o especialización en función de la eficiencia, el ahorro energético y el desarrollo y explotación de las FRE.

Proponemos incluir al menos las siguientes:

1. Diseñador de equipos y sistemas de generación energética en función de las FRE.
2. Productor de equipos y sistemas de generación energética en función de las FRE.
3. Montador y reparador de equipos y sistemas de generación energética en función de las FRE.
4. Analista, diseñador-montador de circuitos internos e instrumentador de medidas de eficiencia y ahorro: esto se propone porque consideramos que la optimización del sistema y el adecuado ajuste de los niveles de consumo propician, además del ahorro, la introducción y el diseño eficiente de las técnicas y tecnologías adecuadas para la explotación de las FRE en función del desarrollo.
5. Generador-vendedor de energía o de portadores energéticos provenientes de las FRE: esto no debe confundirse con quien explota un sistema en función del autoconsumo y vende el excedente de manera no habitual o con muy bajos ingresos.

Estimando que deben gozar de todos los beneficios que las leyes afines le otorgan al resto de los trabajadores por cuenta propia o estatales, la contabilidad debe ajustarse al régimen establecido, y en cuanto a los impuestos deberá tributarse al régimen simplificado, imponiendo una cuota fija de baja cuantía que se determinará en la manera en que la ley lo haya dispuesto.

## **Cooperativismo y FRE**

Desde nuestra experiencia de cuentapropistas, que no gozan de las facilidades que para ellos proponemos, podemos decir que al unirnos varios cuentapropistas de la manera en que lo estamos haciendo, logramos efectos similares pero nos limitamos al disfrute de los beneficios fiscales diseñados para las cooperativas, o de trabajar colectivamente en beneficio de mejorar las condiciones de vida de los cooperativistas y sus familiares; no obstante, y a pesar de lo positivo que vemos en la Ley Experimental para las Cooperativas no Agropecuarias, reconocemos que además de lo expresado anteriormente ocurre que la forma de integración propuesta por

los implementadores del asunto, y por la norma dictada, permiten avanzar en la consecución del objetivo, pero esta fue desbordada por las expectativas, las realidades y las posibilidades de inserción positiva que hoy existen, demostrando que objetivamente el escenario está preparado para abordar la idea y mejorarla considerablemente, adaptándola a las necesidades de la economía nacional sin dejar de ser una forma socialista de producción.

Sin polemizar sobre lo legislado, criticarlo o intentar corregirlo por estimar que la vida propiamente hará los ajustes necesarios, y porque considero que es lo más novedoso que estamos haciendo en cuanto a participación, debemos decir que es precisamente la concepción limitada que primó a la hora de decidir la normativa la que dificulta empeños de creación de más complejidad y perfectamente funcionales en base a los mismos principios ya establecidos, pues ni los decisores ni la infraestructura están preparados para su introducción adecuada, aun cuando al final la propia necesidad de cambio nos hace comprender que resultan tan importantes como las que dan solución a los restaurantes, barberías y pequeños escenarios productivos, de servicios o comerciales.

Expuestas estas cuestiones, si queremos insertar el cooperativismo en la búsqueda de un mayor desarrollo mediante el empleo de las FRE, debemos tener en cuenta que la norma actual también se caracteriza por:

1. No considerar que en algunas actividades la inserción del cooperativismo se encuentra limitada por la falta de pronunciamiento expreso, y por la forma de repartir las utilidades solo en virtud del trabajo realizado dentro y para la cooperativa.
2. Concebir la adquisición de inmuebles solo por la vía del arrendamiento y no por otras que la Ley General no prohíbe taxativamente, pero que al no mencionarse crea incompreensión y temores en los decisores de estas materias, así como en los llamados a integrarse al movimiento cooperativo.
3. No contar con un sistema impositivo verdaderamente incentivador de la eficiencia y del aumento sostenido de la producción, que por sus postulados realmente cumpla con la ley, no igualitaria pero fundamental del socialismo que reza «de cada cual según su capacidad, a cada cual según su trabajo», y al que no se debe ver solo como redistribuidor de la riqueza social o medio recaudador de dinero a favor del presupuesto estatal, como sucede actualmente vigente, pues al Estado no solo le hace falta dinero para hoy.

Al Estado también le es necesario el bienestar que produce incentivar a los más esforzados para que lo acompañen con entusiasmo y seguridad en la construcción del futuro, arrastrando a los demás con el ejemplo que resulta

de gozar de una seguridad económica ganada con el esfuerzo propio o colectivo; como también le hace falta la independencia que significa el destierro de los portadores energéticos tradicionales de la matriz energética nacional, y el beneficio que ello significa desde el punto de vista de la preservación del medio ambiente.

Estas cuestiones surgen a partir del experimento, no están reñidas con él y son factibles de resolver a corto plazo, pero pueden poner límite a la participación cooperativa en su empeño práctico de conseguir esos objetivos.

Pero todas estas correcciones hay que hacerlas en base a la situación actual que sin duda necesita de un prudente manejo de la autonomía de su voluntad, con el objetivo de permitir a los participantes accionar con eficiencia, en un escenario experimental que por su carácter económico, tecnológico y social resulta completamente nuevo y en constante desarrollo, aclarando que autonomía de la voluntad no significa anarquía o voluntarismo, sino dejar espacio abierto a la toma de decisiones y a la iniciativa social, previa identificación del sentido positivo de las acciones que se emprendan para conseguir objetivos trazados, o lo que es lo mismo, trazar objetivos y de manera controlada permitir la más amplia participación e iniciativa en la manera de hacer cada cual suyos esos objetivos y de llevarlos a la práctica.

Si actuamos de manera diferente estaríamos poniendo límites subjetivos al entorno fáctico hacedor de las relaciones jurídicas que se pretenden tutelar y la realidad nos desbordaría, obligándonos a realizar un nuevo esfuerzo legislativo que modifique lo que por falta de prevención encasillamos, o podríamos caer en las mismas situaciones que hoy lastran a las UBPC y que las hicieron prácticamente insignificantes en cuanto a su peso productivo en el escenario nacional.

Abandonemos definitivamente el método de dirección administrativa de la economía, desatemos los nudos que atan el accionar de las fuerzas productivas, hagamos lo que hoy nos toca hacer, y solo entonces habremos propiciado un entorno seguro y atractivo para la participación de todas las fuerzas productivas en el cambio de la matriz energética nacional y luego de ello podríamos cambiar de manera categórica nuestra afirmación inicial: Hagamos todo lo que seamos capaces de realizar.

## **Bibliografía**

Ley 1287 Eléctrica, de 2 de enero de 1975 (1975).

*Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución.*  
La Habana:2011.

MINISTERIO DE TRABAJO Y SEGURIDAD SOCIAL (2013). Resolución 41 del 2013 Reglamento del ejercicio del trabajo por cuenta propia. La Habana: 2013.

\_\_\_\_\_ (2013). Resolución No 42 del 2013 sobre la denominación y alcance de las actividades que se pueden ejercer por cuenta propia. La Habana: 2013.

ONAT (2012a). Decreto 308-2012 Procedimiento tributario. La Habana: 2012.

ONAT (2012b). Decreto 309 Reglamento de las Cooperativas no Agropecuarias de primer Grado.

ONAT (2012c). Decreto Ley No 305 de las Cooperativas no agropecuaria.

ONAT (2012d). Ley 113-2012 del sistema tributario. La Habana: 2012.

## **Estudios ecológicos a nivel de biosfera**

### **Ecological studies at biosphere level**

*Por Lic. Olga Tserej Vázquez\**  
*\* Especialista del Museo Nacional*  
*de Ciencias Naturales*  
*e-mail: tserej@gmail.com*

#### **Resumen**

La Hipótesis Gaia de Lovelock (1979) constituyó un punto de partida para los estudios a nivel de biosfera, ya que a partir de ese momento se comenzó a mirar la Ecología desde una escala global. Se conoce que en la actualidad la actividad humana afecta la mayor parte de esta biosfera y esos daños continúan creciendo en intensidad y alcance. Es por ello que se ha desarrollado la necesidad de ampliar la cobertura geográfica de los monitoreos ecológicos, para así tener la posibilidad de evaluar todas las regiones y biomas posibles, además de obtener una muestra aún más representativa de los diferentes *taxa*. Aun con el desarrollo de las técnicas por sensores remotos existen obstáculos de gran peso que impiden el desarrollo de estudios con respecto a los índices de biodiversidad. Nuestro conocimiento en esta temática es aún muy incompleto y los programas de monitoreo a gran escala usualmente carecen de un respaldo financiero a largo plazo. No obstante, existen numerosos esfuerzos que han contribuido a la comprensión de diversos fenómenos tales como el impacto del cambio climático en la biodiversidad. Estos estudios se desarrollan mediante diferentes técnicas que se analizarán en este trabajo.

**Palabras clave:** Biosfera, ecología, sensores remotos, biodiversidad

#### **Abstract**

The Gaia Hypothesis from Lovelock (1979) was a starting point for studies at biosphere level, since from that moment on ecology began to be considered from a global scale. It is known that currently human activity affects most of the biosphere and these damages continue to grow in intensity and scope. This explains the need to expanding the geographical coverage of the ecological monitoring, in order to have the possibility of evaluating all the possible regions and biomes, as well as obtaining an even more representative sample of the different *taxa*. Even with the development of remote sensing techniques, there are major obstacles that prevent the development of studies with respect to biodiversity indicators. Our knowledge in this area is still very incomplete and large-scale monitoring programs usually lack long-term financial support. However, there are numerous efforts that have contributed to the understanding of various

phenomena such as the impact of climate change on biodiversity. These studies are developed through different techniques that are analyzed in this paper.

**Keywords:** Biosphere, ecology, remote sensing, biodiversity

## **Introducción**

El análisis de la Ecología a nivel de biosfera pudiera comprenderse mediante la ejemplificación de la Hipótesis Gaia, de Lovelock [1979]. *Gaia* es un término que procede del nombre griego de la Madre Tierra. Lovelock planteaba que existe una interacción de las partes orgánicas e inertes del planeta de tal forma que la materia viva, junto con el aire, los océanos y la superficie terrestre, componen un sistema complejo al que considera un organismo individual capaz de mantener las condiciones que permiten la vida sobre la tierra. Esta teoría guardaba mucha relación con la Teoría de la Tierra, de James Hutton (1785), al quien se considera predecesor de Lovelock. En conclusión, Lovelock planteaba que la biosfera es una entidad autorregulada capaz de mantener la salud del planeta, ya que la actividad biológica de los organismos contribuía a la homeostasis ambiental y, por ende, al desarrollo óptimo de la vida en nuestro planeta. Aunque muchos de los planteamientos de Lovelock han sido duramente cuestionados [Kirchner, 1989; 2002], este autor brindó un punto de partida para los estudios a nivel de biosfera y por primera vez se comenzó a considerar la Ecología desde una escala global.

Aunque existe un amplio debate en cuanto a la conceptualización de los diferentes niveles de organización biológica [Allen, 1990], en este caso se siguieron los criterios de MacMahon, et al. [1978] para definir el nivel de biosfera. Basado en los principios termodinámicos, este autor plantea que la biosfera es la entidad superior de flujo, o como también se le conoce, «la envoltura viva del planeta».

En la actualidad la actividad humana afecta la mayor parte de esta biosfera y esos daños continúan creciendo en intensidad y alcance [Kerr y Ostrovsky, 2003]. Balmford et al. [2003] planteaba la gran necesidad de ampliar la cobertura geográfica de los monitoreos ecológicos, para así tener la posibilidad de evaluar todas las regiones y biomas posibles, además de obtener una muestra aún más representativa de los diferentes taxa. Lograr esto requeriría de un desarrollo planificado de los regímenes de muestreo que fueran cuidadosamente estratificados en espacio, tiempo y grupos biológicos. Aumentar la escala del monitoreo no sería fácil; sin embargo, existen vías para lograrlo de modo más viable mediante el uso de voluntarios y el incremento en el desarrollo de las técnicas que emplean sensores remotos.

Aun con el desarrollo de las técnicas por sensores remotos existen obstáculos de gran peso que impiden el desarrollo de estudios con respecto a los índices de biodiversidad, pues nuestro conocimiento en esta temática es todavía muy incompleto. Sin tener en cuenta a los microorganismos, está descrito menos de 10% del número total de especies que se estima existan en nuestro planeta. Por ejemplo, de un estimado de 320 000 especies de plantas, solo 85% ha sido descrito, y de estas solo 4% posee una evaluación de su estado de conservación [Baillie, et al.,2004].

Otro obstáculo que se torna esencial en los programas de monitoreo a gran escala, es la continuidad de los estudios, pues estos deben tener un respaldo financiero a largo plazo. Sin esto solo se lograrían observar instantáneas fragmentadas de los fenómenos ecológicos, cuando lo realmente importante es determinar la continuidad de los procesos.

A continuación se describen algunas técnicas y estudios ecológicos que han contribuido a la comprensión de diversos fenómenos, tales como el impacto del cambio climático en la biodiversidad a nivel de biosfera. Teniendo en cuenta lo anteriormente expresado, en este trabajo nos proponemos como objetivos:

Describir diferentes técnicas para el estudio de la biosfera, tales como los sensores remotos y la Biosfera 2 o biosfera sintética.

Analizar las tendencias en los cambios de biodiversidad a escala global, sus causas y métodos de estudio.

### **Sensores remotos**

Una gran variedad de aplicaciones ecológicas requieren de datos que provienen de amplias extensiones espaciales y que no pueden ser adquiridos mediante el uso de técnicas *in situ*. Es por ello que ecologistas y conservacionistas han encontrado nuevas formas de aproximación a la investigación, mediante el uso de herramientas y datos provenientes de sensores remotos. El uso de estas sofisticadas técnicas brinda la posibilidad de identificar y detallar las características biofísicas del hábitat de las diferentes especies; predecir la distribución de especies y la variabilidad espacial de su riqueza; además, nos permite detectar cambios en la biodiversidad producidos por causas naturales y antropogénicas, en escalas que van desde paisajes individuales hasta estudios a nivel global [Kerr y Ostrovsky, 2003].

#### *Clasificación de la cobertura terrestre*

Los datos de cobertura de suelo que describen las características fisiográficas del ambiente en la superficie pueden ir desde los obtenidos de una roca desnuda, hasta los pertenecientes a la escala global [Defries y

Townshend, 1999], y son generalmente obtenidos por la aplicación de métodos estadísticos a los datos provenientes del sensor remoto. La teledetección también puede ayudar en los estudios relacionados con el uso de la tierra, las interacciones humanas con el entorno físico y la distribución de la cobertura vegetal, entre otros.

El Sistema de Clasificación de la Vegetación Nacional (NVCS; <http://biology.usgs.gov/fgdc.veg/>) es un sistema estándar de cobertura del suelo que se ha desarrollado mediante la cooperación entre varias organizaciones científicas y de conservación, incluyendo *The Nature Conservancy* y la *Ecological Society of America*. Este sistema es ampliamente utilizado para el modelado de hábitat de especies silvestres. Los datos de cobertura de suelo han demostrado ser especialmente valiosos para la predicción de la distribución de especies individuales [Jennings, 2000] y conjuntos de especies [Kerr y Ovstrovsky, 2003], en grandes extensiones de áreas que, de otro modo, no podrían ser inventariados.

El Gap Analysis Programme (GAP) es el proyecto de modelación más grande de distribución de especies que existe, y tiene como objetivo desarrollar mapas detallados de preferencias de hábitat de las especies objetivo.

#### *Mediciones ecosistémicas integradas*

A diferencia de las mediciones en el terreno de las funciones del ecosistema, que no pueden ser fácilmente extendidas a estimaciones de ecosistemas enteros, la teledetección puede proporcionar estimaciones simultáneas de las funciones del ecosistema en áreas mucho más extensas. La teledetección de la vegetación ofrece datos imprescindibles en cuanto a las funciones de los ecosistemas a escala global, y a que a su vez pueden ser comparados con el impacto del hombre en el cambio ambiental. El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés) también correlaciona grandemente con la radiación activa fotosintéticamente absorbida (APAR, por sus siglas en inglés), lo que ha contribuido a su uso como estimador de la producción primaria neta sobre el suelo [Paruelo y Lauenroth, 1998]. Particularmente en este análisis se incluyen datos meteorológicos y de suelo para lograr una mayor exactitud [Liu, et al., 2002], por lo cual tanto la producción primaria como la NDVI son sensibles a los cambios en la temperatura y las precipitaciones [Ichii, et al., 2002].

#### *Detección de cambios*

Los datos que ofrecen los diferentes sistemas de teledetección se encuentran cercanos a la escala mundial y han estado disponibles continuamente desde principios de los ochenta, a partir de una serie de



satélites meteorológicos que presentaban radiómetros avanzados de muy alta resolución (AVHRR, por sus siglas en inglés). La mayoría de los datos obtenidos de AVHRR son de fácil acceso y proporcionan información a largo plazo (21 años) y casi continua de mediciones de parámetros ecológicos clave como la extensión de los hábitats, su heterogeneidad, o su productividad primaria a nivel regional o escalas globales.

Por su parte, los Sensores Landsat han acopiado datos durante más tiempo (desde principios de 1970) y tienen mejor resolución espacial que los AVHRR u otro tipo de sensores, como el SPOT4-SPOT5 (15-120 m por píxel frente a 1-km por píxel). Sin embargo, estos datos de Landsat no proporcionan un monitoreo del ecosistema en tiempo real debido a la larga duración de los periodos en que el satélite vuelve a muestrear (16-18 días). No obstante, el registro de datos de Landsat es el más extenso que existe y su óptima resolución espacial permite la detección de cambios ambientales sutiles que no podrían ser detectados por sensores de menor resolución.

Los datos provenientes de todos esos satélites han proporcionado pruebas convincentes de que el clima global ha estado cambiando rápidamente [Lutch, et al., 2002], lo que ha complementado varios descubrimientos ecológicos que describen el desplazamiento hacia los polos en los rangos de distribución de muchas especies [Parmesan y Yohe, 2003]. Más adelante se describirán los cambios a escala global que se están presentando producto de este calentamiento.

Las mediciones satelitales también demuestran las tendencias a gran escala de la vegetación que proporcionan estimaciones directas de la pérdida de hábitat, y que contribuyen a aumentar el alcance de los estudios de Ecología aplicada para detectar cambios en la distribución de especies, o modelar procesos de extinción. La deforestación en los bosques tropicales, que constituyen muchos de los puntos calientes de biodiversidad terrestre, es una de las principales causas a nivel mundial de la pérdida de especies [Myers, et al., 2000]. Sin embargo, aún se considera difícil estimar con precisión el grado de deforestación debido a la mala infraestructura de monitoreo en muchos países, y las inconsistencias existentes entre estos regímenes de monitoreo. En este caso la teledetección es una técnica extremadamente importante para la obtención de datos precisos.

Particularmente es de vital importancia la teledetección de los incendios en tiempo real. A escala global, los incendios masivos de 1997-1998 en bosques tropicales aportaron entre 13 y 40% del total anual de dióxido de carbono emitido a la atmósfera por la quema de combustibles fósiles [Page, et al., 2002].

La gama completa de técnicas de teledetección que se utilizan para identificar la cobertura de nuestro planeta para la medición de las propiedades biofísicas de los ecosistemas y la detección de los cambios ambientales, deben integrarse con actuales y nuevos datos ecológicos de campo para lograr el objetivo de predecir los cambios en las funciones de los ecosistemas, y su impacto a escala global en la distribución y abundancia de especies.

### **Uso de un sistema ecológico cerrado para estudiar la biosfera terrestre**

Los esfuerzos de investigación para crear sistemas ecológicos cerrados se remontan a los años entre 1950 y 1960. Estos se centraron en los sistemas basados en algas verdes (*Chlorella vulgaris*). En 1961, Yevgeny Shepelev, del Instituto de Problemas Biomédicos (IBMP), en Moscú, se convirtió en el primer ser humano que sobrevivió un día en un sistema de soporte vital bioregenerativo, que incluía unos 30 L de *Chlorella sp.* que le suministraba todo el agua y el aire necesarios [Shepelev, 1972].

En 1991 se creó un nuevo tipo de herramienta de investigación llamado Biosfera 2 [Nelson et al., 1993]. Esta consistía en una biosfera sintética que de alguna forma guardaba semejanza con los sistemas cerrados que se utilizaban en las naves espaciales para mantener con vida a los astronautas. Se denominó Biosfera 2 para enfatizar que previamente el ser humano solo había sido capaz de estudiar la biosfera terrestre, o «Biosfera 1». La Biosfera 2 fue diseñada por la compañía privada Space Biospheres Ventures no solo para estudiar procesos y dinámicas en los ecosistemas análogos a la biosfera terrestre, sino con objetivos económicos tales como lanzar productos como purificadores de aire, crear sistemas de manejo de datos y crear visitas y materiales educativos que produjeran ingresos.

Biosfera 2 era un sistema complejo, en evolución, estable, autorregulado, que contenía más de un ecosistema y los 5 reinos que caracterizan la vida. Estaba prácticamente sellada (el intercambio de aire era menos de 10% por año) y estaba abierto a la energía de la luz solar, la electricidad, la transferencia de calor, y el flujo de información. La estructura de 1,28 hectáreas contenía 180 000 m<sup>3</sup>.

En particular, los estudios de Biosfera 2 estaban encaminados a determinar cómo afecta la biodiversidad a la estabilidad de los ecosistemas y a nuestra ecología a escala global. Para fomentar su diversidad, Biosfera 2 incluyó muchos microhábitats dentro cada tipo de ecosistema y fue deliberadamente sobrecargado de especies (aproximadamente 3 000 especies sin contar la microbiota del suelo) para proporcionar una

diversidad máxima que compensara una pérdida inicial de especies potencialmente grande.

Los resultados iniciales indican que los ecosistemas en la Biosfera 2 maduraron rápidamente y se mantuvieron las especies introducidas. Los seres humanos que convivían en el área permanecían saludables y producían casi todos sus requerimientos nutricionales utilizando la agricultura. Los ciclos de nutrientes tales como los de dióxido de carbono a través de la vegetación funcionaban con períodos más cortos y mayores flujos que en el medio ambiente global (de 1-4 en Biosfera 2 y de 3 años en la Biosfera terrestre). Los altos niveles de CO<sub>2</sub> afectaban no solo a las especies terrestres, sino a los ecosistemas «marinos» como los arrecifes de corales, debido al aumento en la acidez del agua. El oxígeno atmosférico por su parte mostró una disminución inesperada y a recomendación médica se bombeó aire puro cuando eran alcanzados los niveles mínimos de oxígeno. Además, se observaron algunos cambios en la dominancia de algunos ecosistemas y pérdidas de especies. Sin la acción humana la pérdida de la biodiversidad hubiese sido mayor, pues estos controlaban, entre otras acciones, la aparición de plagas [Nelson et al., 1993].

El hecho de que no existan otras biosferas naturales conocidas, hacía que esta biosfera sintética ofreciera una posibilidad única de realizar estudios comparativos con nuestra Biosfera. Sin embargo, aunque diseñada para un funcionamiento por 100 años, la Biosfera 2 fue un fracaso y la compañía Space Biospheres Ventures cerró en 1994.

Se descubrió que las paredes estaban construidas con hidróxido de calcio, el cual reaccionaba con el CO<sub>2</sub> y no permitía que este fuese absorbido por las plantas, y por consiguiente no se creara más oxígeno; las tasas de extinción fueron mucho mayores que las esperadas; el agua fue contaminada con el exceso de nutrientes y existían múltiples disputas entre los seres humanos que la habitaban y los directores del proyecto en cuanto a las decisiones para el manejo de Biosfera 2. No obstante, científicamente se hicieron muchos estudios sobre la microbiota del suelo, hormigas y abejas, entre otros. Además, se demostró la importancia que conlleva un buen manejo y dirección de proyectos. Hoy en día Biosfera 2, perteneciente a la Universidad de Arizona, es un complejo turístico que se mantiene gracias a donaciones y visitas guiadas.

### **Estudios sobre cambios en la biodiversidad a escala global**

El cambio global de la biodiversidad es uno de los problemas ambientales más urgentes de nuestros tiempos. Recientes extinciones de especies a nivel global han producido una pérdida neta en cuanto a la biodiversidad en la biosfera, ya que las especies creadas por muy largos procesos evolutivos

se reproducen a un ritmo mucho más lento que las tasas de extinción actuales.

#### *Cambios recientes en la biodiversidad global*

Durante el siglo xx se registraron alrededor de 100 extinciones entre aves, mamíferos, y anfibios [Mace, et al., 2005]. Teniendo en cuenta que hoy existen aproximadamente 21 000 especies descritas para estos grupos, esto produce una tasa de 48 extinciones por millón de especies al año (E/ MSY, por sus siglas en inglés), aproximadamente de 20 a 40 veces mayor que el promedio de extinciones para el registro de los fósiles del Cenozoico (1-2 E/MSY) [Barnosky et al., 2011].

Desafortunadamente, se conoce mucho menos sobre los datos de otros grupos taxonómicos o de organismos que habitan en el mar [Dulvy, et al., 2003] y en agua dulce [Finlayson y D´Cruz, 2005]. En el reciente período de 1984-2004, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), registró 27 extinciones [Baillie, et al., 2004]. Aproximadamente, la mitad de ellas ha ocurrido en los continentes, lo que sugiere que las extinciones recientes ya no están en su mayoría restringida a las islas oceánicas. Doce de las especies extintas fueron plantas con flores, seguidas por ocho anfibios y seis especies de aves.

La pérdida de hábitat se cree que ha desempeñado un papel en 13 de estas extinciones, seguida por la invasión de especies exóticas y enfermedades (especialmente para los anfibios se ha registrado la quitridiomycosis). La pérdida de hábitat parece estar jugando un papel mayor en extinciones recientes que en las de siglos anteriores, y las enfermedades se están convirtiendo, a la vez, en una nueva amenaza [Baillie, et al., 2004]. La importancia actual de la pérdida y degradación de hábitats se desprende del análisis de la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN, donde se identifican grandes amenazas para anfibios, mamíferos, y aves. La Lista Roja identifica no solo a las especies que se han confirmado como extintas, sino también las que se encuentran actualmente amenazadas y que si las presiones se mantienen, pueden extinguirse en el futuro. Esto permite un análisis más inmediato del cambio en la biodiversidad mundial, puesto que el tiempo que va entre la disminución inicial de una especie como resultado de una presión, y la extinción final de ese grupo, puede tardar siglos o milenios. Por lo cual un análisis que incluya a las especies amenazadas puede darnos una idea más completa del fenómeno de cambio en la biodiversidad a escala global [Leadley, et al., 2010].

Las presiones que han conducido a este cambio a escala global son las siguientes:

1. Los cambios y la degradación de hábitats.
2. La sobreexplotación.
3. La contaminación.
4. La introducción de especies exóticas e especies invasoras que han provocado extinciones a nivel global.
5. El cambio climático.

### *Cambio climático*

La temperatura media de la superficie aumentó 0,74 °C entre los años 1906-2005 y se espera que aumente entre 1,8 y 4 °C durante el siglo xxi, dependiendo del escenario socioeconómico [IPCC, 2007]. El calentamiento es, espacialmente hablando, muy heterogéneo, ya que es mayor en ecosistemas terrestres y en las latitudes del norte, con aumentos de hasta 1,5 °C. Este calentamiento es menos pronunciado en los trópicos, donde muchas de sus regiones se han calentado alrededor de 0,5 °C.

Existen evidencias sobre el impacto del cambio climático en el aumento de la extinción y el riesgo para las especies de latitudes del norte, especialmente para aves y plantas [Jetz, et al., 2007]. En las latitudes del sur solo se han reportado especies afectadas negativamente por el cambio climático en la región del Cabo (Sudáfrica) y en el sureste de Australia. Estas áreas no están sufriendo un excesivo calentamiento, por lo que una explicación a este fenómeno pudiera ser que esas regiones tienen muchas especies particularmente vulnerables al cambio climático. Las especies con alta vulnerabilidad son aquellas que tienen estrechos nichos climáticos, no pueden cambiar su distribución, o no son capaces de cambiar su fenología y no pueden transformar su fisiología o su comportamiento [Bellard, et al., 2012; Folden et al., 2009]. Por ejemplo, la capacidad limitada de algunas especies para adaptarse a la vida en las cimas de la montañas ha sido identificada como una importante vulnerabilidad climática [Parmesan, 2006].

Es por esto que la vulnerabilidad ante el cambio climático es una combinación entre exposición a este y la sensibilidad intrínseca de cada especie. Es necesario también considerar cómo el hábitat contribuye a la disminución del cambio climático, ya que áreas complejas desde el punto de vista topográfico proveen mayor cantidad de microrefugios que los organismos utilizan para evitar temperaturas extremas [Moritz y Agudo, 2013]. Cabe comentar que aún es muy escasa la evidencia directa de adaptación genética al cambio climático, por lo que se considera que de 15-37% de las especies estarán amenazadas o extintas para el 2050 [Thomas, et al., 2004]. Estas cifras podrían haber sido sobreestimadas, por lo que en futuros modelos se debe tener en cuenta la incorporación de

parámetros como la capacidad de aclimatación y los procesos demográficos, entre otros.

Finalmente, se debe aclarar que aún es muy difícil asociar claramente los procesos de extinción al cambio climático. Se torna complejo establecer una relación de causa-efecto entre el calentamiento y la reducción en las poblaciones o extinciones, debido a la interacción que tienen estos procesos con otros factores antropogénicos y las enfermedades emergentes.

#### *Monitoreo global de la biodiversidad*

Para poder estudiar la biodiversidad a nivel de biosfera se necesitan mediciones certeras con respecto a la tasa de extinciones, e idealmente estas mediciones deben ser aplicables a una escala global. Baillie, et al. [2008] presenta una nueva técnica para estimar la pérdida de biodiversidad. Esta técnica se basa en la tasa a la cual una muestra estratificada de las especies a nivel mundial pasan de categoría y de esta forma reflejan su riesgo de extinción. Este sistema combina técnicas de muestreo y el método del Índice de la Lista Roja (el cual utiliza datos de la Lista Roja IUCN) con el objetivo de desarrollar el Índice de Muestreo de la Lista Roja (SRLI, por sus siglas en inglés). La ventaja del SRLI es que no requiere del censo completo de los diferentes grupos a escala global para monitorear tendencias en cuanto a extinción, y por tanto se pueden incluir en los análisis un mayor número de especies. Esto resulta en indicadores más amplios y representativos de toda la biodiversidad en su conjunto. Para esto es necesario determinar los grupos taxonómicos a incluir y el número mínimo de especies para proveer una tendencia robusta, determinar una estrategia de muestreo que asegure una buena representación geográfica y taxonómica, además de establecer métodos para la agregación de los datos y estimar los intervalos de confianza.

Los grupos taxonómicos fueron seleccionados de acuerdo a una serie de criterios que pretendían minimizar prejuicios taxonómicos y geográficos, además de aumentar las probabilidades de que los grupos seleccionados continuarían siendo evaluados regularmente.

Para el SRLI la cantidad de muestras debe ser lo suficientemente grande para producir tendencias robustas y precisas, dentro de los grupos y entre los grupos, pero debe ser lo suficientemente pequeña como para ser práctica, ya que las evaluaciones de la Lista Roja requieren tiempo y recursos. Se investigó el mínimo requerido mediante el cálculo del SRLI para aves y anfibios (los cuales se encuentran muy bien evaluados), y se comparó cuan parecidos eran con el RLI. Los resultados ofrecen que 900 especies son suficientes para realizar el muestreo; sin embargo, finalmente se recomendó un mínimo de 1 500 especies para muestrear por grupo, teniendo en cuenta que muchas de las especies podrían estar en la

clasificación «deficiente de datos». El mínimo de 1 500 especies por grupo también se comprobó para representaciones geográficas.

Los índices para grupos taxonómicos de mayor jerarquía (vertebrados, invertebrados, plantas, hongos y algas) se producirán mediante los datos de grupos taxonómicos de menor jerarquía. Por ejemplo, los índices de mamíferos, aves, reptiles, anfibios y peces formarán el índice de los vertebrados. Por su parte, el índice general para todas las especies se calculará agregando los índices de los grupos: vertebrados, invertebrados, plantas, hongos y algas.

Para identificar el estatus de conservación y las tendencias para cada ecosistema se necesita agregar especies de diferentes grupos taxonómicos. En contraste con el cálculo del índice de biodiversidad para todas las especies en el que se le da igual peso a cada grupo, en el caso de los ecosistemas se le otorga una determinada importancia a cada grupo taxonómico en dependencia del número de especies de ese grupo que habitan en él. Esto contribuye a que un subgrupo como los reptiles, con tan solo unas pocas especies marinas, no inflencie de modo desproporcionado el índice de los ecosistemas marinos.

De esta forma la mayor parte de los intentos que se han hecho para cuantificar el impacto de la humanidad en la naturaleza, se ha centrado en estimados de tasas de extinción basados en la Lista Roja de Especies. Sin embargo, esos estimados conllevan a otros problemas como la alta incertidumbre, su relación con problemas económicos y la falta de sensibilidad ante cambios a corto plazo. Es por esto que Balmford [2003] propone indagar en otras medidas a gran escala que nos provean de datos para estudiar los cambios en la naturaleza a más corto plazo.

En este caso el autor propone el análisis de tendencias en número, tamaño y extensión de poblaciones. Este tipo de datos provee una sensibilidad a corto plazo que complementa a la perspectiva de largo plazo que ofrecen las tasas de extinción, las cuales, como ya hemos planteado, confrontan problemas como la escasez de personal de campo y la falta de estudios que evalúen la mayor parte de las extinciones. Además, se plantea que es muy difícil cuando se quieren llevar estas tasas de extinción a un contexto temporal geológico, pues esas tasas prehumanas se han calculado a través del estudio de los fósiles, que como conocemos es incompleto para todos los grupos. Como consecuencia, Balmford [2003] propone la medida de las tendencias de los hábitats y de las poblaciones como alternativa. La WWF y la UNEP- World Conservation Monitoring Centre han desarrollado el LPI (Living Planet Index). Este índice constituye una síntesis anual de las tendencias de 694 poblaciones de vertebrados.

El índice se compila de manera separada para poblaciones de bosques, agua dulce y marinas. Los tres índices combinados muestran un decline de 37% en las poblaciones entre 1970 y 2000. Tal como sucede con las tasas de extinción, existen problemas de tipo taxonómico, geográfico y de hábitat. Por ejemplo, el LPI no brinda datos de invertebrados o plantas, muy poco sobre los trópicos y nada sobre índices globales para hábitats tales como praderas, desiertos, tundras, arrecifes coralinos, lechos de algas, pantanos, lagos, ríos o estuarios.

De esta forma estamos monitoreando solo una pequeña fracción de los sistemas vivientes. Aun así, las tasas de cambio en las poblaciones se usan para estimar la pérdida global de las especies silvestres; se considera que esta pérdida se sitúa entre 0,5 y 1,5% cada año. En el caso de los hábitats naturales se estima que hemos destruido alrededor de 50%. Para evaluar con una mayor rapidez el impacto de la pérdida de hábitat en las poblaciones se debe aumentar la cobertura, la sofisticación y la disponibilidad de los datos que se obtienen por sensores remotos.

Además, existe el Grupo de Observaciones de la Tierra, específicamente la red de Observación de la Biodiversidad (GEO BON, por sus siglas en inglés), que tiene como objetivo precisamente el completamiento de estas brechas de información mediante programas de monitoreo de la biodiversidad en todo el mundo, y la promoción de monitoreo de la biodiversidad en aquellas regiones con déficit de información [Scholes, et al., 2012].

## **Conclusiones**

A pesar de todo lo expresado anteriormente, existen algunos avances en el control del deterioro de la biodiversidad a escala global debido a recuperación de hábitats, esfuerzos de conservación, programas de reintroducción y cambios en la legislación [Hoffman, et al., 2011]. Un ejemplo es el loro *Cyanoramphus cookii*, con altas posibilidades de extinguirse hacia el 1994, con solo cuatro hembras y ahora cuenta con más de 300 individuos. En este caso aunque estemos hablando de una sola especie, es importante analizar cómo todas estas nuevas medidas en su conjunto están afectando de manera positiva a la biodiversidad a una escala global, o al menos están controlando o enlenteciendo, de alguna forma, los procesos de extinción de especies.

Aún existen muchas incógnitas cuando se habla de biodiversidad a nivel global, sobre todo cuando pretendemos medir la dimensión exacta de la crisis a la que nos enfrentamos. El riesgo en el que se encuentra la mayor parte de las especies es desconocido y la mayor parte de los estudios que se poseen provienen de grupos vertebrados. Inclusive para los vertebrados



la información que existe es muy heterogénea y se encuentra muy limitada en regiones que se encuentran sometidas a diferentes presiones ecológicas.

## **Bibliografía**

- ALLEN, T. F. H. Y T. W. HOEKSTRA (1990). «The Confusion Between Scale-Defined Levels and Conventional Levels of Organization in Ecology», en *Journal of Vegetation Science* 1: 5-12, 1990.
- BAILLIE, J. E. M., C. HILTON-TAYLOR Y S. N. STUART (2004). «2004 IUCN Red List of Threatened Species. A Global Species Assessment». Gland, Switz.: IUCN, 2004.
- BAILLIE, J. E. M., B. COLLEN, et al. (2008). «Toward Monitoring Global Biodiversity», en *Conservation Letters* 1: 18-26, 2008.
- BALMFORD, A., R. E. GREEN, et al. (2003). «Measuring the Changing State of Nature», en *Trends in Ecology and Evolution* 18(7): 326-330, 2003.
- BARNOSKY, A. D., N. MATZKE, et al. (2011). «Has the Earth's Sixth Mass Extinction already Arrived?», en *Nature* 471: 51-57, 2011.
- BELLARD C.; C. BERTELSMEIER, P. LEADLEY, W. THULLER Y F. COURCHAMP (2012). «Impacts of Climate Change on the Future of Biodiversity», en *Ecol. Lett.* 15:365-77, 2012.
- DEFRIES, R. S. Y J. R. G. TOWNSHEND (1999). «Global Land Cover Characterization from Satellite Data: from Research to Operational Implementation?», en *Global Ecology and Biogeography* 8: 367-379, 1999.
- DULVY, N., Y. SADOVY, et al. (2003). «Extinction Vulnerability in Marine Populations», en *Fish and Fisheries* 4: 25-64, 2003.
- FINLAYSON, C. M. Y R. D'CRUZ (2005). *Inland Water Systems. Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends*: 551-583, 2005.
- FODEN, W. B.; G. M. MACE, J.-C. VI'É, A. ANGULO, S. H. M. BUTCHART, et al. (2009). «Species Susceptibility to Climate Change Impacts», en *International Union for Conservation of Nature and Natural Resources* 77-88, 2009.
- ICHII, K.; A. KAWABATA, et al. (2002). «Global Correlation Analysis for NDVI and Climatic Variables and NDVI Trends: 1982-1930», en *International Journal of Remote Sensing*, 2002.
- IPCC (2007). «Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change», en Geneva, Switz.: IPCC, 2007.
- JENNINGS, M. D. (2000). «Gap Analysis: Concepts, Methods and Recent Results», en *Landscape Ecology* 15: 5-20, 2000.
- JETZ, W.; D. S. WILCOVE, ET AL. (2007). «Projected Impacts of Climate and Land-Use Change on the Global Diversity of Birds», en *PLoS Biology* 5(6), 2007.

- KERR, J. T. Y M. OSTROVSKY (2003). «From Space to Species: Ecological Applications for Remote Sensing», en *Trends in Ecology and Evolution* 18(6): 299-305, 2003.
- KIRCHNER, J. W. (1989). «The Gaia Hypothesis: Can Be Tested?», en *Reviews of Geophysics* 27(2): 223-235, 1989.
- KIRCHNER, J. W. (2002). «The Gaia Hypothesis: Fact, Theory and Wishful Thinking», en *Climatic Change* 52: 391-408, 2002.
- LEADLEY, P. W.; H. M. PEREIRA, R. ALKEMADE, J. F. FERNANDEZ-MANJARR'ES, V. Proenc, et al. (2010). «Biodiversity Scenarios: Projections of 21st Century Change in Biodiversity and Associated Ecosystem Services», en Montreal: *Secr. Conv. Biol. Divers.* 132, 2010.
- LIU, J., et al. (2002). «Net Primary Productivity Mapped for Canada at 1 km Resolution. Global Ecol», en *Biogeogr.* 11: 115-129, 2002.
- LOVELOCK, J. (1979). *Gaia. Una nueva visión de la vida sobre la Tierra*. Barcelona: Orbis (trad. castellana 1983, ed. 1985) 127, 1979.
- LUCHT, W., et al. (2002). «Climatic Control of the High-Latitude Vegetation Greening Trend and Pinatubo Effect», en *Science* 296: 1687-1689, 2002.
- MACE, G. M.; H. MASUNDIRE, J. BAILLIE, T. H. RICKETTS, T. M. BROOKS, et al. (2005). «An Index of Intactness», en *Biodiversity* 77-126, 2005.
- MACMAHON, J. A.; D. L. PHILLIPS, et al. (1978). «Levels of Biological Organization: an Organism-Centered Approach», en *Bioscience* 28: 700-704, 1978.
- MORITZ, C. Y R. AGUDO (2013). «The Future of Species Under Climate Change: Resilience or Decline?», en *Science* 341: 504-508, 2013.
- MYERS, N., et al. (2000). «Biodiversity Hotspots for Conservation Priorities», en *Nature* 403: 853-858, 2000.
- NELSON, M.; T. L. BURGESS, et al. (1993). «Using a Closed Ecological System to Study Earth's Biosphere», en *BioScience* 43(4): 225-236, 1993.
- PAGE, S. E., et al. (2002). «The Amount of Carbon Released from Peat and Forest Fires in Indonesia during 1997», en *Nature* 420: 61-65, 2002.
- PARUELO, J. M. Y W. K. LAUENROTH (1998). «Interannual Variability of NDVI and its Relationship to Climate for North American Shrublands and Grasslands», en *J. Biogeogr.* 25: 721-733, 1998.
- PARMESAN, C. (2006). «Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change», en *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 37: 637-669, 2006.
- PARMESAN, C. Y G. YOHE (2003). «A Globally Coherent Fingerprint of Climate Change Impacts Across Natural Systems», en *Nature* 421: 37-42, 2003.
- SCHOLES, R. J.; M. WALTERS, et al. (2012). «Building a Global Observing System for Biodiversity», en *Current Opinion in Environmental Sustainability* 4: 1-8, 2012.

SHEPELEV, YEVGENY Y. (1972). «Biological Life Support Systems». Pages 274-308 in M. Calvin and O. Gazenko, eds. *Foundations of Space Biology and Medicine*. vol. 3. Academy of Sciences USSR, Moscow, Russia, and NASA, Washington, DC, 1972.

THOMAS, C. D., et al. (2004). «Extinction Risk for Climate Change», en *Nature* 427: 145-148, 2004.

## **Estudio de factibilidad de las mezclas de residuos orgánicos para la producción de biogás**

### **Feasibility study of organic waste mixtures for biogas production**

*Por Dr. C. Jesús Manuel Guzmán China\*  
y Lic. Elizabeth Guzmán Marrero\*  
\* Universidad de Cienfuegos, Cuba.  
e-mail: jgchina@ucf.edu.cu*

#### **Resumen**

La digestión anaerobia de purines de cerdo puede ser una buena opción para la valorización económica de estos residuos. Una clara opción para mejorar la producción de metano, y por tanto la viabilidad económica de las plantas de digestión anaerobia, es la introducción como cosustrato de residuos orgánicos de la industria agroalimentaria. La codigestión de residuos ganaderos y residuos orgánicos en sistemas de mezcla completa es una metodología exitosa a escala mundial. También a escala mundial se han combinado otras mezclas, logrando triplicar el potencial de producción. La principal ventaja de la codigestión está en aprovechar la sinergia de las mezclas y compensar las carencias de cada uno de los sustratos por separado. Se realizaron ensayos de viabilidad en discontinuo de mezclas de purín con residuos de la agricultura. El experimento fue desarrollado en los rangos de temperatura entre 28 y 30 °C. El objetivo era demostrar su alta efectividad en el tratamiento de residuos sólidos biodegradables y contribuir a promover su empleo, principalmente en residuos poco aprovechados en Cuba. La aplicación de esta tecnología podría permitir el uso eficiente del biogás en la generación de energía eléctrica y su aporte a la red nacional en Cuba. La codigestión se muestra como una opción interesante para incrementar las producciones de gas de purines, posibilitando el tratamiento de algunos residuos industriales, pero deben estudiarse previamente las condiciones óptimas de mezcla.

**Palabras clave:** Mezclas, reactores, enriquecidas, digestión anaerobia

#### **Abstract**

The anaerobic digestion of pig slurry can be a good choice for the economic recovery of this waste. A clear option to improve methane production, and therefore the economic viability of anaerobic digestion plants, is the introduction as a cosubstrate of organic waste from the agriculture-food industry. The digestion of livestock waste and organic waste in complete mixing systems is a successful methodology at worldwide scale. Other mixtures have been also combined, tripling the production potential. The

main benefit of codigestion is to take advantage of the synergy of the mixtures and compensate the lacks of each of the substrates separately. Discontinuous viability tests of pig slurry mixed with agricultural residues were conducted. The experiment was developed in the temperature ranges between 28°C and 30°C. The objective was to demonstrate its high effectiveness in the treatment of biodegradable solid waste with the purpose of contributing to promote its use, mainly in residues not very used in Cuba. The application of this technology could allow the efficient use of biogas in the generation of electricity and its contribution to the national grid in Cuba. The co-digestion is shown as an interesting choice to increase the production of biogas from pig slurry, enabling the treatment of some industrial waste but the optimum mixing conditions must be previously studied.

**Keywords:** Mixtures, reactors, enriched, anaerobic digestion

## **Introducción**

Existen varios residuos biodegradables, de diferentes orígenes, que tienen un potencial de producción de biogás relativamente bajo debido a su bajo contenido de materia orgánica, comparados con otros tipos de residuos, además de su baja biodegradabilidad. La codigestión de residuos ganaderos y residuos orgánicos de otros orígenes en sistemas de mezcla completa es una metodología exitosa a escala mundial.

En este proceso se combinan varias mezclas de sustratos orgánicos biodegradables, logrando aumentar el potencial de producción de biogás por kilogramo de mezcla degradado. Existe un gran número de ejemplos en los que se ha demostrado la efectividad de este proceso, y la producción de biogás inclusive se ha triplicado.

La principal ventaja de la codigestión está en aprovechar la sinergia de las mezclas y compensar las carencias de cada uno de los sustratos por separado. La aplicación de esta tecnología podría permitir el uso eficiente del biogás en la generación de energía eléctrica y su aporte a la red nacional en Cuba.

## **Materiales y métodos**

Se utilizaron cinco recipientes cerrados como mini reactores simulando el proceso anaerobio de la mezcla, con una capacidad de 25 L, se conformó una mezcla compuesta por varios sustratos, como excreta de cerdo, residuo de guayaba procedente de la agroindustria, hojas secas y cachaza, entre otras.

Por no disponer de un sistema en continuo en el momento de comenzar el ensayo, el inóculo se preparó digiriendo en discontinuo una mezcla de purín y residuo de guayaba. La mezcla se digirió a las dos temperaturas (28 y 30 °C) en discontinuo, hasta encontrar que la proporción de CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub> era aproximadamente 60/40% (39 días), conservándose hasta el momento de ser utilizada.

Se realizó el experimento en 5 recipientes de plástico (reactores químicos) con el objetivo de evitar contaminación en el proceso.

Se utilizaron diferentes substratos, entre ellos los residuos de la elaboración de pulpa de guayaba obtenida en la fábrica Los Camilitos, cascarilla de huevo recolectada de la dulcería La Deliciosa y hojas de árboles, cachaza del central 14 de Julio, de Rodas, y purín de cerdo de la Empresa Genético Porcina de Cienfuegos.

El diseño del experimento se basó en el llenado de 5 reactores, cerrados (anaerobio), para observar donde se producía un mayor crecimiento bacteriano en el menor tiempo posible, y así una mayor producción de biogás. El tiempo de retención del experimento fue de 39 días. Se desarrolló en régimen mesofílico en un rango entre 28 y 30 °C, y se prepararon 5 experimentos:

- Experimento 1: Purín de cerdo diluido en agua a diferente proporción.
- Experimento 2: Codigestión de purín de cerdo con residuos de guayaba.
- Experimento 3: Codigestión de purín con mezclas de residuos agrícolas.
- Experimento 4: Residuos agrícolas.

*Experimento 5: Codigestion de purín de cerdo y mezclas de residuos agroindustrial.*

*Tabla 1. Diseño de los experimentos*

<b>Ingredientes</b>	<b>Peso de la materia, kg</b>	<b>Peso del recipiente, kg</b>
Cachaza	0,25	2,00
Cascarón de huevo	0,15	
Pulpa de guayaba	0,25	

Purín de cerdo	0,50	
Hojas secas	0,15	
H <sub>2</sub> O	1,30	
Total	2,60	

### **Métodos analíticos**

Determinados en análisis de laboratorio:

- Sólidos totales y volátiles.
- Demanda química de oxígeno (DQO).
- pH.
- Composición del biogás, CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>.

La mezcla se digirió a las dos temperaturas (28 y 30 °C) en discontinuo, se toma como referencia según la bibliografía la proporción de CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub>, aproximadamente 60/40%, para evaluar la eficiencia del experimento, y se dio como tiempo de retención (39 días).

Periódicamente se analizó la composición del espacio de cabeza y se tomaron muestras de la fracción líquida. Tanto al inicio de la digestión como su final se realizó una analítica completa de las muestras, incluyendo: sólidos totales (ST) y volátiles (SV), demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno Kjeldahl (Nk), nitrógeno amoniacal (NNH<sub>4</sub><sup>+</sup>), pH y alcalinidad.

### **Resultados y discusión**

#### **Residuos sólidos biodegradables en Cuba**

En Cuba existe un enorme potencial de residuos sólidos biodegradables disponibles para ser revalorados energéticamente y que actualmente no tienen ninguna utilidad. Se pueden mencionar varios orígenes de este tipo de residuos, entre los que se encuentran residuos agrícolas, residuos de podas, residuos agroindustriales y residuos sólidos urbanos (RSU).

Tabla 2. Potencial disponible a partir de la generación de residuos sólidos en Cuba

	Bagazo de caña	Serrín de madera	Cáscara de arroz	Residuos de café	Residuos forestales	Residuos de coco	Leña
Total, Mm <sup>3</sup>	6 950 522	11 784,3	14 821,1	1 342,4	532 788,2	206,9	1 797,7
%	92,51	0,16	0,20	0,02	7,09	0,00	0,02

Todos estos residuos deben ser estudiados con relación al potencial de generación de biogás que pudieran producir. Como puede observarse en la tabla 2, el bagazo sigue teniendo el peso mayoritario en el potencial de estos residuos, con 92,5% de la biomasa disponible. Toda la biomasa mencionada en dicha tabla puede considerarse como biodegradable.

Otros residuos orgánicos importantes son la excreta, sobre todo de cerdo, y los residuos del proceso industrial de los mataderos. Otra materia prima valiosa que tiene un amplio potencial no registrado en la tabla anterior son los residuos sólidos urbanos (RSU). Solo en la ciudad de La Habana, la capital de Cuba, se generan más de 1 500 m<sup>3</sup> de RSU por día.

### Codigestión de residuos orgánicos

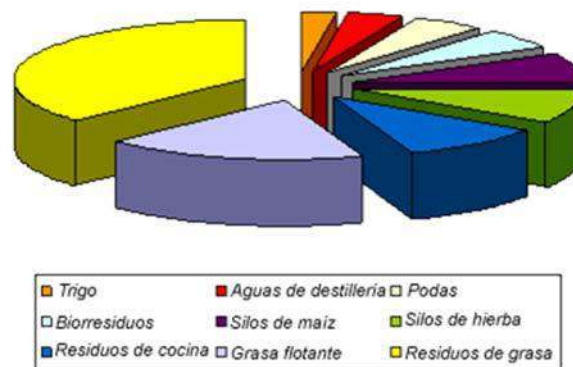
La codigestión de residuos ganaderos y residuos orgánicos en sistemas de mezcla completa es una metodología exitosa, tanto en régimen termofílico como en el mesofílico [Brinkman, 1999]. La principal ventaja de la codigestión está en aprovechar la sinergia de las mezclas y compensar las carencias de cada uno de los sustratos por separado.

Los residuos urbanos e industriales suelen contener altas concentraciones de materia orgánica fácilmente degradable (lípidos, carbohidratos y proteínas), por lo que presentan un mayor potencial de producción de biogás que los residuos ganaderos, de 30 a 500 m<sup>3</sup>/t, mejorando la viabilidad económica de las plantas. Sin embargo, estos residuos pueden presentar problemas para su digestión, como deficiencia en los nutrientes necesarios para el desarrollo de los microorganismos anaerobios, baja alcalinidad o excesivo contenido de sólidos que provoque problemas mecánicos.

En el caso de los residuos ganaderos, y en concreto el purín de cerdo, el potencial de producción de biogás es relativamente bajo debido a su poco contenido de materia orgánica, comparados con otros tipos de residuos, y la baja biodegradabilidad de la materia orgánica.



Sin embargo, estos residuos son una buena base para la codigestión porque generalmente presentan un contenido de agua más alto que la mayoría de los residuos industriales, una mayor capacidad tampón y aportan una amplia variedad de nutrientes necesarios para el crecimiento de los microorganismos anaerobios. En la figura 1 se muestra, de manera gráfica, el potencial de biogás de diferentes sustratos, lo que demuestra la viabilidad del proceso de codigestión para un mejor aprovechamiento de estos residuales.



*Fig. 1. Potencial de producción de biogás desde varios sustratos.*

Se han obtenido buenos resultados con mezclas de varios tipos de residuos de industrias cárnicas y mataderos, ricos en grasas, consiguiendo altas producciones de metano, del orden de 47 m<sup>3</sup>/t de residuo introducido. También ha dado buenos resultados la codigestión de lodos de depuradora y la fracción orgánica de residuos municipales, FORM [Di Palma, et al., 1999; Hamzawi, et al., 1998], y la mezcla de residuos sólidos urbanos, principalmente a base de restos de vegetales y aguas residuales urbanas, así como de lodos de depuradoras y residuos de frutas y vegetales.

Los efectos beneficiosos de la introducción de mezclas de residuos ganaderos con residuos industriales se han puesto de manifiesto en plantas a escala real en varios países (Tabla 3).

*Tabla 3. Ejemplos de plantas de codigestión a escala industrial*

	Volumen del digestor, m <sup>3</sup>	Cosustratos	Aumento de la producción de biogás, %
Graz, Austria	3 x 4 000	5-20% de lodo flotante del matadero de pollos	90-220
Schwechat, Austria	2 x 4 500	15% de grasa de curtumbre	100-160

Tulln, Austria	620	4% de proteína	80
Rheda, Alemania	5 000	18% de lodo flotante y contenido estomacal de ovino	60
Radeberg, Alemania	4 600	27% varios	300
Samnaun, Suiza	600	5-28% de restos de comida	42-235

Diferentes tipos de residuos, principalmente de la industria agroalimentaria, se han testado ya como posibles cosustratos para la digestión de residuos ganaderos. A continuación se exponen algunos ejemplos (Tabla 4).

*Tabla 4. Caracterización físico-química de varios sustratos*

<b>Parámetro</b>	<b>Purín</b>	<b>Residuos de pera</b>	<b>TDO</b>
DQO, g/kg	80,92	453,0	1 090,4
ST, g/kg	79,16	354,0	916,96
SV, g/kg	58,4	346,5	362,62
pH	8,06	3,45	6,93
Alcalinidad total, g CaCO <sub>3</sub> /L	10,55	0	0,95

Otros muchos residuos se exponen en la bibliografía como responsables de mejora de las producciones de biogás de los residuos ganaderos, tales como residuos de lechería [Gavala, et al., 1996; Desai y Madamwar, 1994; Desai, et al., 1994], residuos de pescados y lodo de la industria cervecera [Callaghan, et al., 1999]. En general, la mezcla de residuos ganaderos de diferentes tipos de ganado puede mejorar la producción de metano, debido principalmente al mayor aporte de sólidos orgánicos, o a la dilución de algún efecto inhibitorio, como la concentración de amonio.

A pesar de los buenos resultados recogidos en la bibliografía, al mezclar diferentes tipos de residuos se corre el riesgo de introducción de sustancias tóxicas o inhibitoras para el proceso anaerobio, siendo preciso determinar la viabilidad de la mezcla, así como la proporción adecuada de cada

sustrato, y la optimización de otros parámetros del proceso como la temperatura, velocidad de carga, etc. Por otro lado, la introducción de sustratos altamente degradables, característica apreciada para mejorar la producción de gas, puede provocar problemas de sobrecargas orgánicas en el reactor y liberar compuestos inhibidores del crecimiento de los microorganismos.

Por ejemplo, el alto contenido en lípidos de algunos residuos industriales proporciona altos potenciales teóricos de producción de biogás, pero en función de la concentración y composición de ácidos grasos pueden resultar altamente tóxicos para el crecimiento microbiano [Galbraith, et al., 1971; Hanaki, et al., 1981; Koster y Cramer, 1987; Angelidaki y Ahring, 1992; Hwu, et al., 1997]. Es, por tanto, necesario realizar estudios de viabilidad de las mezclas, determinando la presencia de tóxicos o inhibidores que puedan invalidar el nuevo residuo como cosustrato.

La adición de BBO aumenta la producción de metano con respecto a los sólidos volátiles añadidos, debido al mayor potencial de producción de biogás de la grasa contenida en la BBO que del estiércol, de 0,2 a 0,23 L de CH<sub>4</sub>/g SV [Ahring, et al., 1992]. Una hipótesis planteada para explicar la mejora en la producción de metano es la disminución de problemas de inhibición por amonio, debido a la capacidad de adsorción superficial de este material.

La codigestión de alpechín, residuo acuoso de la producción de aceite de oliva virgen, y estiércol bovino, hace posible el tratamiento del primero mediante digestión anaerobia. La fermentación de alpechín solo presenta problemas debido a la alta concentración de compuestos tóxicos (polifenoles), o a la baja concentración de nutrientes esenciales (N) y baja alcalinidad. La codigestión aumenta, además, el índice de producción de biogás del estiércol. La mezcla de alpechín y purín de cerdo ha mostrado buenos resultados en otros estudios, alcanzando niveles de degradación de DQO del orden de 65%.

La mezcla de purín con lodos de depuradora, tanto en el rango termofílico como mesofílico, ha proporcionado resultados positivos [Wong, 1990; Flotats, et al., 1999]. Se han obtenido también resultados positivos al mezclar estiércol de bovino y residuos lignocelulósicos, hojas machacadas, paja de trigo, restos vegetales pretratados con hidróxido sódico [Dar y Tandon, 1987], así como la mezcla de purín con paja. Con residuos de tomate mejora la digestión del estiércol, así como la mezcla de residuos bovinos y residuos de frutas y verduras.

Otros muchos residuos se exponen en la bibliografía como responsables de mejora de las producciones de biogás de los residuos ganaderos, tales

como residuos de lechería, residuos de pescado y lodos de la industria cervecera.

En general, la mezcla de residuos ganaderos de diferentes tipos de ganado puede mejorar la producción de metano, debido principalmente al mayor aporte de sólidos orgánicos, o a la dilución de algún efecto inhibitorio, como la concentración de amonio.

Ahring, et al. [1992] estudiaron la viabilidad de la codigestión de estiércol con residuos de la elaboración de piensos. Debido al alto contenido en nitrógeno de este producto, inicialmente se produce la inmediata inhibición del proceso de digestión, aunque finalmente los microorganismos son capaces de aclimatarse, disminuyendo la concentración de ácidos grasos volátiles y produciendo una alta y constante producción de biogás.

Diversos trabajos se han desarrollado teniendo como base la codigestión de estiércol bovino con tierras residuales procedentes del proceso de refinado de aceite, BBO (*Bentonite Bound Oil*). En general, la adición de este residuo en plantas a escala real produce una mayor estabilidad del proceso y un aumento en la producción de gas, debido a la conversión en metano de la mayoría del carbono añadido, aunque no se observa una mejora en la tasa de conversión del estiércol en sí mismo.

### **Breve descripción tecnológica. Acercamiento a Cuba**

La tecnología anaerobia es muy diversa. En el caso de la codigestión se trata de proyectos en los que son necesarios otros sustratos para obtener una buena viabilidad económica. Otro motivo importante para la realización de esas instalaciones es la reducción drástica de malos olores y la obtención de subproductos de elevado valor, como el biofertilizante.

La decisión sobre una variante tecnológica u otra depende, principalmente, de las características del residual que se va a tratar. Para la codigestión se emplean básicamente reactores como los que se muestran en la figura 2.

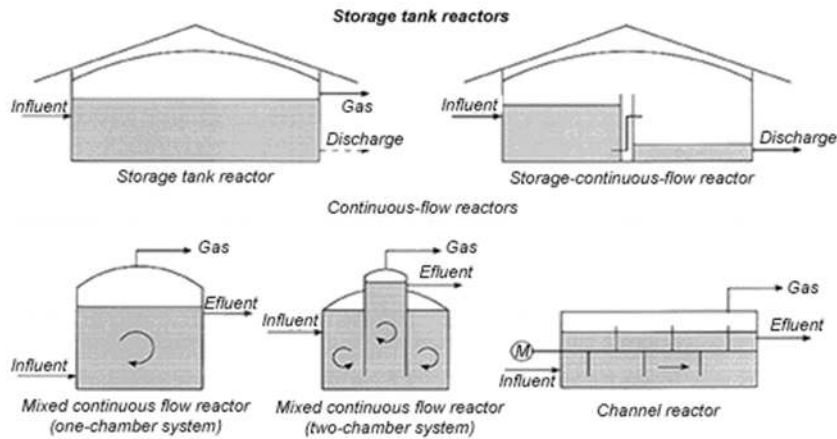


Fig. 2. Tipos de reactores anaerobios empleados en la codigestión de residuos.

El esquema de una planta de codigestión sigue una serie de pasos típicos que se muestran en el diagrama de flujo de la figura 3. La necesidad de uno u otro, o todos, depende del tipo de sustrato que se ha de digerir.

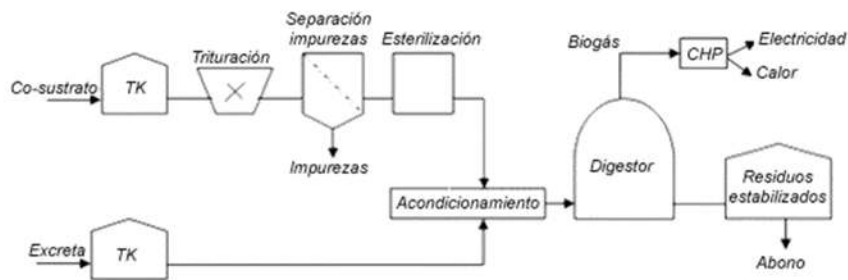


Fig. 3. Típico diagrama de flujo para la codigestión de residuos.

En Cuba no existe una práctica de la codigestión. La mayoría de los residuales orgánicos que podría ser tratada por esta vía, hoy se procesan de manera muy ineficiente y en una buena parte de ellos no existe siquiera el tratamiento mismo. La no disponibilidad de varios residuos orgánicos en el área donde se proyecta y ejecuta la construcción de los digestores anaerobios ampliamente difundidos en Cuba, hace que la opción de la codigestión nunca aparezca.

La exploración y explotación, aún insuficiente a escala industrial, de la tecnología anaerobia para el tratamiento de los residuos altamente contaminantes que hoy se generan en grandes cantidades, hace que todavía Cuba se encuentre lejos de generalizar la experiencia que existe actualmente en el mundo y principalmente en Europa, en la aplicación del

proceso de codigestión. Se hace necesario entonces realizar un estudio para conocer en cada caso las posibilidades técnicas y económicas que permitan aprovechar las bondades que brinda este proceso, y alcanzar mayores eficiencias en el tratamiento anaerobio y la disposición final de los residuos orgánicos.

## **Metodología de cálculos**

### **Cálculo de la producción de gas acumulada**

La producción de gas acumulada se calculó a partir de su composición y presión. Se asumió que se cumplía la ley de los gases perfectos. Se observó un fenómeno no carente de interés y es que en las horas posteriores al vaciado se producía una mayor producción de gas. La hipótesis planteada es que el aumento de la presión del espacio de cabeza hace que el equilibrio líquido-gas se desplace hacia la fase líquida, pudiendo, inclusive, provocar la inhibición de la acetogénesis por CO<sub>2</sub> [Hansson y Molin, 1981], de forma que al vaciar, baja la concentración de CO<sub>2</sub> y se reactiva el proceso de metanogénesis.

La producción de metano se expresó en unidades de mL de CH<sub>4</sub> a 20 °C y presión 1 atmósfera. Se puede hacer fácilmente la transformación a volumen Estándar (0 °C y 1 atmósfera), multiplicando el valor obtenido por el factor 0,932.

### **Cálculo de índices de producción de metano**

La producción de metano por sí sola no resulta un buen parámetro de comparación, ya que dependerá de la forma en que se ha realizado el experimento, del tipo de substrato empleado, etc. Por ello se utilizarán varios índices que permitirán la comparación y el estudio de la eficiencia del proceso.

### **Volumen de gas acumulado (M)**

Este es el parámetro más utilizado, a pesar de no proporcionar información por sí solo, pero tiene una gran importancia como medida del potencial de producción. Dado que todos los tratamientos se realizaron utilizando una misma metodología, es un índice de valor a nivel comparativo dentro de este conjunto de experimentos. Para compararlo con resultados de otros autores u otros estudios, siempre se deberá hacer referencia a la metodología del ensayo y sobre todo al volumen del reactor y a la cantidad de substrato e inóculo empleada. El cálculo de este índice se realizó substrayendo la media del volumen acumulado de biogás/metano, para cada temperatura, al volumen acumulado (V) de cada una de las repeticiones de cada tratamiento. El cálculo de este índice se efectuó cada

día en que se midió el gas, obteniéndose la evolución de la producción de gas acumulada (biogás, metano y dióxido de carbono).

Las muestras tomadas para análisis en laboratorio se realizaron en condiciones normales y posteriormente en condiciones experimentales según la metodología.

$$M = V_t - V_{Blanco,t}$$

### **Volumen de gas con respecto a la masa inicial de sustrato (M')**

Este parámetro estima la producción de gas (metano o biogás) por unidad de masa de sustrato, y es necesario para comparar los resultados con los obtenidos por otros autores.

$$M' = Masa / (Masa \text{ de sustrato})$$

### **Volumen de gas con respecto a la cantidad de materia orgánica inicial (B)**

Este es un parámetro mucho más universal ya que se elimina el factor tamaño del reactor o cantidad de sustrato añadido, pero sobre todo es interesante para comparar la biodegradabilidad de cada sustrato, independientemente del contenido de materia orgánica. Consiste en calcular el volumen de biogás o metano producido por cada gramo de materia orgánica añadida (medida como sólidos volátiles o DQO). Este índice se calcula como el volumen neto de producción de biogás o metano (M), dividido por la cantidad total de sólidos volátiles añadidos (resultado de multiplicar la concentración por la masa total de sustrato en el reactor). Se calculó tanto para el biogás acumulado como para el metano y el dióxido de carbono.

$$B_t = \frac{M}{Masa \times [C]} = \frac{M'}{[C]}$$

Donde:

C: Concentración de SV o DQO inicial

La estimación de los parámetros producción potencial y velocidad específica de producción de metano tiene gran interés para comparar diferentes tratamientos y para relacionar la evolución de estas variables con otros parámetros del proceso; por ejemplo, para comparar la velocidad específica de producción de metano con la concentración de amonio o amoníaco libre.

Con el objetivo de comparar las curvas de producción de gas para los diferentes tratamientos se buscó un modelo simple capaz de simular la producción de gas en discontinuo en la mayoría de los casos, y poder realizar comparaciones. Varios modelos han sido encontrados en la bibliografía con este objetivo, la mayoría basados en cinéticas de primer orden.

$$\frac{dM}{dT} = -k \times (M_0 - M)$$

Donde:

$M_0$ : Producción potencial

$K$ : Constante de velocidad

Al integrar, la curva de producción de metano acumulada viene dada por:

$$M = M_0 * (1 - e^{(-k*t)})$$

La misma ecuación podría aplicarse al índice de producción acumulada con respecto al volumen de substrato inicial, o al contenido de sólidos volátiles iniciales ( $B$  y  $B_0$ ).

La utilización de este tipo de expresiones puede ajustarse suficientemente bien a los datos experimentales de ensayos en discontinuos de substratos complejos, si no existe desfase inicial en la producción de gas (fase lag), pero en el caso contrario podría dar valores erróneos en la estimación de la velocidad de producción de metano [Veeken y Hamelers, 1999].

En este trabajo fue necesario emplear otro tipo de expresiones que incluyen como un parámetro más la duración del desfase inicial, eligiéndose la ecuación de Gompertz:

$$M = M_0 * e^{\left(-e^{\left(\frac{K * e}{M_0} * (\lambda - t) + 1\right)}\right)}$$

Donde:

$M$ : Producción acumulada de metano, en mL  $CH_4$

$M_0$ : Producción potencial acumulada de metano, en mL  $CH_4$

$K$ : Velocidad de producción de metano, en mL  $CH_4$ /día

$\lambda$ : Duración de la fase lag, en días

$t$ : Tiempo, en días

$e = \exp(1)$ .

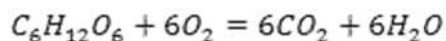
Una de las principales consecuencias de añadir estos tipos de cosubstratos fue el aumento de la materia orgánica «disponible» para la degradación, y



susceptible de ser convertida en metano. Sin embargo, el tipo de materia orgánica añadida fue muy diferente para cada uno de los cosubstratos.

### **Cálculo de las concentraciones finales de los parámetros físico-químicos**

La oxidación de la glucosa se expresa como:



### **Experimento 1: Purín de cerdo diluido en agua a diferentes proporciones**

*Tabla 5. Concentraciones medias y eliminación de sólidos totales en el experimento 1*

Sólidos totales (ST), mg/L			Eliminación ST, %		
Tratamiento	Inicial	Final 28 °C	Final 30 °C	28 °C	30 °C
1,1	7 916	7 560	7 270	4,49	8,16
1,2	7 647	7 218	6 840	5,61	10,55
1,3	7 668	7 225	6 842	5,77	10,77

En el tratamiento 1,1 la relación excreta de cerdo / agua 1:1; en el tratamiento 1,2 la relación es de 1:2, y en el tratamiento 1,3 la relación es de 1:3. La relación 1:1 quiere decir 1 kg de excreta de cerdo por 1 kg de agua.

*Tabla 6. Valores medios y eliminación de DQO en el experimento 1*

DQO, mg O <sub>2</sub> /L			Eliminación DQO, %		
Tratamiento	Inicial	Final 28 °C	Final 30 °C	28 °C	30 °C
1,1	8 004	6 340	6 133	20,78	23,37
1,2	5 193	4 225	3 982	18,64	23,32
1,3	5 087	4 170	3 896	18,03	23,41

Tabla 7. Valores medios de pH al inicio y al final de la digestión

Experimento 1					
PH			N-NH <sub>3</sub> , mg/L		
Tratamiento	Inicial	Final-28 °C	Final-30 °C	28 °C	30 °C
1,1 – 1:1	8,06	7,70	7,99	294,7	305,8
1,2 – 1:2	7,95	7,54	7,73	178,3	182,8
1,3 – 1:3	7,92	7,52	7,70	173,4	178,2

Tabla 8. Valores medios de la producción acumulada de gas (M) al final del proceso, para las variables biogás, metano y dióxido de carbono, en el experimento 1

	M, mL de biogás		M, mL de CH <sub>4</sub>		M, mL de CO <sub>2</sub>	
	28 °C	30 °C	28 °C	30 °C	28 °C	30 °C
1.1	658,68	436,99	443,13	195,18	215,55	241,81
1.2	546,59	533,78	370,84	297,41	175,75	236,37
1,3	523,41	508,63	361,23	283,62	162,18	225,01

Tabla 9. Caracterización a nivel de laboratorio del residual luego de ser sometido a un proceso de digestión anaerobia en minidigestores anaerobios

No.	Muestra:	Temp, °C	pH	SS, mL/L	SF, mL/L	DQO, mg/L	% de Rem
1	Purín de cerdo crudo	28	6,30	700	5	1 242,85	18,0
2	Mezcla cerdo/agua 1:1	28	6,54	700	5	777,77	70,4
3	Mezcla cerdo/agua 1:2	28	6,76	700	5	450	82,9
4	Mezcla cerdo/agua 1:3	28	6,73	700	5	486	73,6

Durante el proceso de digestión anaerobia en reactores experimentales del residual porcino, se monitoreó de forma sistemática la producción de biogás y el aumento de presión en el interior de los reactores, para las distintas

variantes de aplicación, durante un período de aproximadamente un mes, con el propósito de determinar en cuáles casos se obtenían mayores rendimientos en la producción de gas, el tiempo en el cual se obtenían dichos valores y los mejores niveles de remoción de la carga orgánica.

Se obtiene que la variante de tratamiento 1 alcanzó el potencial máximo de producción de biogás entre los 12 y 16 días de tratamiento, es decir, antes de las restantes variantes, pero al mismo tiempo se observa una caída brusca en la producción en el día 20 de tratamiento, lo cual pudiera indicar una inhibición del proceso, motivado por la detención del régimen metanogénico y el consumo brusco de la materia orgánica; en cambio, la variante 2 de tratamiento (Residual Dilución 1:1) alcanza su nivel óptimo de producción de biogás a partir del día 25, observándose una tendencia a la producción más estable y una mayor concordancia con el tiempo de retención hidráulica (TRH) estimado para reactores de primera generación; en el caso de la reducción de la carga orgánica se pudo observar una remoción de 70%, por encima de la variante de tratamiento 1 en 18%. La variante de tratamiento 3 (Dilución 1:2) tuvo un comportamiento similar a la 2 en cuanto a su potencial de producción de biogás, no así en la remoción de la carga orgánica, la cual fue de 82,9%, dado fundamentalmente por un comienzo del experimento con una menor carga orgánica debido a la dilución empleada. La variante de tratamiento 4 (Dilución 1:3) tuvo un comportamiento similar a la 3 en cuanto a su potencial de producción de biogás, no así en la remoción de la carga orgánica, la cual fue de 73,6%.

El comportamiento del pH y la temperatura durante el proceso se comportó de manera normal, observándose una reducción del pH mayor a nivel de laboratorio que el expresado en el proceso real, dado en lo fundamental por la reducción del volumen de operación en los minidigestores y la posible influencia del CO<sub>2</sub> y el H<sub>2</sub>S; no obstante, los pH observados experimentan un decrecimiento, en concordancia con lo que ocurre en el proceso a nivel de planta.

#### *Análisis de los resultados*

1. Los potenciales biológicos y los niveles de remoción de materia orgánica observados a nivel de laboratorio coinciden plenamente con los expresados en la planta de biogás de la Empresa Genético Porcina, por lo que se puede afirmar que la simulación del proceso en minidigestores anaerobios alcanza un alto grado de acercamiento al proceso real.
2. La variante 3 de tratamiento alcanza una mayor estabilidad en la producción de biogás y un alto nivel de remoción de la materia orgánica, comparable con la establecida para esta tecnología a nivel

mundial, al mismo tiempo que se acoge a los TRH de digestores de primera generación.

3. La aplicación de la variante de tratamiento 4 podría conllevar a altos consumos de agua, lo cual en las condiciones de pequeñas fincas pecuarias ocasionaría serios problemas a los productores, al no poder contar con fuentes abundantes.

## **Experimento 2. Codigestión de purín de cerdo con residuos de guayaba**

Se desarrolló un estudio de viabilidad de la mezcla de purín de cerdo con residuo de elaboración de guayaba. Se estudió la variación en la composición inicial y final de una serie de parámetros, así como la evolución durante la digestión de la producción de gas y de la concentración de AGV.

Se realizó el seguimiento de este tratamiento, exactamente igual que el de los otros; no fue en absoluto viable, con una producción de metano nula, debido a la baja alcalinidad de este sustrato, que provocó un pH tan bajo que no permitió la supervivencia de los microorganismos metanogénicos.

La inclusión de resultados nulos, y con muy baja variabilidad, podría provocar errores en el estudio estadístico por lo que se decidió no considerarlos.

Todos los valores expuestos en las tablas corresponden a los valores medios. Los valores finales de los parámetros físico-químicos fueron corregidos con la concentración correspondiente del blanco (digestión del inóculo con agua).

### *Evolución de la materia orgánica*

El principal efecto observado al añadir residuo de guayaba como cosustrato fue el significativo aumento observado en la concentración de materia orgánica, tanto en unidades de sólidos totales y volátiles, como de DQO.

La mezcla de purín con residuo de guayaba provocó un aumento del contenido en fibra total, pero, sobre todo, un aumento en la concentración del contenido de celulosa.

### *Evolución de la producción de biogás*

La evolución de la producción acumulada de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> siguió una tendencia diferente en función de la cantidad de cosustrato añadido y de la temperatura del ensayo. En general, la producción de metano aumentó, sobre todo en el rango termofílico, pero en algún tratamiento resultó un fracaso con producciones de metano muy bajas.

La digestión del residuo de guayaba sin adición de purín no fue viable debido a la baja alcalinidad y el bajo pH del residuo. Para su digestión se debería modificar artificialmente el pH. Al comparar los índices de producción de metano sobre sólidos volátiles, las diferencias entre los tratamientos se atenuaron, ya que el principal efecto del aporte de cosustrato sobre las características del sustrato fue el aumento de materia orgánica.

### **Experimento 3. Codigestión de purín con mezclas de residuos agrícolas**

#### *Cultivos energéticos*

Desde que se enmendó por primera vez en 2004 la Ley de fuentes renovables de energía (EEG), se ha asignado especial importancia a los cultivos energéticos (materias primas renovables) para la generación de electricidad a partir de biogás. Los cultivos energéticos se utilizan en la mayoría de las nuevas plantas de biogás construidas desde entonces. A continuación se describe con más detalle una selección de los cultivos energéticos de uso más común, con información adicional sobre las propiedades importantes de los cultivos y sus rendimientos de biogás.

#### *Maíz*

El maíz es el sustrato más utilizado en las plantas agrícolas de biogás. Es particularmente conveniente debido a sus altos rendimientos de energía por hectárea y a la facilidad con la que se puede utilizar para la digestión en plantas de biogás.

#### *Ensilaje del cultivo íntegro de cereales (WCC)*

Casi todos los tipos de cereales, así como las mezclas de cereales, son convenientes para producir ensilaje de cultivos íntegros de cereales, siempre y cuando los cereales maduren al mismo tiempo.

#### *Granos de cereales*

Los granos de cereales son particularmente buenos para usarlos en plantas de biogás como suplemento del sustrato disponible. Gracias a sus rendimientos muy altos de biogás y a su rápida degradabilidad, los granos de cereales son especialmente útiles para el control preciso de la producción de biogás.

#### *Sustratos de la industria de procesamiento agrícola*

Los sustratos seleccionados de la industria de procesamiento agrícola, son todos sustratos o coproductos que surgen del procesamiento de plantas o partes de plantas. Sus propiedades principales las hacen particularmente convenientes para la producción de biogás, cuando las condiciones locales son apropiadas.

#### *Evolución de la materia orgánica*

El principal efecto observado al añadir residuos provenientes de la agricultura como cosubstrato a diferentes proporciones, fue el significativo aumento observado en la concentración de materia orgánica, tanto de sólidos totales y volátiles, como de DQO. El cosubstrato residuo agrícola aportó hasta 62% del total de los sólidos volátiles iniciales.

La mezcla de purín con residuo agrícola provocó un aumento del contenido en fibra total, pero, sobre todo, un aumento en la concentración del contenido de celulosa.

#### *Evolución de la producción de biogás*

La evolución de la producción acumulada de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> siguió una tendencia diferente en función de la cantidad de cosubstrato añadido y de la temperatura del ensayo. En general, la producción de metano aumentó, sobre todo en el rango mesofílico, pero en algún tratamiento la producción de metano resultó muy baja.

La digestión del residuo agrícola sin adición de purín fue viable debido a la alta caloría del mismo. Al comparar los índices de producción de metano sobre sólidos volátiles, las diferencias entre los tratamientos se atenuaron, ya que el principal efecto del aporte de cosubstrato sobre las características del sustrato fue el aumento de materia orgánica.

### **Experimento 4. Residuos agrícolas**

Se desarrolló un estudio de la mezcla de residuos de elaboración agrícola. Se estudió la variación en la composición inicial y final de una serie de parámetros, así como la evolución durante la digestión de la producción de gas.

#### *Evolución de la materia orgánica*

El principal efecto observado en la mezcla de residuos provenientes de la agricultura como cosubstrato a diferentes proporciones, a dos proporciones de relación de agua, fue el importante aumento observado en la concentración de materia orgánica, tanto en sólidos totales y volátiles, como de DQO.

La mezcla de residuos agrícolas provocó un aumento del contenido en fibra total, pero, sobre todo, un aumento en la concentración de celulosa.

#### *Evolución de la producción de biogás*

La evolución de la producción acumulada de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> siguió una tendencia diferente en función de la cantidad de cosubstrato añadido y de la temperatura del ensayo. En general, la producción de metano aumentó,

sobre todo en el rango mesofílico en la proporción 1:1, pero en algún tratamiento la producción de metano resultó muy baja.

La digestión del residuo agrícola sin adición de purín fue viable debido a la alta caloría del mismo. Al comparar los índices de producción de metano sobre sólidos volátiles, las diferencias entre los tratamientos se notaron tanto en mesofílico como en termofílico a favor de la relación 1:1, ya que el principal efecto del aporte de cosustrato sobre las características del sustrato fue el aumento de materia orgánica.

### **Experimento 5: Codigestion de purín de cerdo y mezclas de residuos agroindustriales**

Se realizó un estudio de la mezcla de purín de cerdo y mezclas de residuos agroindustriales. Se estudió la variación en la composición inicial y final de una serie de parámetros, así como la evolución durante la digestión de la producción de gas.

#### *Evolución de la materia orgánica*

El principal efecto observado en la mezcla de purín de cerdo y mezclas de residuos agroindustriales como cosustrato a diferentes proporciones a dos relaciones de agua, fue el importante aumento observado en la concentración de materia orgánica, tanto en sólidos totales y volátiles, como de DQO.

La mezcla de purín de cerdo con residuo agrícola e industrial provocó un aumento del contenido en fibra total, pero, sobre todo, un aumento en el contenido de la celulosa.

#### *Evolución de la producción de biogás*

La evolución de la producción acumulada de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> siguió una tendencia diferente en función de la cantidad de cosustrato añadido, de la relación carga/agua y de la temperatura del ensayo. En general, la producción de metano aumentó, sobre todo en el rango mesofílico, pero en los tratamientos en que se incrementa la relación carga/agua, resultó por debajo la producción de metano.

La digestión del residuo agroindustrial con la adición de purín de cerdo fue viable debido a la alta caloría del mismo. Al comparar los índices de producción de metano sobre sólidos volátiles las diferencias entre los tratamientos se atenuaron, ya que el principal efecto del aporte de cosustrato sobre las características del sustrato fue el aumento de materia orgánica.

## Conclusiones

1. La práctica de la codigestión en el tratamiento anaerobio de residuales es un proceso adecuado que permite alcanzar altas producciones de biogás sin el detrimento de la eficacia del proceso anaerobio. En el mundo existe una amplia experiencia en este tipo de proceso, lo que afirma su preferencia y continuo desarrollo.
2. Las tecnologías que se emplean en la codigestión no son extremadamente complejas, aunque no deben obviarse los problemas que pudieran generarse por toxicidad y sobrecargas en los digestores.
3. En Cuba se hace necesaria la difusión de las experiencias en la codigestión para su aplicación en aquellos lugares donde se compruebe su factibilidad técnica y económica, y de esta forma ayudar a preservar el medio ambiente.
4. El procedimiento aplicado a la investigación permite evaluar, desde una óptica económico financiera, proyectos para la obtención de mezclas óptimas en plantas de biogás.
5. La producción de biogás con mezclas óptimas contribuye a ser aprovechado económicamente todo residual orgánico que se genere para la obtención de biogás, lo que constituye una fuente renovable de energía y un importante ahorro de portadores energéticos.
6. Nuestro estudio revela que el proyecto resulta altamente atractivo desde el punto de vista financiero en las tres alternativas de mezclas que se evaluaron.
7. Los potenciales biológicos y los niveles de remoción de materia orgánica observados a nivel de laboratorio, coinciden plenamente con los expresados en la planta de biogás de la Empresa Genético Porcina, por lo que se puede afirmar que la simulación del proceso en minidigestores anaerobios alcanza un alto grado de acercamiento al proceso real.
8. El experimento 1 se toma como base para el análisis de los resultados de todos los experimentos, ya que en la empresa Genético Porcino de Cienfuegos se alimenta el digestor con excreta húmeda de cerdo en proporción 1:3 kg de masa por kg de agua.
9. En los 5 experimentos realizados quedó demostrado que con otros tipos de residuales, no solo con excreta porcina, las plantas de biogás pueden operar sin dificultad.
10. La composición de los residuos es fundamental para lograr una óptima mezcla de cantidad y calidad del resultado final.
11. La disminución de vertimientos de residuos en la Bahía de Cienfuegos, en la que cada año son vertidos 100 metros cúbicos de residual orgánico; a ello se suman los que arriban a través de la red hidrográfica, y además, 22 focos contaminantes que operan



directamente sobre dicho espacio marítimo; ya que de una forma u otra todo vertimiento de desechos en ríos o alcantarillados tienen como destino final la bahía, aumentando con ello su contaminación.

12. Para mezclas de excretas con dilución en agua, la temperatura debe oscilar a 28 °C; para residuos agrícolas diluidos en agua, mientras mayor sea la proporción de agua menor debe ser la temperatura, oscilando también en 28 °C; la excreta y los residuos agroindustriales diluidos en agua también presentan resultados favorables en una temperatura ambiente de 28 °C.

## Bibliografía

- ANGELIDAKI, I. Y B. K. AHRING (1997). «Anaerobic Digestion in Denmark. Past, Present and Future». III Curso de Ingeniería Ambiental, pp. 336-342, 1997.
- (1992). «Effects of Free Long Fatty Acids on Thermophilic Anaerobic Digestion». *Applied Microbiology and Biotechnology* 37 (6): 808-812, 1992.
- BRINKMAN, J. (1999) «Anaerobic Digestion of Mixed Waste Slurries from Kitchens, Slaughterhouses and Meat Processing Industries». *Proceedings of the II International Symposium on Anaerobic Digestion of Solid Waste*. Barcelona, pp. 190-191, 1999.
- CALLAGHAN, F. J.; D. A. J. WASE, K. THAYANITHY Y C. F. FORSTER (1999). «Codigestion of Waste Organic Solids: Batch Studies», *Bioresource Technology* 37, pp. 117-122, 1999.
- DAR, G. H. Y S. M. TANDON (1987). «Biogas Production from Pretreated Wheat Straw, Lantan Residue, Apple and Peach Leaf Litter with Cattle Dung», *Biological Wastes* 21, pp. 75-83, 1987.
- DESAI, M.; V. PATEL Y D. MADAMWAR (1994). «Effect of Temperature and Retention Time on Biomethanation of Cheese Whey-Poultry Waste-Cattle Dung». *Environmental Pollution* 83, pp. 311-315, 1994.
- DI PALMA, L.; F. MEDICI, C. MERLI Y E. PETRUCI (1999). «Optimising Gas Production in the Anaerobic Codigestion of the Organic Fraction of Solid Waste from Markets». *Proceedings of the II International Symposium on Anaerobic Digestion of Solid Waste*. Barcelona, pp. 84-189, 1999.
- FLOTATS, X.; A. BONMATÍ, E. CAMPOS Y M. ANTÚNEZ (1999). «Ensayos en discontinuo de codigestión anaerobia termofílica de purines de cerdo y lodos residuales». *Información tecnológica* 10 (1): 79-85, 1999.
- GALBRAITH, H.; T. B. MILLER, A. M. PATON Y J. K. THOMPSON (1971). «Antibacterial Activity of Long Chain Fatty Acids and the Reversal with Calcium, Magnesium, Ergocalciferol y Colesterol». *Journal of applied Bacteriology* 34 (4): 803-813, 1971.
- GAVALA, H. N.; I. V. SKIADAS, N. A. BOZINIS Y G. LYBERATOS (1996). «Anaerobic Codigestion of Agricultural Industries' Wastewaters». *Water*

- Science and Technology* 34 (11): 67-75, 1996.
- GUZMÁN CHINEA, JESÚS M. Proyecto investigación: «Diseño y análisis de reactores discontinuos». Universidad de Cienfuegos. Cuba, 2013.
- (2013). Conferencia: «Sistema de reacciones múltiples». Universidad de Cienfuegos. Cuba, 2013.
- (2013). Proyecto investigación: «Analizar un reactor homogéneo típico y valorar su comportamiento ante cambios en las variables de operación». Universidad de Cienfuegos. Cuba, 2013.
- (2013). «Digestión anaerobia. Proyecto de investigación y desarrollo, Empresa Genético Porcina». Cienfuegos. Cuba, 2013.
- (2014). «Reactores Anaerobios». Editorial Académica Española, 2014.
- (2014). «Optimización de la digestión anaerobia en reactores». Editorial Académica Española, 2014.
- HAMZAWI, N.; K. J. KENNEDY Y D. D. MCLEAN (1998). «Anaerobic Digestion of Co-Mingled Municipal Solid Waste and Sewage Sludge». *Water Science and Technology* 38 (2): 127-132, 1998.
- HANAKI, K.; T. MATSUO Y M. NAGASE (1981). «Mechanism of Inhibition Caused by Long-Chain Fatty Acids in Anaerobic Digestion Process». *Biotechnology and Bioengineering* 23, pp. 1591-1610, 1981.
- HANSEN, K.; I. ANGELIDAKI Y B. K. AHRING (1998). «Anaerobic Digestion of Swine Manure: Inhibition by Ammonia». *Water Research* 32 (1): 5-12, 1998.
- HWU, C. S.; B. DONLON Y G. LETTINGA (1997). «Acute Toxicity of Oleate to Acetate-Utilizing Methanogens in Mesophilic and Thermophilic Anaerobic Sludges», *Enzyme and Microbial Technology* 21, pp. 297-301, 1997.
- KOSTER, I. Y A. CRAMER (1987). «Inhibition of Methanogenesis from Acetate in Granular Sludge by Long Chain Fatty Acids». *Applied and Environmental Microbiology* 53 (2): 403-409, 1987.
- WONG, M. H. (1990). «Anaerobic Digestion of Pig Manure Mixed with Sewage Sludge», *Biological Wastes* 31, 223-230, 1990.

## **Papa agroecológica: una contribución a la seguridad alimentaria de la población cubana**

### **Organic potato: a contribution to the food security of the Cuban population**

*Por Ing. Santo Ricardo Corrales\*, Dr. Servelio Quintero\*\*,  
Esp. Crescencio R. Pérez\*\*\* y Lic. Laura Aguilar Veloz\*\*\*\**

*\* Productor independiente, Cuba.*

*\*\* Instituto Nacional de Investigaciones Fundamentales  
de la Agricultura Tropical (INIFAT), Cuba.*

*\*\*\* CCS-F Orlando López González, Arroyo Arenas, Cuba.*

*\*\*\*\* Museo Nacional de Historia Natural de Cuba, MNHNC,  
La Habana, Cuba.*

*e-mail: laura@mnhnc.inf.cu*

### **Resumen**

Es imposible hablar de cultura alimentaria, de la calidad e inocuidad de los alimentos, si no consideramos la forma y los métodos utilizados para su obtención, desde la siembra de los cultivos, hasta su recolección y procesamiento. Ante las evidencias de desequilibrio biológico provocadas por las prácticas de la Revolución Verde, se impone en la agricultura cubana el uso de las técnicas agroecológicas, con vistas a garantizar la sustentabilidad alimentaria y la salud del pueblo. El presente trabajo expone los resultados de un proyecto, cuyo objetivo consistió en lograr que 100 000 productores cultivaran papa agroecológica en 50 000 hectáreas, sin la utilización de productos químicos y a partir de semillas botánicas, método actualmente utilizado por los mayores productores internacionales, que supera a los empleados en nuestro país desde el punto de vista técnico y económico. La prueba piloto se desarrolló en una cooperativa de Güira de Melena, provincia de Artemisa, entre enero y abril de 2014, con vistas a lograr rendimientos de 10-12 t/ha, mediante la aplicación solo de compost, humus sólido y líquido, microorganismos eficientes y extractos de plantas con efecto insecticida. Fueron obtenidas alrededor de 13 t/ha de papa agroecológica, resultado considerado como altamente significativo por el Movimiento de la Agricultura Urbana y las organizaciones políticas del municipio y de la provincia, por constituir una alternativa de generalización para el aseguramiento de la seguridad alimentaria, al potenciar las posibilidades de contar más a menudo en nuestro plato con una papa sana y con calidad, como apoyo a la diversificación de la culinaria cubana.

**Palabras clave:** Papa agroecológica, agroecología, semilla botánica, seguridad alimentaria

## **Abstract**

It is impossible to talk about food awareness, quality and safety of food, if we do not consider the methods used to obtain it, from planting the crops, to harvesting and processing. Given the evidence of biological imbalance caused by the practices of the Green Revolution, it is necessary to implement organic techniques in the Cuban agriculture, in order to guarantee food sustainability and the health of the people. The current paper presents the results of a project, whose objective was to get 100 000 farmers to grow organic potato in 50 000 hectares, without the use of chemical products and from botanical seeds, a method currently used by the largest international producers, which exceeds the ones implemented in our country from the technical and economic points of view. The pilot test was developed at a cooperative in Güira de Melena, province of Artemisa, between January and April 2014, with the goal to achieving yields of 10-12 t/ha, through the application only of compost, solid and liquid humus, efficient microorganisms and plant extracts with insecticidal effect. Approximately 13 t/ha of organic potato were obtained, a result considered highly significant by the Urban Agriculture Movement and the political organizations of the municipality and the province, as an alternative to generalization for the assurance of food security, enhance the possibilities of having a healthy and quality potato more often on our plate, as a support to the diversification of Cuban cuisine.

**Keywords:** Organic potato, agroecology, botanical seed, food security

## **Introducción**

Es imposible hablar de cultura alimentaria, de calidad e inocuidad de los alimentos, si no consideramos la forma y los métodos utilizados para su obtención, desde la siembra de los cultivos, hasta su recolección y procesamiento [Kolmans y Vázquez, 1995]. Según Pianesi [2007]: «Quien trabaja la tierra tiene una tarea sagrada (desde la preparación, hasta la cosecha) de respeto de la vida de todos»; mientras que «quien cocina tiene la responsabilidad ética y moral de preparar alimentos que proporcionen salud».

Para nadie es secreto que la Revolución Verde, aplicada en la segunda mitad del siglo xx, agredió a la humanidad, de cuya influencia la agricultura cubana no quedó exenta; a causa entre otros factores, por el uso de sustancias tóxicas que favorecieron el deterioro de los suelos, el desequilibrio de los sistemas biológicos, la contaminación de las aguas subterráneas y el consumo de alimentos no inocuos, en detrimento de la salud humana. Hoy, las evidencias científicas demuestran las ventajas de los métodos agroecológicos practicados por la agricultura familiar, para

mejorar la producción de alimentos sanos y con calidad [Kolmans y Vázquez, 1995; Novo, 2002].

Entre los alimentos de mayor demanda por la población cubana se incluye la papa, que constituye el cuarto cultivo más importante del mundo, al ser consumido por más de mil millones de personas. Se produce en alrededor de 140 países con una producción mundial de 325 millones de toneladas y aunque fue declarado que «la papa está en primera línea en la lucha contra el hambre y la pobreza en el mundo», no resulta asequible a todos, ni de igual manera [FAO, 2008].

La papa es considerada como un alimento complementario, pero versátil, al constituir fuente de calorías por su alto contenido de carbohidratos (20%), poseer micronutrientes, cierto contenido de proteínas mayor al de otros tubérculos (2%), poca grasa (0,1%); vitaminas C y del complejo B: tiamina (0,106%), riboflavina (0,02%) y niacina (1,44%). Es beneficiosa para mejorar la circulación, la absorción del hierro y de otros minerales, disminuir el colesterol, enfrentar los resfriados, etc. Pero su popularidad a nivel internacional se debe fundamentalmente a la versatilidad que aporta a la culinaria familiar, para la preparación de diversas recetas en las que podemos degustarla recién cosechada, asada, frita, cocinada solo en agua y sal, y acompañada de otros alimentos, como carne, huevos, diversos vegetales, cereales, etc., los cuales aumentan el valor nutritivo de las recetas, en dependencia del modo de preparación. Es decir, el secreto de su éxito radica en su diversidad. Por ejemplo, en Perú, cuna de la papa, una ensalada de papas puede contar con tres o cuatro tipos diferentes, de distintos colores y sabores, bien diferenciados [Torres, 2011; FAO, 2012].

La papa fue un cultivo de tradición entre nuestros campesinos, cuenta con altos rendimientos por unidad de área en un corto espacio de tiempo, y posee la posibilidad de almacenaje en frío. En Cuba, durante la última década la producción de papa se ha caracterizado por inestabilidad e insatisfacción de la demanda, dependencia de agrotóxicos de elevados costos para el suplemento de fertilizantes y para el control de enfermedades y plagas [Medina y Reyes, 2013]. Es por ello que se impone la necesidad de buscar alternativas de producción y nutrición más eficientes, menos costosas y más amigables con el medio ambiente. En este sentido, la papa agroecológica u orgánica está despertando gran interés, por su importancia para la seguridad alimentaria y su bajo consumo de insumos, que la convierten en una variante económica y sana [Medina y Reyes, 2013].

Por otra parte, se conoce que la siembra tradicional de papa requiere enterrar tubérculos comestibles para que se multipliquen, en el orden entre 7 a 12 veces, lo que implica un gasto de cerca de 30% del costo de

producción. Además de esto, las papas comerciales que el mundo desarrollado produce están «acostumbradas» a la adición de productos tóxicos (fertilizantes químicos) para «protegerse», práctica que funciona como una especie de trampa («mientras más pura y buena es la papa, más necesita para su protección»). En la búsqueda de una solución a esto, desde 1978 el Centro de Investigaciones de la Papa (CIP), de Perú, estableció el uso de la semilla botánica o TPS (*True Potato Seed*) para la producción, método actualmente empleado por varios países de América Latina, como Chile, Nicaragua, Colombia, República Dominicana, etc., y extendido a países asiáticos líderes de la producción de papa a nivel internacional, como China e India, entre otros [Chaudhujuri, et al., 1990; Cabello, 1994; FAO, 1995; Rodríguez, 1997; Torres, 2002]. *A priori* el uso de esta técnica en Cuba podría superar a otros métodos empleados y evaluados en el país, tanto desde el punto de vista técnico, como económico.

El presente trabajo expone los resultados de un proyecto, cuyo objetivo consistió en lograr que 100 000 productores cultivaran papa agroecológica en 50 000 hectáreas, sin la utilización de productos químicos y a partir de semillas botánicas.

## **Materiales y métodos**

La prueba piloto se desarrolló en una cooperativa de Güira de Melena, provincia de Artemisa, entre enero y abril de 2014, sobre la base de la Carta Tecnológica, anteriormente elaborada, con la aprobación de la Dirección Nacional de Cultivos Varios, del Ministerio de la Agricultura. Se aplicaron procedimientos distintivos para la preparación del suelo, el tratamiento de las semillas y del cultivo como tal, los cuales se destacan a continuación:

**Tratamiento de las semillas:** Con vistas a lograr un brote uniforme y rápido, antes de la siembra las semillas fueron tratadas con ECOMIC (INCA), mezclado con microorganismos eficientes (ME), obtenidos por fermentación artesanal en la cooperativa CCS-F Orlando López González, del municipio de Arroyo Arenas.

**Preparación de bioplaguicidas y biofertilizantes:** Previamente se fabricaron de forma artesanal extractos de plantas (tabaquina, nim, cáscaras de naranja), para el tratamiento de plagas de áfidos y mosca blanca.

Se utilizó humus líquido enriquecido con potasio vegetal (a partir de hojas de plátano y moringa). Se aplicó además humus sólido de lombriz (5 t) enriquecido con ME para garantizar aporte de minerales (nitrógeno, fósforo,

potasio y magnesio), adicionando además trazas de hierro, cinc, cobre, calcio, etcétera.

Se realizaron, además, aplicaciones de compuestos cúpricos y de azufre, productos aceptados en la agricultura orgánica y agroecológica, para el tratamiento de manchas de tizón tardío, reforzado con ME.

## **Resultados y discusión**

El trabajo comenzó desde el 2013, con vistas a desarrollar una tecnología de producción de la papa agroecológica, mediante el uso de la semilla botánica y métodos agroecológicos, en las condiciones de clima cálido de nuestro país, sin la aplicación de fertilizantes químicos y plaguicidas tóxicos. El trabajo estuvo dirigido a sembrar 50 000 ha, por 100 000 productores, dentro de un sistema de agricultura familiar, con vistas a obtener entre 10-12 t/ha del tubérculo para consumo.

En general, a nivel internacional para el uso de la semilla botánica se cuenta con una tecnología conocida para la reproducción, que por ser de amplio empleo en hortalizas, como el tomate, el pimiento y la cebolla, donde existe la práctica de hacer semilleros, es de fácil aplicación por los productores [Chaudhuri, et al., 1990; Cabello, 1994; FAO, 1995; Rodríguez, 1997; Torres, 2002].

En cuanto a la obtención de las semillas botánicas, es importante destacar que en nuestras condiciones fue posible establecer una metodología (información en proceso de protección), para contar con semillas libres de virus, lo que constituye una solución a uno de los problemas más álgidos que atenta contra el rendimiento de este cultivo [García y Fernández-Northcole, 1990]. Consideramos el uso de semillas sexuales o botánicas de la papa, como un método ventajoso en el contexto de la agricultura familiar, en comparación con otros métodos biotecnológicos empleados o recomendados con anterioridad en nuestro país, como la micropropagación y el cultivo tisular, cuyo uso requiere personal más calificado, con un mayor conocimiento de la fisiología, virología y la genética de la papa.

El ciclo completo del cultivo duró 88 días. De forma general cada planta produjo alrededor de 7 tubérculos, con un peso promedio de 417 gramos por planta. Se alcanzó un rendimiento de 12,95 t/ha, de los cuales 94% resultaron tubérculos comestibles y 6% quedaron para semillas. Estos resultados fueron posibles a pesar de presentarse contratiempos con la preparación de los suelos, tiempo de plantación, funcionamiento del sistema de riego y carencia de insumos locales [Santos, 2013].

La papa es uno de los cultivos que demanda mayor cantidad de fertilizantes químicos para su nutrición. En Cuba, durante las últimas décadas se ha

hecho tradición en cada campaña el uso de un paquete tecnológico que incluye diversos tipos de fertilizantes químicos, en su mayoría importados, que implican alrededor de 30% del costo total de la siembra, sin tener en cuenta además el impacto desfavorable sobre el medio ambiente [Medina y Reyes, 2013]. Actualmente dichos autores cuentan con un sistema de producción de papa orgánica desarrollado en la Estación Indio Hatuey, provincia de Matanzas, que según refieren presenta un costo de producción que representa 50% del de la producción tradicional, pero con el empleo aún de cierto nivel de fertilizantes químicos y de cantidades elevadas de sustancia orgánica, alrededor de 30 t/ha o superiores, lo que a nuestro criterio resulta inoperante en la práctica.

Sobre la base disponible acerca de estos sistemas, podemos afirmar que el uso de la papa agroecológica es superior en cuanto a su relación costo-beneficio, al garantizar costos de producción inferiores a 50% del costo del sistema tradicional, mayor volumen de empleo para la población local, y evitar por completo el uso de agroquímicos, asegurando una mejor relación con el medio ambiente. Dicho resultado fue considerado como altamente significativo por la Dirección de Agricultura Urbana y las organizaciones políticas del municipio y de la provincia. Si se mantiene o supera este rendimiento, se podrían producir más de 645 000 toneladas de papa, cifra tentadora si tenemos en cuenta que el record nacional del año 2000 fue de 370 000 toneladas.

Dichos resultados demuestran la posibilidad que brindan las prácticas agroecológicas, sobre todo en países menos desarrollados, por resultar más económicas y eficientes desde el punto de vista energético y más saludables para el medio ambiente y el consumidor, con vistas a la obtención de alimentos de calidad con gran demanda por la población, como es el caso de la papa [Kolmans y Vázquez, 1995; Novo, 2002].

Recientemente, ha sido oficializado el Grupo Agroecológico por la dirección del Ministerio de la Agricultura, con vistas a contribuir a la generalización de los resultados obtenidos en esta prueba piloto, teniendo en cuenta su importancia para el desarrollo de la agricultura familiar y el reconocimiento del productor cubano.

La obtención de papa agroecológica constituye una alternativa para asegurar la seguridad alimentaria de los cubanos, al potenciar las posibilidades de contar más a menudo en nuestro plato con una papa sana y con calidad, y a un precio asequible, con vistas a la diversificación de la culinaria cubana.



## Conclusiones

- El empleo de las prácticas agroecológicas resulta más económico y eficiente desde el punto de vista energético y más saludable para el medio ambiente y el consumidor, al propiciar la obtención de alimentos de calidad, de gran demanda por la población, como la papa.
- El desarrollo de una metodología para la obtención de semilla botánica de papa, libre de virus y en condiciones cubanas, constituye una solución a uno de los problemas más álgidos, que atenta contra el rendimiento de este cultivo.
- La obtención de papa agroecológica constituye una contribución a la seguridad alimentaria de los cubanos, al potenciar las posibilidades de contar en nuestro menú con una papa sana y de calidad, como aporte a la diversificación de nuestra cultura culinaria.

## Recomendaciones

- Asegurar las condiciones para la preparación en tiempo de los suelos, la plantación de las semillas, funcionamiento del sistema de riego y disponibilidad de insumos locales para realización de otras producciones.
- Realizar la caracterización organoléptica de la papa agroecológica obtenida, en función de asegurar su calidad.

## Bibliografía

- CABELLO, R. (1994). Producción de semilla botánica de papa. Manual de producción de semilla botánica. Perú: 1994.
- CHAUDHURI, S., et al. (1990). Production of Hybrid TPS in Tripura. India: 1990.
- FAO (2012). Nueva luz sobre un tesoro enterrado: papa. España: 2012.
- FAO (2008). Dinámica del mercado de la papa. Roma: 2008.
- FAO (1995). Producción de papa a partir de semilla sexual. Curso Audiovisual. Roma: 1995.
- GARCÍA, E. Y E. N. FERNÁNDEZ-NORTHCOLE (1990) Effect of Resistance to Viruses in the Delay of Potato Degeneration. Edimburgo, Escocia: 1990.
- KOLMANS, E. Y D. VÁZQUEZ (1995). *Manual de Agricultura Ecológica*. Bécica-Cuba: 1995.
- MEDINA, R. Y F. REYES (2013). Resultados obtenidos en el desarrollo de la papa (*Solanum tuberosum*, L.) en condiciones de nutrición y fotoprotección orgánica. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos, SUM Perico Dora Alonso y EEPF Indio Hatuey, 2013.

- NOVO, R. (2002). Los biofertilizantes y la biofertilización. Curso Internacional de Microbiología del suelo. Quito: 2002.
- PIANESI, M. (2007). Un manual de alimentación. Macerata, Italia: Ediciones LÇHI, 2007.
- RICARDO, S. (2013). «La papa agroecológica en Cuba», en *El Artemiseño*, abril, 2013.
- RODRÍGUEZ, J. M. (1997). *Resultados y perspectivas de la producción de papa a partir de semilla botánica en la República de Cuba*. Cuba: 1997.
- TORRES, F. (2002). Tecnología y diversidad de papa en trópicos cálidos-semilla sexual (botánica). Perú: 2002.
- TORRES, F. (2011). La papa: componente principal de sistemas alimentarios en los Andes. Perú: 2011

## Por una Universidad de las Ciencias Informáticas más sustentable

### For a more sustainable University of Information Sciences

*Por Arq. Nataly González Milián\*,  
Arq. Elizabeth Rodríguez García\*, Arq. Mónica Llovet Salazar\*  
y Dra.Cs. Arq. Dania González Couret\*\**

*\* Diplomantes del Instituto Superior Politécnico  
José Antonio Echeverría (ISPJAE), Cuba.*

*\*\* Profesora del ISPJAE, Cuba.*

*e-mail: [danial@arquitectura.cujae.edu.cu](mailto:danial@arquitectura.cujae.edu.cu)*

### Resumen

En Cuba no se comprende con profundidad la importancia del diseño arquitectónico y urbano para la aplicación de un modelo de desarrollo sustentable. Se pretende demostrar cómo es posible mejorar la sustentabilidad del medio construido, mediante propuestas de transformación simples y económicas, tomando como objeto de estudio la Universidad de Ciencias Informáticas (UCI). Se realizó un diagnóstico cualitativo urbano para definir las principales estrategias de actuación. Las propuestas son progresivas, de mínima intervención y máximo impacto, entre las que se encuentran: rezonificación por facultades para disminuir recorridos, uso de transporte alternativo como bicicletas y microbuses de energía cero, incorporación de nuevos servicios, aprovechamiento de fuentes renovables de energía, y creación de un parque ecológico con humedal para el tratamiento de aguas grises. A partir del diagnóstico urbano se seleccionan los edificios con mayores problemas para soluciones basadas en evaluaciones cualitativa y cuantitativa.

**Palabras clave:** Sustentabilidad, Ciudad Universitaria, energía, diseño bioclimático

### Abstract

The importance of architectural and urban design for the application of a sustainable development model is not fully understood In Cuba. The purpose of this paper is to demonstrate how it is possible to improve the sustainability of the built environment, through simple and economic transformations, taking the University of Computer Sciences (UCI) as a case study. An urban qualitative diagnosis was carried out in order to define the main strategies of action. The proposals are progressive, minimal intervention and maximum impact, among which are: rezoning by faculties to reduce travelled distances, use of alternative transport such as bicycles and minibuses of zero energy, incorporation of new services, introduction of

renewable energies, and creation of a green park with a wetland for gray water treatment. From the urban diagnosis, the buildings with the greatest problems are selected for solutions based on qualitative and quantitative evaluations.

**Keywords:** Sustainability, University City, energy, bioclimatic design

## **Introducción**

El desarrollo sustentable constituye la única alternativa posible para la supervivencia del planeta, en la que el medio construido juega un rol decisivo en el logro de este principio. Su dimensión ambiental se encamina a mitigar los efectos negativos de la acción contaminante y destructora de la sociedad, promoviendo la adaptación a los cambios progresivos del clima. Cuba, un país pequeño, con escasos recursos ha ganado reconocimiento por las acciones dirigidas hacia un desarrollo más sustentable. Existe una conciencia sobre la necesidad de incrementar el empleo de fuentes renovables de energía y reducir el consumo. Sin embargo, en las medidas tomadas para dar respuesta a estas demandas se aprecia la escasa comprensión sobre el rol del diseño arquitectónico y urbano para alcanzar tales propósitos, a pesar del conocimiento acumulado sobre la temática.

Aprovechando la experiencia ganada se demostrará cómo pueden obtenerse resultados positivos a partir de una adecuada intervención en el medio construido, proponiendo soluciones factibles. Para ello se ha tomado como objeto de estudio la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI), por ser, según el Comité Técnico de Normalización de Diseño Bioclimático y Sustentable (CTN-40), el segundo consumidor energético más alto del país después de Antillana de Acero. El diagnóstico y las propuestas presentadas a lo largo del escrito se basan en el sistema de tres tesis de diploma, desarrollado por las estudiantes N. González, E. Rodríguez y M. Llovet [González, 2013; Rodríguez, 2013, y Llovet, 2013], sobre arquitectura sustentable en clima cálido húmedo. Aunque el estudio fue realizado a escala urbana y arquitectónica, en el presente artículo se aborda y profundiza solamente en el diagnóstico y la propuesta urbana.

## **Métodos**

Se realizó un diagnóstico integral a escala urbana de la UCI sobre la base de siete variables urbanas identificadas como objeto de estudio, extraídas del método de evaluación «Leadership in Energy and Environmental Design» (LEED) [Kubba, 2010]: sustentabilidad del sitio, eficiencia en el uso del agua, energía y atmósfera, materiales y recursos, calidad ambiental

interior, innovación en el diseño y prioridades regionales. Cada una abordada y ampliada a través de diferentes parámetros.

Con vistas a recoger la información necesaria para el análisis se llevó a cabo un extenso trabajo de campo, mediante la observación directa de la realidad, la realización de mediciones y el desarrollo de entrevistas y encuestas a estudiantes, profesores y funcionarios de la universidad. Teniendo en cuenta los problemas identificados en el diagnóstico, así como los principios y buenas prácticas extraídos de la consulta bibliográfica y el estudio de casos internacionales, se elaboraron propuestas de transformación urbana para mejorar la sustentabilidad de la UCI.

A partir del diagnóstico general se detectaron además los tres edificios con mayores problemas, fundamentalmente ambientales y energéticos: docentes No. 3, No. 5 y No. 6. La evaluación inicial de cada uno se realizó de forma cualitativa a partir de las 5 variables del diseño arquitectónico que influyen en el consumo de energía en las edificaciones, seleccionadas de la tesis de Rueda [2003], así como los parámetros e indicadores para su consideración. Estas variables son: volumetría, espacio y cierres (cubiertas, paredes y vanos).

Todo esto permitió identificar los posibles problemas ambientales y energéticos, que se verificaron con evaluaciones cuantitativas (mediciones con data loggers tipo HOBO y simulaciones con los programas ECOTEC y Energy Plus). Finalmente se elaboraron las propuestas de transformación de los edificios para mejorar el confort térmico interior, la iluminación y al mismo tiempo reducir el consumo energético.

### **Diagnóstico general de la UCI**

La Universidad de Ciencias Informáticas (UCI) fue inaugurada en el 2002. Se ubica en el sitio donde se encontraba el antiguo reformatorio o asilo de Torrens, fundado en 1942 como una cárcel de menores y donde posteriormente, en 1964, se estableció la base de radares pasivos de escucha «Lourdes», perteneciente a la URSS. Por tanto, el proyecto y concepción de la UCI está condicionado por esas preexistencias. El plan general, en seis etapas, fue elaborado por la EMPROY-2, e incluye diferentes zonas: infraestructura productiva, residencias, docentes, zona verde, de reserva, deportiva, logística y zona central.

El diagnóstico general inicial de la UCI, que se realiza sobre la base de las variables del LEED definidas [Kubba, 2010], tiene como objetivo identificar los principales problemas y potencialidades de la universidad atendiendo a: transporte y accesibilidad, servicios, sistema verde, manejo del agua,

energía y desechos sólidos, para proponer soluciones de intervención más sustentables.

### *Accesibilidad y transporte*

La UCI se localiza al suroeste de Ciudad de La Habana, en el kilómetro 2½ de la Carretera a San Antonio de los Baños, perteneciente al municipio de la Lisa, alejada de la ciudad. Además, la red de transporte que la conecta es insuficiente, por lo que el acceso a ella resulta difícil. Cuenta con ómnibus para el transporte de profesores, trabajadores y estudiantes del centro, pero en horarios muy limitados de entrada y salida.

La movilidad interna se efectúa fundamentalmente de forma peatonal y las distancias a recorrer son extremadamente largas, por caminos poco sombreados, con presencia escasa o casi nula de arbolado, áreas con exceso de pavimento y ausencia de estructuras de protección solar. La universidad está dividida por facultades, donde cada una tiene definida su área de residencia, docencia y comedor. La zonificación por facultades es inadecuada, lo cual provoca que se incrementen los extensos recorridos (Fig. 1 y Tabla 1), a lo cual se suma que no transita ningún medio de transporte alternativo interno para atenuar las caminatas.



*Fig. 1. Zonificación y recorridos peatonales internos.  
Fuente: Llovet, 2013.*

*Tabla 1. Distancias a recorrer peatonalmente en la UCI*

Facultad	Residencia Docente	Docente Comedor	Comedor Residencia
1	900-950	650	450
2	600	10	400
3	700-850	250	500
4	1050	800	300
5	700	650	400
6	800	500	100-300
7	450	500	600

### *Servicios*

La distribución de la infraestructura de servicios se considera mal equilibrada. La mayoría de los servicios se concentran en la zona residencial, que fue rehabilitada y refuncionalizada en la primera etapa de desarrollo de la universidad, alrededor de la Plaza Wifredo Lam (Centro Cultural), quedando otras áreas desprovistas en su totalidad de equipamientos y servicios (Fig. 2), lo cual condiciona un aumento de la distancia a recorrer por los residentes.



Fig. 2. Plano de servicios.  
Fuente: Llovet, 2013.

Por otro lado, las instalaciones en las que se ubican la mayoría de los servicios son apartamentos adaptados que no cumplen con los requerimientos necesarios para cada tipo de actividad. A partir de las encuestas realizadas se concluyó que los servicios más insuficientes eran los de recreación y gastronomía.

#### *Sistema verde*

En el proyecto y concepción de la UCI se aprecia una intención por conservar al máximo la vegetación existente (Fig. 3). Sin embargo, hay un gran potencial desaprovechado, como la franja verde central que delimita parte del área de residencias con respecto a la zona de edificios docentes, donde no se desarrolla ninguna función (Fig. 4).





Fig. 3. Fotos aéreas de antes y después de la construcción de la UCI.  
Fuente: Google, consultada en 2013.



Fig. 4. Plano de vegetación de la UCI.  
Fuente: González, 2013.

La relación entre áreas verdes (49%) y zonas pavimentadas o edificadas es equilibrada, aunque estos espacios en su mayoría constituyen césped sin arbolado. Las áreas públicas como plazas, parques y parqueos tampoco presentan un diseño adecuado de la vegetación. Los casos más críticos, por las extensas superficies pavimentadas expuestas al sol, son la Plaza Niemeyer (Fig. 5) y el parqueo aledaño a la plaza.



*Fig. 5. Plaza Niemeyer.  
Fuente: González, 2013*

#### *Manejo del agua*

El consumo de agua en la UCI sobrepasa lo normado de 3 200 m<sup>3</sup> diarios, y se paga a un precio mayor [Gómez, 2013]. Para el tratamiento de las aguas residuales se divide en dos zonas: sur y norte. La sur vierte los desechos en tres lagunas de oxidación y la norte hacia una planta de tratamiento que ha presentado problemas de funcionamiento y en la cual no se concibió la reutilización del agua residual tratada (Fig. 6). Por otro lado no existen consideraciones para el manejo del agua en el paisaje. No se cuenta con sistemas de riego de áreas verdes, ni se aplican métodos para la recolección del agua pluvial y su posterior reúso.

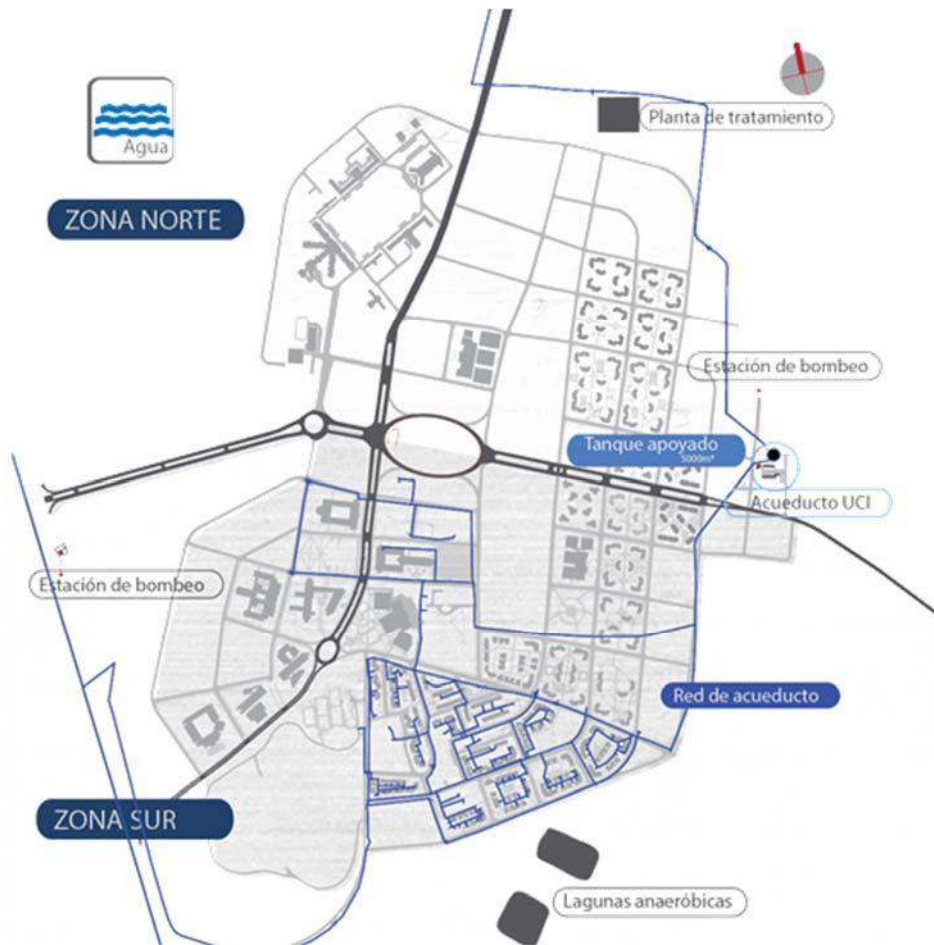


Fig. 6. Plano del manejo del agua en la UCI.  
Fuente: González, 2013.

### Energía

Debido a la gran inestabilidad del fluido eléctrico, dentro de la universidad se instalaron 44 grupos electrógenos que requieren suministro de combustible diario y afectan la imagen de la universidad (Fig. 7). Según datos proporcionados por el especialista Manuel Fernández [2013], el consumo energético es muy elevado (entre 50 y 60 MW diarios en dependencia de la temperatura).



Fig. 7. Plano de grupos electrógenos.  
Fuente: Rodríguez, 2013.

Sin duda, la ubicación de la UCI en una zona periférica de la ciudad, rodeada por extensas áreas abiertas sin obstáculos, constituye un importante potencial para el aprovechamiento de la energía solar y eólica.

#### *Desechos sólidos*

Para la gestión de los desechos sólidos dentro de la universidad se tienen contratos con las empresas de Comunales y Porcina. Además, existe un grupo de higiene interno para recoger contenedores adecuadamente distribuidos, limpiar las calles y chapear áreas verdes. No está organizada la colección clasificada de los desechos; sin embargo, hay una propuesta de la Sociedad Cubana para la Promoción de las Fuentes Renovables de Energía y el Respeto Ambiental (Cubasolar), fundada en 1994, de instalar



biodigestores para utilizar la fracción orgánica en la generación de biogás y alimentar los grupos electrógenos.

### Resumen del diagnóstico

En el gráfico de la figura 8 se resumen los principales problemas y potencialidades identificados en el diagnóstico integral realizado, a partir del cual también se precisaron los tres edificios con principales problemas ambientales y energéticos. El diagnóstico y las propuestas de transformación de esos edificios estudiados no son objeto de atención del presente artículo.



Fig. 8. Plano resumen de principales problemas y potencialidades de la UCI.  
Fuente: González, 2013; Rodríguez, 2013, y Llovet, 2013.

Los resultados del diagnóstico reflejan la falta de integralidad de los procesos desde el planeamiento hasta el manejo y la gestión.

### **Propuestas de intervención**

A partir del diagnóstico urbano y arquitectónico presentado se elaboraron las variantes de intervención, que fueron valoradas y discutidas con especialistas. Las propuestas urbanas son progresivas, de mínima intervención y máximo impacto. Se establecieron tres plazos de ejecución (corto, mediano y largo plazos).

#### *Accesibilidad y transporte*

Para contribuir a conectar más la UCI con el resto de la ciudad y mejorar así la accesibilidad, una posible solución a mediano plazo sería la modificación de la línea del ferrocarril más cercana a la universidad.

Igualmente se plantea como solución a corto plazo una reordenación de la actual zonificación (Fig. 9) para reducir las largas distancias internas a recorrer peatonalmente, insertando arbolado en los caminos peatonales. Se propone adicionalmente incluir un sistema de transporte interno automotor, utilizando en un inicio los mismos ómnibus que transportan a trabajadores y profesores, los cuales podrían ser sustituidos posteriormente por vehículos que funcionen por medio del aprovechamiento de energías renovables (Fig. 10). Se ubicaron paradas en los lugares más representativos de la urbanización, sobre la base de no recorrer más de 200 m para llegar a ellas (Fig. 11). Complementa esta solución una infraestructura de ciclos con puntos de recogida y almacenamiento en cada manzana de residencia, edificio docente y comedor (Figs. 12 y 13).



Fig. 9. Plano de propuesta de nueva zonificación y recorridos.  
Fuente: Llovet, 2013.

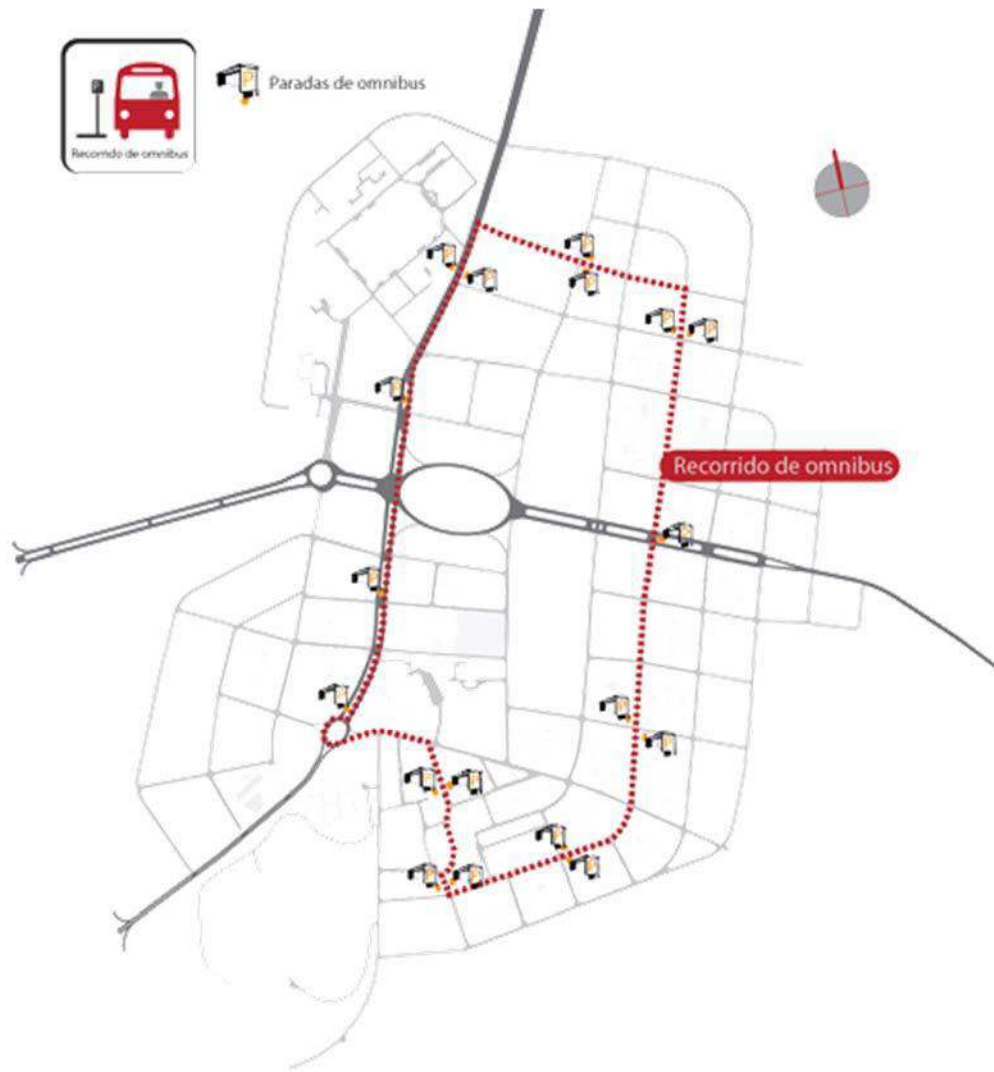


Fig. 10. Plano de propuesta de recorridos internos de los buses.  
Fuente: Llovet, 2013.





*Fig. 11. Paradas de los buses.  
Fuente: Llovet, 2013.*



*Fig. 12. Plano de puntos de paradas de bicicletas.  
Fuente: Llovet, 2013.*



*Fig. 13. Estacionamientos de bicicletas.  
Fuente: Llovet, 2013.*

#### *Servicios*

Como los principales problemas radican en la centralización de los servicios, así como en la insuficiencia y calidad de las instalaciones, se propone desarrollar un centro adicional de servicios en las dos manzanas que se ubican delimitando el vial principal este-oeste. En esta área se incorporarían: cine-teatro, sala de juegos, cibercafé y un complejo de tiendas.

También se mejorará el ambiente visual en espacios públicos ya existentes como el Centro Cultural Wifredo Lam y su plaza, que se reanima con la incorporación de elementos escultóricos, mobiliario, señalética y gráficas urbanas (Fig. 14).



*Fig. 14. Reanimación del centro cultural Wifredo Lam.  
Fuente: Llovet, 2013.*

#### *Sistema verde*

Para aprovechar todo el potencial verde en la UCI se propone la creación de un parque ecológico, que incorpore arbolado de diferentes especies, plazas de estancia y recreación, áreas de cultivos, estructuras con paneles fotovoltaicos y un humedal para el tratamiento de las aguas grises y su posterior reúso (Figs. 15 y 16).



Fig. 15. Plano de propuesta de vegetación y parque ecológico.  
Fuente: González, 2013.



*Fig. 16. Parque ecológico en franja verde central.  
Fuente: González, 2013.*

Deberá incorporarse arbolado [Ferro, 1988 y 2011] en todos los espacios públicos desprotegidos, como parterres, separadores de avenidas de primer orden, jardines e interiores de manzanas, y de manera estratégica en la Plaza Niemeyer (Fig. 17) y el parqueo aledaño, por ser los lugares más críticos en cuanto a exposición a la radiación solar. En los edificios también puede incorporarse vegetación en fachadas y en techos verdes [Pérez, 2010], como dobles cubiertas.





*Fig. 17. Propuesta Plaza Niemeyer con arbolado.  
Fuente: González, 2013.*

#### *Manejo del agua*

Para reducir el consumo de agua en la UCI se deben establecer a corto plazo medidas y programas de ahorro, y a largo plazo sustituir las instalaciones hidro-sanitarias existentes por otras más eficientes como inodoros de descarga reducida [Kubba, 2010]. Los propios estudiantes de la universidad pueden confeccionar programas y sistemas automatizados de control de agua.

Debe culminarse la conexión con la planta de tratamiento que fue construida para el vertimiento de las aguas residuales de la zona norte, y posteriormente a mediano plazo se propone incorporar un sistema adicional de tratamiento que permita reutilizar las aguas para el regadío, descarga de inodoros o limpieza de vehículos.

Para el manejo del agua en el paisaje se propone la creación de un humedal de tratamiento de las aguas grises en el parque ecológico presentado en el sistema verde, con plantas como el macío (tifa) y el papiro [Sánchez, 2013] (Fig. 18) y la implementación del sistema de riego localizado por ser más eficiente. Por último, se plantea la recolección del agua pluvial en las azoteas.

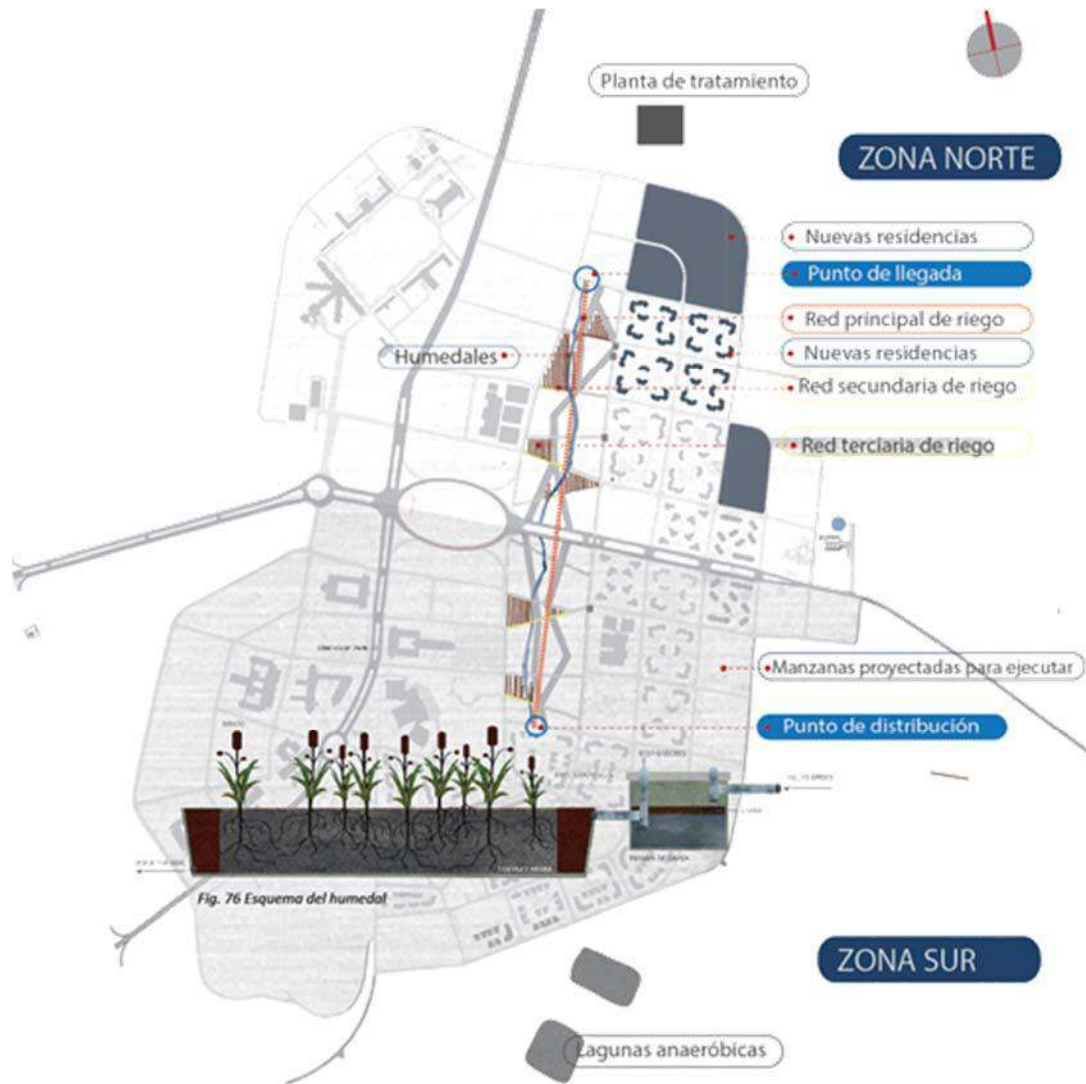


Fig. 18. Plano del humedal de tratamiento de las aguas grises.  
Fuente: González, 2013.

### Energía

A mediano plazo se propone aprovechar las fuentes renovables de energía. Se incorporarán calentadores solares de tubos al vacío en las nuevas residencias, así como en los complejos de comedores [Álvarez, 2013, y Bériz, 2011 y 2012] (Figs. 19 y 20).

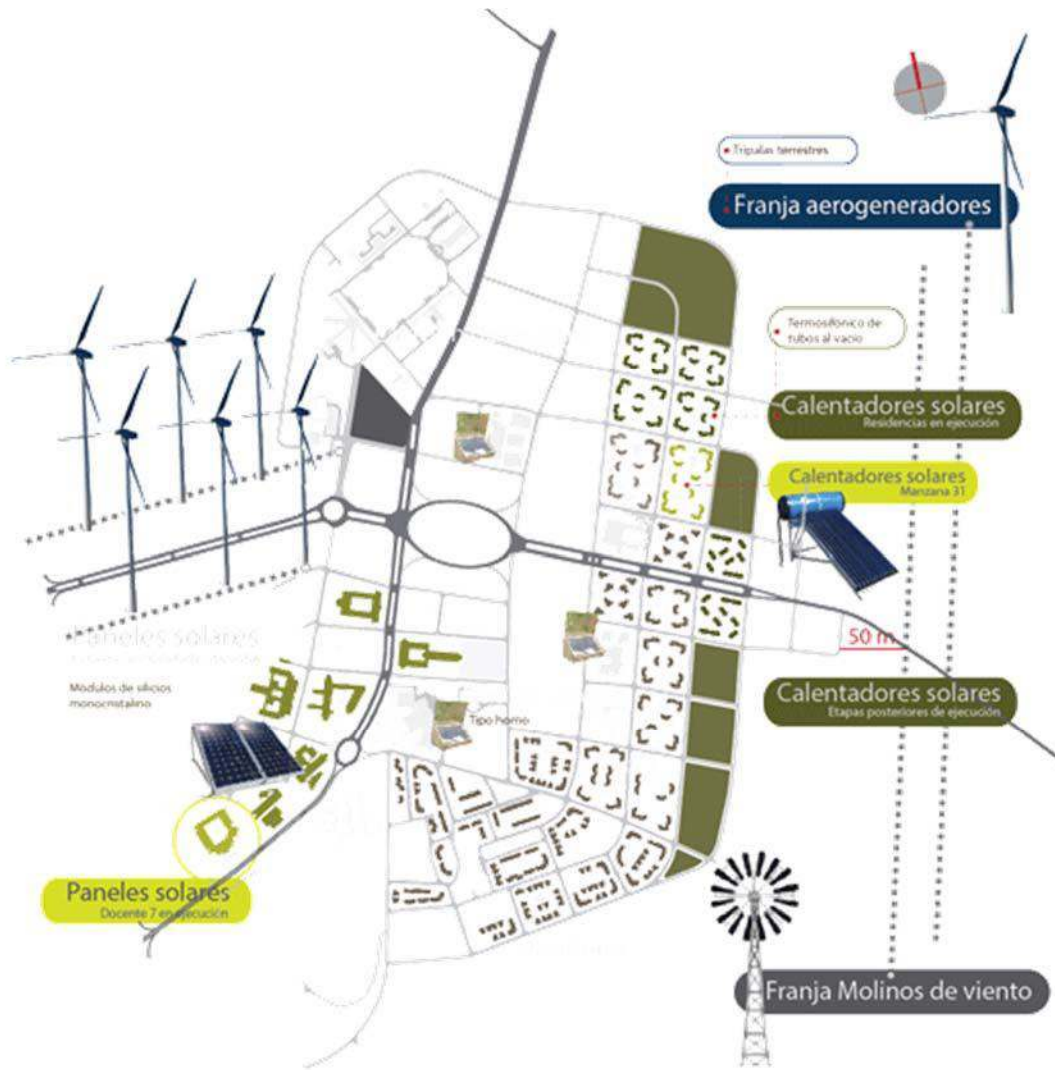


Fig. 19. Plano de propuesta de uso de fuentes renovables de energía.  
Fuente: Rodríguez, 2013.





*Fig. 20. Calentadores solares en residencias.  
Fuente: Rodríguez, 2013.*

A modo experimental y como solución alternativa se propone el uso de cocinas solares tipo horno en los tres complejos de comedores y la utilización de secadores solares, adosados en las fachadas de los edificios [González, 2012] (Fig. 19). Se aprovechará también la energía solar fotovoltaica para la generación de electricidad con paneles solares fotovoltaicos de silicio monocristalino [Tarik, 2008, y Ung y Jaén, 2012] (Fig. 19). Paralelamente, en el parque ecológico propuesto serán incorporadas estructuras verticales con luminarias y paneles fotovoltaicos integrados al sistema.

La energía eólica será aprovechada para el bombeo de agua hacia las residencias y edificios docentes, usando el molino de viento multipala tradicional [Moreno, 2012]. Serán ubicados a más de 50m de distancia desde el final de la urbanización para evitar la contaminación acústica, con orientación Este (Fig. 19) [Moreno, 2013]. Para la generación de electricidad se plantea el uso de aerogeneradores tripala terrestres [Moreno, 2006 y 2013], ubicado detrás de la línea de los molinos de viento, así como en el acceso principal (Figs. 19 y 21).



*Fig. 21. Aerogenerador tripala terrestre.  
Fuente: Rodríguez, 2013.*

#### *Desechos sólidos*

En cuanto al manejo de los desechos sólidos se tomó como base la propuesta de Cubasolar, instalando un biodigestor en cada comedor para utilizar el abono que se extrae después del proceso de fermentación, para las áreas de cultivo del parque ecológico propuesto en el sistema verde, y el biogás podrá ser usado, a su vez, como combustible para las cocinas de gas de cada uno de los comedores..

Para el manejo del resto de los desechos se propone establecer el sistema de recogida clasificada, sustituyendo los contenedores existentes, y usando vehículos más eficientes, que se muevan con energía que proviene de la propia basura recogida.

En la figura 22 se exponen de manera integrada las diferentes propuestas de transformación a escala urbana.



Fig. 22. Plano resumen de propuestas urbanas en la UCI.  
Fuente: González, 2013; Rodríguez, 2013, y Llovet, 2013.

## Conclusiones

Los principales problemas que afectan la sustentabilidad de la Universidad de las Ciencias Informáticas responden a una falta de visión integral de los procesos, desde el planeamiento, diseño y ejecución, hasta su actual manejo y gestión.

Las transformaciones propuestas se pueden llevar a cabo de forma progresiva. Las acciones a corto plazo resultan sencillas y económicas, pero contribuyen a mejorar la calidad de vida y el trabajo en la UCI, a la vez que se reduce su impacto ambiental.

## Bibliografía

- ÁLVAREZ, MANUEL (2013). *Entrevista personal el 22 de marzo*. La Habana: 2013.
- BÉRRIZ, LUIS (2011). «Ventajas y desventajas de los calentadores solares», en *Energía y tú*, 55(18-24): 2011. La Habana: Ed. Cubasolar.
- (2012). «Calentadores solares en viviendas», en *Energía y tú*, 59(4-6): 2012. La Habana: Ed. Cubasolar.
- FERNÁNDEZ, MANUEL (2013). *Entrevista personal el 23 de abril*. La Habana: 2013.
- FERRO, SERGIO (1988). *Arquitectura de exteriores*. La Habana: 1988.
- (2011). *Manual de arborización urbana*. La Habana: 2011.

GÓMEZ, OSVALDO (2013). *Entrevista personal el 22 de mayo*. La Habana: 2013.

GONZÁLEZ COURET, DANIA (2012). «¿Cómo secar la ropa en edificios de apartamentos?», en *Energía y tú*, 61: 2012. La Habana: Ed. Cubasolar.

GONZÁLEZ MILIÁN, NATALY (2013). «Arquitectura sustentable en clima cálido húmedo. Estudio de caso: edificio docente No.6 de la UCI». Tutor: Dania González Couret. Tesis de Diploma. Facultad de Arquitectura. ISPJAE, La Habana: 2013.

KUBBA (2010). *Practices, Certification and Accreditation Handbook*. 2010

LLOVET SALAZAR, MÓNICA (2013). «Arquitectura sustentable en clima cálido húmedo. Estudio de caso: edificio docente No.3 de la UCI». Tutor: Dania González Couret. Tesis de Diploma. Facultad de Arquitectura, ISPJAE, La Habana: 2013.

MORENO, CONRADO (2006). *Energía eólica. Selección de artículos*. La Habana: Ed. Cubasolar, 2006.

————— (2012). «¿Cuál molino de viento instalar?», en *Energía y tú*, 59(21-24): 2012. La Habana: Ed. Cubasolar.

————— (2013). *Entrevista personal el 5 de mayo*. La Habana: 2013.

PÉREZ GONZÁLEZ, LUIS GUILLERMO (2010). «Cubiertas verdes en Cuba. Evaluación del prototipo experimental». Tutor: Dra. Ing. María Luisa Rivada. Tesis de Diploma. Facultad de Arquitectura, ISPJAE, La Habana: 2010.

RODRÍGUEZ GARCÍA, ELIZABETH (2013). «Arquitectura sustentable en clima cálido húmedo. Estudio de caso: edificio docente No.5 de la UCI». Tutor: Dania González Couret. Tesis de Diploma. Facultad de Arquitectura. ISPJAE, La Habana: 2013.

RUEDA, LUIS ALBERTO (2003). «Influencia del diseño en la carga térmica y el consumo de energía en habitaciones de hoteles con “Destino sol y playa” en Cuba». Tutor: Dania González Couret. Tesis en opción al grado científico de doctor en Ciencias Técnicas. Facultad de Arquitectura, ISPJAE, La Habana: 2003.

SÁNCHEZ, ROBERTO (2013). *Entrevista personal el 21 de Marzo*. La Habana, 2013

TARIK, VÉRONIQUE (2008). *Las fuentes renovables de energía en Cuba*. Agencia Canadiense de Desarrollo Internacional. Comité de Solidaridad: 2008.

UNG, MICHAEL Y LEUDY JAÉN (2012). «Las fuentes renovables de energía en la vivienda urbana». Tutor: Dania González Couret. Tesis de Diploma. Facultad de Arquitectura. ISPJAE, La Habana, 2012.

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

**DIRECTOR GENERAL:**

Dr. Luis Bérriz Pérez.

**DIRECTOR:**

M.Sc. Manuel Álvarez González.

**EDITOR JEFE:**

M.Sc. Alejandro Montesinos Larrosa.

**EDITORA:**

M.Sc. Madelaine Vázquez Gálvez.

**CORRECCIÓN:**

Ing. Jorge Santamarina Guerra.

**CONSEJO EDITORIAL:**

Dr. Luis Bérriz Pérez.

M.Sc. Manuel Álvarez González.

Dr. Conrado Moreno Figueredo.

M.Sc. Manuel Fernández Rondón.

M.Sc. Alejandro Montesinos Larrosa.

M.Sc. Daniel López Aldama

**DISEÑO ELECTRÓNICO:**

D.I. Antonio Romillo Polaino.

**WEB MASTER:**

M.Sc. Fernando González Prieto.

**CONSEJO ASESOR:**

Dra. Elena Vigil Santos.

Dr. Conrado Moreno Figueredo.

Dr. Sergio Corp Linares.

Dr. José Guardado Chacón.

Dr. Deny Oliva Merecio.

Dra. Dania González Couret.

Dr. Juan José Paretas.

Lic. Bruno Henríquez Pérez.

M.Sc. Leonor Turtós Carbonell.

M.Sc. Alejandro Montesinos Larrosa.

Lic. Ricardo Bérriz Valle.

Dr. David Pérez Martín.

Dr. César Cisnero Ramírez



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

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

Teléfono: (537) 205-9949.

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

e-mail: [editora@cubasolar.cu](mailto:editora@cubasolar.cu)

<http://www.cubasolar.cu>