

---

# *Indicadores de sostenibilidad ambiental en universidades: una herramienta para la identificación y evaluación de soluciones tecnológicas*

**Jorge Leiva Mas\*, Iván L. Rodríguez Rico, Pastora Martínez Nodal**  
Departamento de Ingeniería Química. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.  
Carretera a Camajuaní Km 5.5. Santa Clara, c/p 54830, Villa Clara, Cuba.

---

*Environmental sustainability indicators in universities: a tool for identifying and evaluating technological solutions*

*Indicadors de sostenibilitat ambiental en universitats: una eina per a la identificació i avaluació de solucions tecnològiques*

*Recibido: 4 de octubre de 2011; Revisado: 13 de marzo de 2012; aceptado: 27 de marzo de 2012*

## **RESUMEN**

La Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas (UCLV) ha implantado un sistema de gestión ambiental, una herramienta utilizada internacionalmente para eliminar o mitigar los impactos negativos causados por el hombre al entorno. Como herramienta básica en la evaluación del desempeño ambiental de la UCLV ha sido diseñado un sistema local de indicadores de sostenibilidad ambiental. Para la optimización de las variables a incluir en el sistema de indicadores de sostenibilidad ha sido definido un índice de frecuencia relativa de las variables que permite seleccionar las variables ambientales más significativas en el sistema, este sistema por su versatilidad y sencillez puede ser extrapolado a otras universidades u organizaciones. Como resultados se identifican un grupo de soluciones tecnológicas que mejoran el desempeño ambiental de la UCLV, finalmente se presentan proyectos para la construcción de una nueva planta de tratamiento de residuales líquidos y para la generación de energía eléctrica, se analizan posibles variantes y se realiza el análisis económico de las mismas, se concluye que un sistema de indicadores de sostenibilidad ambiental es una herramienta fundamental en la evaluación de desempeño ambiental a escala local y constituye un elemento en la educación ambiental de la comunidad universitaria.

**Palabras Clave:** Soluciones tecnológicas, indicadores de sostenibilidad ambiental, sistema de gestión ambiental en universidades.

## **SUMMARY**

An environmental management system has been implemented at Central University "Marta Abreu" of Las Villas (UCLV), a tool internationally used to eliminate or mitigate the negative impacts caused by humans to the environment. An environmental sustainability indicators system

at local scale has been designed as a basic tool in environmental performance evaluation of UCLV. For the variables optimization in the indicators system has been defined a relative frequency index that select the most significant environmental variables in the system. This system for its versatility and simplicity can be extrapolated to other universities or organizations. As results identify a group of technology solutions that improve environmental performance in UCLV, finally we presented projects for the construction of a new liquid waste treatment plant and the electricity generation are presented and possible variants with economic analysis are discussed, we conclude that an environmental sustainability indicators system is an essential tool in the evaluation of environmental performance at local scale.

**Keywords:** technological solutions, environmental sustainability indicators, environmental management system in universities.

## **RESUM**

La Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas (UCLV) ha implantat un sistema de gestió ambiental, una eina utilitzada internacionalment per eliminar o mitigar els impactes negatius a l'entorn causats per l'home. Com a eina bàsica en l'avaluació de l'actuació ambiental de la UCLV s'ha dissenyat un sistema local d'indicadors de sostenibilitat ambiental. Per a la optimització de les variables a incloure en el sistema d'indicadors de sostenibilitat s'ha definit un índex de freqüència relativa de les variables que permet seleccionar les variables ambientals més significatives en el sistema. Aquest sistema, per la seva versatilitat i senzillesa, pot ser extrapolat a altres universitats o organitzacions. Com a resultats s'identifiquen un grup de

---

\*corresponding author: jorgelm@uclv.edu.cu, ivanl@uclv.edu.cu, Telf: (53) (422)-81164 Fax: (53) (422)-81608

---

soluciones tecnológicas que mejoren la actuación ambiental de la UCLV. Finalmente, se presenten proyectos para la construcción de una nueva planta de tratamiento de residuos líquidos y para la generación de energía eléctrica, se analicen posibles variantes y se realice el análisis económico. Se concluye que un sistema de indicadores de sostenibilidad ambiental es una herramienta fundamental en la actuación ambiental a escala local y constituye un elemento en la educación ambiental de la comunidad universitaria.

**Palabras clave:** soluciones tecnológicas, indicadores de sostenibilidad ambiental, sistema de gestión ambiental a universidades

## 1. INTRODUCCIÓN

En sentido general se entiende por gestión ambiental al conjunto de acciones encaminadas a lograr la máxima racionalidad en el proceso de decisión relativo a la conservación, defensa, protección y mejora del medio ambiente, basada en una coordinada información multidisciplinaria y en la participación ciudadana.

La norma ISO 14000 (ISO, 2004) expresa cómo establecer un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) efectivo. La norma está diseñada para conseguir un equilibrio entre el mantenimiento de la rentabilidad y la reducción de los impactos en el ambiente. La adopción de estas normas internacionales facilita a las universidades basar el desarrollo de sus actividades docentes, investigativas y extensionistas en los principios de la sustentabilidad.

Los sistemas de indicadores son un conjunto ordenado de variables sintéticas cuyo objetivo es proveer de una visión totalizadora respecto a los intereses predominantes relativos a la realidad objeto de estudio. Los índices, sean utilizados de forma aislada, o bien en el seno de un sistema de indicadores, resultan de la combinación o agregación matemática de varios parámetros, teniendo como resultado final un número. Son de gran utilidad, ya que permiten reducir un elevado número de datos en una única cifra. Normalmente, los índices oscilan entre dos valores fijos que constituyen sus límites de variabilidad (Yale 2001; Columbia 2002).

El objetivo del trabajo es proponer un método para la selección de los indicadores ambientales en universidades y se toma como caso de estudio la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Se reportan las emisiones de CO<sub>2</sub>, los consumos de agua y los consumos de energía eléctrica en los últimos años en el campus.

## 2. METODOLOGÍA

Para evaluar el estado de la sostenibilidad a escala local se definió metodológicamente un procedimiento que puede ser aplicado a cualquier organización o región, en el trabajo es aplicado al campus de la Universidad central Marta Abreu de Las Villas, Cuba. El procedimiento permite evaluar y monitorear el desempeño ambiental de una entidad, identificar y evaluar mejoras tecnológicas en los procesos, simular futuros escenarios y organizar el sistema de gestión ambiental (SGA) sobre bases científicas, en resumen constituye una herramienta en la toma de decisiones inversionistas sobre bases científicas y metodológicas. Los elementos básicos del procedimiento son:

1. Evaluación de los indicadores sociales, económicos e institucionales.
2. Definición de las variables ambientales.
3. Definición de los indicadores ambientales en cada una de las variables ambientales.
4. Procedimiento para la evaluación cuantitativa de los indicadores propuestos.
5. Aplicación del procedimiento.

### 2.1. Desarrollo metodológico procedimiento de diseño y evaluación de sistemas de indicadores de sostenibilidad a escala local.

Como primer paso se requiere de información sobre las condiciones sociales y económicas de la organización o región objeto de estudio, unido a ello se requiere de la capacidad institucional del país o de los gobiernos locales referidos a la protección al medio ambiente. Dentro de los indicadores sociales se incluye: equidad, salud, educación, vivienda, seguridad y población, dentro de los indicadores institucionales están el marco institucional y la capacidad institucional, y como aspecto básico de indicadores económicos el producto interno bruto y sus posibles índices.

En el caso de las variables ambientales existe gran dispersión respecto a las temáticas y por tanto una gran cantidad, lo que hace a los sistemas muy complejos e incompatibles. Por esta razón ha sido definido un procedimiento matemático para la definición de un índice de importancia relativa, este índice selecciona las variables que más significativamente son usadas en los principales sistemas de indicadores empleados a escala global. Según Quiroga (Quiroga, 2001) los principales sistemas de indicadores de sostenibilidad empleados internacionalmente son:

- I. Comisión de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas. (CDS).
- II. International Center for Tropical Agriculture, Banco Mundial y Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (CIAT-BM-PNUMA)
- III. Agencia Europea sobre Medio Ambiente.
- IV. Organización para la Cooperación y Desarrollo económico (OCDE).
- V. Scientific Committee on Problems of the Environment.
- VI. Statistical Office of the European Communities. (Eurostat)
- VII. División de estadísticas de la ONU, (UNSD)
- VIII. Institute Worldwatch "Vital Signs"
- IX. World Resources Institute.

### 2.2. Procedimiento para el tamizado de las variables. Metodología para el cálculo del Índice de frecuencia relativa de las variables ambientales.

1. Cálculo de la repetitividad de la variable (R), en los diferentes sistemas analizados.  
$$R = (n / N),$$
Donde n es el número de veces que aparece la variable en los diferentes sistemas y N es el número total de sistemas analizados, (9).
2. Extensión relativa de la variable (ER), en los diferentes sistemas analizados.
  - a) Cálculo de la fracción de aplicabilidad, (FA), calculada como el número de países que aplican de forma sistemática cada sistema de indicadores (np), dividido por el número total de países reportados, 202, (np), según la ONU.

b)  $FA = np / n$

c) Cálculo de la extensión relativa de la variable, (ER)

$$ER = \sum FA$$

Donde  $\sum FA$  significa la sumatoria de todas las fracciones de aplicabilidad donde aparece la variable.

El valor de la extensión relativa de la variable se normaliza para su mejor comprensión y hacer más fáciles los cálculos e interpretaciones correspondientes.

3. Cálculo del índice de frecuencia relativa de la variable.(IR)

$$IR = (R+ER)/2.$$

4. Definir el umbral de corte del indicador frecuencia relativa (IR).

### 2.3. Aplicación del procedimiento para el tamizado de las variables.

En la tabla 1, se reportan las seis variables ambientales que presentan más altos valores de frecuencia relativa (Leiva 2010; Leiva 2007).

**Tabla 1.** Variables ambientales que presentan los mayores valores de índices de frecuencia relativa.

Vari-ables	Nombre	Índice de fre-cuencia relativa
X1	Atmósfera y cambio climático.	1.0000
X2	Agua.	0.7929
X3	Tierra.	0.7203
X4	Manejo y genera-ción de residuos.	0.6969
X5	Biodiversidad.	0.6416
X6	Uso de energía.	0.5615

Solo las variables reportadas en la tabla 1 sobrepasan el umbral de corte de índice de frecuencia relativa de 0.3. Se ha demostrado estadísticamente que existe diferencia significativa entre las variables incluidas en el índice de frecuencia relativa y el resto de las variables Para este análisis ha sido utilizado el programa Statgraphics plus versión 5.0.

Las variables reportadas en la tabla 1 representan de forma indirecta a las restantes variables que aparecen en los sistemas de sostenibilidad ambiental referidos anteriormente, no es factible un impacto ambiental significativo, de naturaleza positiva o negativa, que no tenga incidencia en las seis variables seleccionadas por el índice de frecuencia relativa. Las variables ambientales seleccionadas por el método del cálculo del índice de frecuencia relativa pueden ser empleadas en los campus de las universidades obteniendo como resultado una evaluación ambiental integral y permitiendo identificar y evaluar soluciones tecnológicas que mitiguen los efectos antrópicos causados

**Tabla 2.** Indicadores seleccionados para la variable atmósfera y cambio climático en la UCLV.

Indicadores de presión	Indicadores de estado	Indicadores de respuesta
<ul style="list-style-type: none"> <li>Emisión de SO<sub>2</sub> (t/año*persona).</li> <li>Emisión de SO<sub>3</sub> (t/año*persona).</li> <li>Emisión de CO (t/año*persona).</li> <li>Emisión de CO<sub>2</sub> (t/año*persona).</li> <li>Emisión de NOx (t/año* persona).</li> <li>Emisión de material particula-do PM 10 (t/año*persona).</li> <li>Emisión de material particula-do PM 2.5 (t/año*persona).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Concentración de SO<sub>2</sub>. (mg/m<sup>3</sup>).</li> <li>Concentración de SO<sub>3</sub>. (mg/m<sup>3</sup>).</li> <li>Concentración de NOx. (mg/m<sup>3</sup>).</li> <li>Concentración de CO. (mg/m<sup>3</sup>).</li> <li>Concentración de CO<sub>2</sub> (mg/m<sup>3</sup>).</li> <li>Concentración de material particulado PM 10(mg/m<sup>3</sup>).</li> <li>Concentración de material par-ticulado PM 2.5 (mg/m<sup>3</sup>).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Normas y Leyes de Emisión (si/no).</li> <li>Gastos en la mejora de la variable.</li> </ul>

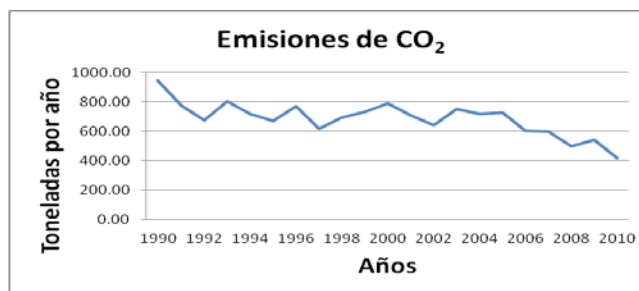
al medio ambiente. La definición de las variables ambientales más significativas constituye una herramienta que permite economizar recursos, tiempo y hace los sistemas de indicadores más operativos

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

A manera de ilustración se muestran los resultados del sistema de indicadores para tres variables ambientales significativas: atmósfera y cambio climático, agua y usos de la energía.

#### 3.1. Sostenibilidad para las variables ambientales at-mósfera y cambio climático en la UCLV.

La sostenibilidad de la variable es alta, todos los indica-dores se encuentran en el rango permitido por las normas cubanas e internacionales. En monitoreos efectuados de forma sistemática en el campus de la UCLV se ha compro-bado que en todos los casos se cumplen las concentra-ciones de gases establecidas en la norma cubana NC 39: 1999 "Calidad del aire. Requisitos higiénicos sanitarios". Las concentraciones máximas a la salida de las fuentes fijas de emisión cumplen con los requerimientos de la norma de emisión NC TS 803:2010 "Calidad del aire -emisio-nes máximas admisibles de contaminantes a la atmósfera en fuentes fijas puntuales de instalaciones generadoras de electricidad y vapor". En el siguiente gráfico se observa la disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> en la UCLV.



**Gráfico 1.** Emisiones de CO<sub>2</sub> en la UCLV.

#### 3.2. Sostenibilidad variable ambiental agua en la UCLV.

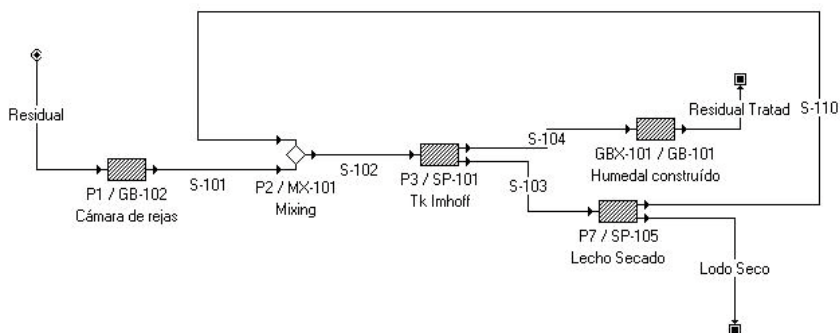
Esta variable no presenta valores adecuados de sostenibi-lidad, los consumos de agua son superiores a lo normado motivado por pérdidas de agua en conductoras y en el interior de las edificaciones, y no todos los residuales tra-tados cumplen los requisitos de vertimiento. En el siguiente gráfico se observan los consumos reales de agua y se comparan con los consumos según norma en el campus de la UCLV.

**Tabla 3. Indicadores seleccionados para la variable agua en la UCLV.**

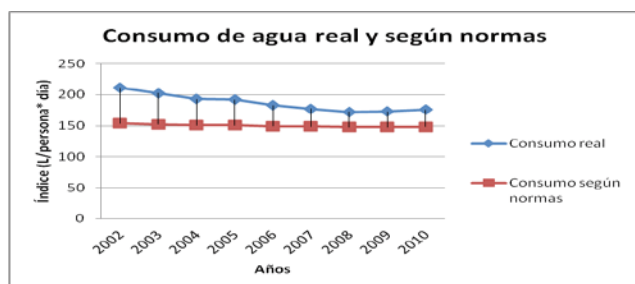
Indicadores de presión	Indicadores de estado	Indicadores de respuesta
<ul style="list-style-type: none"> <li>Consumo diario de agua per cápita (L/día*persona)</li> <li>Tratamiento residuales (m<sup>3</sup>/año)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calidad del agua (según NC)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gastos en la mejora de la variable</li> </ul>

**Tabla 4. Indicadores seleccionados para la variable uso de la energía en la UCLV.**

Indicadores de presión	Indicadores de estado	Indicadores de respuestas
<ul style="list-style-type: none"> <li>Consumo de energía eléctrica per cápita (kW-h/persona *año).</li> <li>Toneladas de petróleo equivalente consumidas. (tep/persona*año)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Relación de consumo energía renovables/ energía no renovables (%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Potencial de bioenergías (kW-h/persona*año).</li> <li>Gastos en la mejora de la variable.</li> </ul>



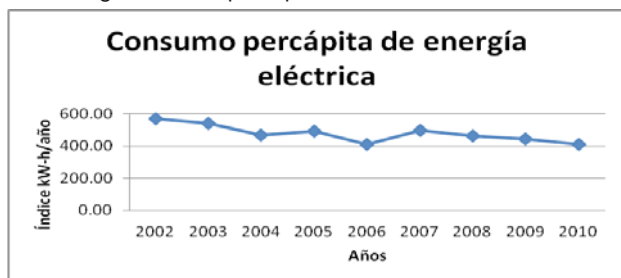
**Gráfico 4. Esquema del proceso propuesto para el tratamiento de los residuos líquidos en la UCLV**



**Gráfico 2. Consumo real per cápita de agua en la UCLV, comparación con los consumos según normas.**

### 3.3. Sostenibilidad variable ambiental uso de la energía en la UCLV.

En esta variable debe ser incrementado el indicador consumo de energía eléctrica. Una vulnerabilidad de la institución lo constituyen los bajos índices de potencial de bioenergías probados, así como dependencia absoluta del suministro de eléctrica del sistema electroenergético nacional. En el siguiente gráfico se observan los consumos de energía eléctrica per cápitas anuales.



**Gráfico 3. Consumo per cápita de energía en la UCLV.**

### 3.4. Medidas para incrementar la sostenibilidad de la UCLV.

#### 3.4.1. Construcción de una planta de tratamiento de residuales en la UCLV.

El proceso fue simulado con el software SuperPro Designer, el equipamiento propuesto consta en esencia de cámaras de rejillas, tanque Imhoff y lecho de secado como tratamiento primario, el tratamiento secundario es por un humedal construido de flujo subsuperficial vertical. El esquema del proceso se muestra en el siguiente gráfico (gráfico 4).

#### Dimensionamiento de los equipos básicos de proceso. Cámara de rejillas (OPS –OMS, 2005)

**Tabla 5. Resultados básicos del dimensionamiento de la cámara de rejillas.**

Parámetro	Valor
Largo	3000 mm
Ancho	1000 mm
Altura	1000 mm
Diámetro de las barras	10 mm
Número de barras	33 mm
Separación entre barras	20 mm
Pendiente (referencia vertical en grados)	45°
Método de limpieza	manual

**Tanque Imhoff (OPS –OMS, 2005; Díaz, 2006; Chudoba, 1986; Carrasco y Menéndez, 2010).**

**Tabla 6. Resultados básicos del dimensionamiento del tanque Imhoff.**

Parámetro	valor
Caudal de diseño	48.66 m <sup>3</sup> /h
Carga superficial	1 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *h (OPS, 2005)
Área de sedimentación.	48.66 m <sup>2</sup>
Volumen del sedimentador	97.32 m <sup>3</sup>
Inclinación del fondo	50-60°
Abertura para el digestor	0.15-0.2 m
Altura máxima de lodos	0.5 m por debajo fondo clarificador
Tiempo digestión de los lodos	30 días

**Humedal construido (Redd et al., 1995; Seoáñez, 1999)**

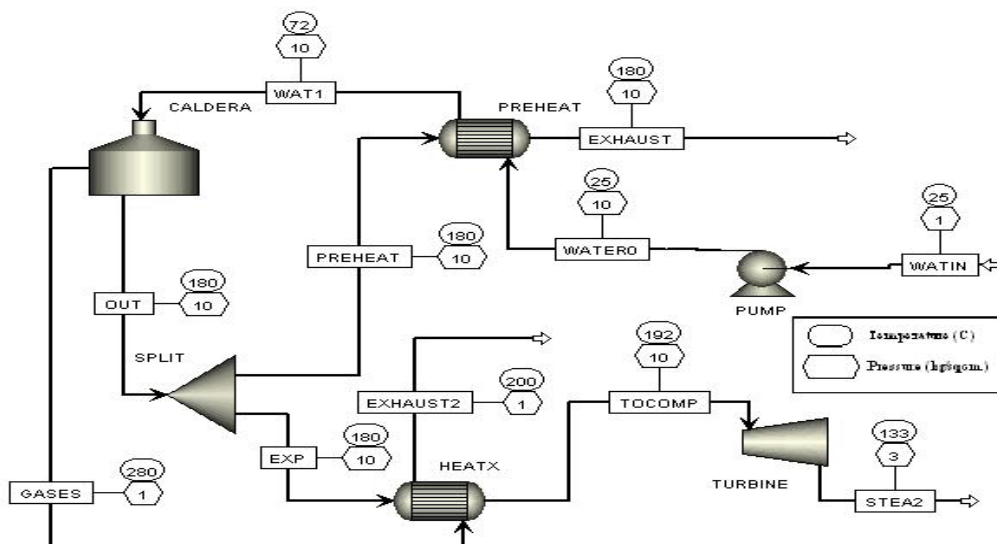


Gráfico 5. Esquema propuesto para la generación de electricidad en la UCLV.

Tabla 7. Resultados básicos del dimensionamiento del humedal construido de flujo subsuperficial vertical.

Parámetro	Valor
Caudal	1168 m <sup>3</sup> / d
Largo	100 m.
Ancho	61.15 m
Altura total	0.8 m
área de la sección	6115 m <sup>2</sup> .
Tiempo de retención hidráulico	2.26 d.

A la inversión para la construcción de una nueva planta de tratamiento de residuales en la UCLV se le ha realizado análisis económico por métodos dinámicos (Peters and Timmerhaus, 2003) la inversión inicial es de \$ 671 417.94, el costo anual de producción es de \$ 42 341.13, el valor actual neto es de \$ 15 187.99, la tasa interna de rendimiento es de 12 % y el período de recuperación de la inversión es de 15 años.

### 3.4.2. Generación de electricidad en la UCLV.

El objetivo principal de la inversión es aprovechar la energía del vapor generado en las calderas de vapor de la cocina central de la UCLV. Actualmente este vapor es despresurizado mediante una válvula reductora, este proceso de reducción de presión puede ser realizado en un turbo generador y cogenerar energía eléctrica (Soto, 2010). El vapor a la salida de la turbina puede ser utilizado en todas las operaciones de la cocina comedor. La caldera genera vapor a 10 atm y los consumidores finales operan a 2 atm. El proceso ha sido simulado en Aspen Plus, como resultado de la simulación se decidió la potencia del turbo a instalar, así como la conveniencia de utilizar un sobrecalentador de vapor para evitar condensación en la turbina. El esquema propuesto se presenta en el siguiente gráfico (gráfico 5).

A la inversión de generación de energía eléctrica se le ha realizado análisis económico por métodos dinámicos (Peters and Timmerhaus, 2003), la inversión inicial es de \$ 96 000.00, el costo anual de producción es de \$ 10 314.81, el valor actual neto es de \$ 76 447.80, la tasa interna de rendimiento es de 25 % y el período de recuperación de la inversión es de 5.5 años.

## 4. CONCLUSIONES.

1. La utilización del índice de frecuencia relativa para el diseño de sistemas locales de indicadores de sostenibilidad ambiental permite identificar las variables que presentan mayor significación, esto permite ahorrar recursos, tiempo y hace los sistemas de indicadores más operativos.
2. Los sistemas locales de indicadores de sostenibilidad ambiental constituyen una herramienta que permiten evaluar los sistemas de gestión ambiental con verdadero fundamento científico.
3. La aplicación de sistemas locales de indicadores de sostenibilidad ambiental permite identificar y evaluar soluciones tecnológicas para mejorar el desempeño ambiental en los campus universitarios.
4. La construcción de una planta para el tratamiento de los residuales líquidos y la generación de energía eléctrica son soluciones tecnológicas viables desde el punto de vista técnico, económico y ambiental en el campus de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

1. Carrasco F, Menéndez J.A. 2010. Nuevos materiales y tecnologías para el tratamiento de agua. Editorial Universidad Internacional de Andalucía. 312 pp.
2. Chudoba, J. 1986. Fundamentos teóricos de algunos procesos para la purificación de aguas residuales. Editorial ISPAJE. Ciudad de La Habana.
3. Columbia. 2002. ESI - EPI. www.ciesin.columbia.edu/ indicators/ ESI. Revisado 15 Julio 2011.
4. Díaz, B.R. 2006. Tratamiento de aguas y aguas residuales. Ciudad de la Habana. Editorial ISJAE. Cuba. pp 315-393.
5. ISO. 2004. ISO 14000 essentials. [http://www.iso.org/iso/iso\\_14000\\_essentials](http://www.iso.org/iso/iso_14000_essentials).
6. Leiva Mas J. 2007. Selección de variables para la evaluación del desarrollo sostenible a escala local. Memorias tercer Simposio Internacional de Química.



---

Santa clara, Cuba 5 -8 de Junio. ISBN 978-959-250-337-3.

7. Leiva, J; Rodríguez I; Quintana C. 2010. Procedimiento para el diseño y evaluación de sistemas de indicadores de sostenibilidad ambiental a escala local. Caso de estudio Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Revista Tecnología Química. XXX (3): 93-101.
8. OPS -OMS. 2005. Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización. <http://www.cepis.org.pe/bvsatp/e/tecnoapro/documentos/sanea/163esp-diseno-TI.pdf>. Revisado 6 noviembre 2008.
9. Peters M, Timmerhaus K. 2003. Plant design and economics for chemical engineers. International edition. McGraw-Hill Chemical Engineering Series.
10. Quiroga M Rayen. 2001. Indicadores de sostenibilidad ambiental y de desarrollo sostenible: estado del arte y perspectivas. División de medio ambiente y asentamientos humanos. Series manuales # 16. CEPAL, ECLAC, Naciones Unidas, Santiago de Chile, ISBN 92-1-321911-3 pp. 117.
11. Reed S.C., Crites R.W. y Middlebrooks E.J. 1995. Natural Systems for Waste Management and Treatment. 2nd Edition. MCGraw-Hill, New York, 431 pp.
12. Seoáñez, M. 1999. Aguas residuales: tratamiento por humedales artificiales. Fundamentos científicos. Tecnologías. Diseño. Colección Ingeniería del Medio Ambiente. Editorial Mundi-Prensa. Madrid.
13. Soto A. 2010. Gestión energética eficiente en la planta piloto azucarera "José Martí". Tesis en opción del grado de Máster en Eficiencia Energética. Facultad de ingeniería Mecánica. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
14. Yale 2001. Yale University Press Release, January 26, 2001.