

## EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO AMBIENTAL EN CENTRALES ELÉCTRICAS CUBANAS: UTILIZACIÓN DEL ANALYTIC NETWORK PROCESS

**Frank Medel-González**

Departamento de Ingeniería Industrial. Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.  
[frankmedel@uclv.edu.cu](mailto:frankmedel@uclv.edu.cu)

**Lourdes Garcia Ávila**

Departamento de Ingeniería Industrial. Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.  
[Lourdes@uclv.edu.cu](mailto:Lourdes@uclv.edu.cu)

**Cecilia T. Hernández**

Departamento Engenharia de Produção (VEP). Universidade Federal Fluminense, Ave. dos Trabalhadores 420, Volta Redonda, RJ. Brasil.  
[ctoledo@id.uff.br](mailto:ctoledo@id.uff.br)

**Maily Medel-González**

Empresa Eléctrica de Villa Clara. Cuba.  
[maily@elecvccl.une.cu](mailto:maily@elecvccl.une.cu)

### RESUMO

El artículo propone un análisis estructurado para evaluar el desempeño ambiental mediante un procedimiento que integra indicadores ambientales que responden a las principales políticas y estrategias de las empresas cubanas. La propuesta surge de la falta de instrumentos metodológicos que permitan la selección, agrupamiento, integración y evaluación de indicadores ambientales. El procedimiento facilita la selección de indicadores con base en las estrategias ambientales y padrones de integración como la ISO 14031, el *Balanced Scorecard* y métodos de Toma de Decisión con Criterios Múltiples, específicamente el *Analytic Network Process*. También es propuesta del trabajo la obtención de un único valor de desempeño ambiental, con base en el cumplimiento de las metas ambientales definidas inicialmente. Para validar el procedimiento fue aplicado en cuatro usinas de pequeño y medio porte donde fue posible identificar los puntos críticos y oportunidades de mejoría de los procesos y poder resolver los principales puntos débiles.

**PALAVARAS CHAVE.** Evaluación del desempeño ambiental. Indicadores de desempeño. Métodos de Toma de Decisión con Criterios Múltiples

**Área principal:** (ADM)

### ABSTRACT

The article propose a structured approach to assessing the environmental performance through a procedure that integrate environmental indicators that respond to the major policies and strategies. The proposal arises from the lack of methodological tools that allow the selection, grouping, integration and evaluation of environmental indicators. The procedure facilitates the selection of environmental indicators based on the strategies and major environmental issues, integrating standards and tools such as ISO14031, the *Balanced Scorecard* and multi-criteria methods. Is propose an overall environmental performance, based on the level of compliance with the goals of environmental indicators defined for displaying a single value in the evaluation

of environmental performance. To validate the procedure was applied in four small and medium power stations which were defined environmental indicators, calculated and weighted using the Analytic Network Process (*ANP*) multiple criteria decision making, later integrated in the global index of environmental performance to be evaluated according the numerical value. Also the application facilitated the identification of critical points and improvement opportunities, to redirect efforts to address the main weaknesses.

**KEYWORDS. Environmental performance evaluation. Performance indicators. Multiple Criteria Decision Making.**

**Main area: ADM**

## 1. Introdução

Desde el año 1987 con la definición de Desarrollo Sostenible se ha apreciado en el escenario internacional, en todos los sectores de la economía, una concientización por la protección del medio ambiente. Este fenómeno ha sido impulsado principalmente por la legislación asociada, derivada de la necesidad de conservación de recursos naturales y reducción de impactos asociados al desempeño ambiental de las organizaciones.

Muchas empresas están buscando modos de entender, demostrar y mejorar su desempeño ambiental, esto se puede alcanzar con una gestión eficaz de aquellos elementos que puedan tener un impacto significativo en el medio ambiente, en el desarrollo de sus actividades, productos y servicios.

En este escenario, el tratamiento de la información ambiental y la obtención de un número limitado de indicadores claves se convierten en elementos críticos para el éxito en una organización, ayudando a los directivos en el proceso de toma de decisiones ambientales.

Según Henri y Journeault (2008) la importancia de la medición se refiere a la atención dedicada por las empresas para cuantificar diversas cuestiones ambientales. Investigaciones previas han identificado cuatro dimensiones de desempeño ambiental que los indicadores ambientales deben medir: interna, externa, procesos y el resultado (LOBER, 1996; ILINITCH; SODERSTROM; THOMAS, 1998).

Esta necesidad creciente de mejora continua del desempeño ambiental de las organizaciones y el incremento gradual de la legislación regulatoria asociada a la protección del medio ambiente, ha estimulado a diferentes instituciones a impulsar el desarrollo de estándares. Entre estos, se destacan el grupo de normas ISO 14000 y EMAS (*Eco-Management and Audit Schema*); los que proveen un enfoque estructurado para guiar en la implantación de los sistemas de gestión ambiental que contribuya a un mejor desempeño ambiental organizacional.

En los últimos treinta años el pensamiento y la acción ambiental cubana ha crecido y se ha perfeccionado, en el aspecto legislativo, político, educativo, científico, tecnológico, social y económico; influyendo positivamente en el proceso de toma de decisiones (GARCÍA-FERNÁNDEZ, 2002). Sin embargo, aún existen deficiencias en relación con la evaluación del desempeño ambiental, como proceso de gestión interna de las organizaciones que ayude a seleccionar, recopilar, integrar y evaluar indicadores ambientales. Estos indicadores deben responder a las políticas, estrategias y metas de las organizaciones de acuerdo a su actividad, convirtiéndose en información clave para el proceso de toma de decisiones ambientales.

El objetivo general del artículo es presentar un procedimiento para seleccionar e integrar indicadores ambientales y evaluar el desempeño ambiental empresarial, a través de un índice global de desempeño ambiental (*IGDA*); que facilite la identificación de puntos críticos y oportunidades de mejora.

Para la aplicación del procedimiento se escogió el sector energético específicamente las centrales eléctricas de la generación distribuida (GD). La GD es definida como una fuente de energía eléctrica conectada directamente a la red de distribución o al metro-contador del cliente (ACKERMANN; ANDERSSON; SÖDER, 2001).

## 2. Evaluación del desempeño ambiental

El desempeño ambiental es considerado un concepto derivado de la gestión ambiental. Según NC-ISO 14001 (2004) son los resultados medibles de la gestión que hace una organización de sus actividades, productos y/o servicios que puede interactuar con el medio ambiente. Las organizaciones no solo deben conocer su desempeño ambiental sino evaluarlo para identificar avances y retrocesos en la relación de la organización con el medio ambiente. La evaluación del desempeño ambiental (EDA) está basada en la máxima, “lo que no puede ser medido, no puede ser gestionado”. Según NC-ISO 14031 (2005) la EDA es el proceso utilizado para facilitar las decisiones de la dirección con respecto al desempeño ambiental de la organización mediante la selección de indicadores, la recopilación y el análisis de datos, la evaluación de la información comparada con los criterios de desempeño ambiental, los informes y comunicaciones, las revisiones periódicas y las mejoras de este proceso.

La EDA se basa en indicadores ambientales, que permiten a las organizaciones contar con una base para el *benchmarking* ambiental, demostrando el cumplimiento de las regulaciones y aumentando la eficiencia operacional. Facilita en las organizaciones: soportar el proceso de toma de decisiones ambientales basado en la mejora continua y demostrar su desempeño ambiental ante partes interesadas.

Los conceptos y componentes de la EDA han sido aplicados por más de una década. La ISO 14031 provee un acercamiento estructurado para las organizaciones, a seguir independientemente de situación, tamaño, complejidad y tipo de actividad.

### 2.1 Indicadores Ambientais

Los indicadores ambientales resumen extensos datos medioambientales en una cantidad limitada de información clave significativa. Por lo tanto, aseguran una rápida evaluación de las principales mejoras y de los puntos débiles en la protección ambiental de la empresa. Igualmente permiten determinar objetivos ambientales cuantificables que pueden utilizarse para medir el éxito o fracaso de los desempeños (ORMAZABAL; LARRAÑAGA, 1999).

Henri y Journeault (2008) indican que los indicadores ambientales representan las mediciones cualitativas y cuantitativas, financieras o no financieras, que proporcionan información importante sobre el impacto ambiental, cumplimiento regulatorio, las relaciones con las partes interesadas y los sistemas organizacionales.

Los indicadores ambientales hacen referencia a la medida de interacción entre la organización y el medio ambiente (OLSTHOORN; TYTECA, 2001). Ellos representan la cuantificación de la efectividad y eficiencia de las acciones ambientales con un conjunto de métricas (NEELY; GREGORY; PLATTS, 1995).

Sintetizando, un indicador ambiental es cualquier parámetro medible tangible e intangible, financiero, o no; relacionado con el impacto directo al medio natural, las acciones de la organización para minimizar los impactos y el cumplimiento de la legislación asociada, que informen del estado de la interacción organización-medio ambiente.

La revisión de la literatura arrojó que las estructuras analíticas de los sistemas de indicadores ambientales más usadas, son las siguientes:

- Indicadores según modelo de Presión-Estado-Respuesta (PER), introducido por la Organización para la Cooperación Económica y Desarrollo 1994 (*OECD*, siglas en inglés);
- Indicadores de desempeño ambiental y de condición ambiental NC-ISO 14031(2005);
- Indicadores para comunicar el desempeño ambiental según *Global Reporting Initiative* (2006).

Los indicadores ambientales son la base de la EDA y le permiten a las organizaciones: soportar el proceso de toma de decisiones ambientales basado en la mejora continua y demostrar su desempeño ambiental a partes interesadas.

### 2.2 Índices agregados

Los directivos de las empresas requieren de datos agregados que le brinden una idea del

cumplimiento de las metas y sus criterios. Según Zhou, Ang y Poh (2006) las partes interesadas prefieren los índices y además le permite a la empresa no dar información detallada del funcionamiento en sí del sistema, pero si dan una idea de su desempeño.

Según Geodem (2007), un índice ambiental es una categorización numérica o descriptiva de una gran cantidad de información ambiental, con el propósito de simplificar información contenida en los indicadores ambientales. Para Ludevid, Feliu y Amat (2006) hay carencias de mecanismos de medidas de los resultados ambientales de las empresas en términos objetivos, concentrando en un único índice numérico. Algunos acercamientos empresariales se han estudiado en los últimos años como Ramos y Melo (2006) los que hacen uso de evaluaciones por cuestionarios y determinan un índice agregado de desempeño ambiental. La investigación de Broche-Fernández y Ramos-Gómez (2010) se basa en un diagnóstico del desempeño ambiental organizacional que incluye la determinación de un indicador de evaluación integral que toma en cuenta un total de diez variables que son evaluadas de forma cualitativa haciendo uso de una escala numérica equivalente, lo que es reconocido como una limitante en esta propuesta. Otra aproximación se aprecia en la investigación de Sellito, Borchardt y Pereira (2010) los que proponen y aplican un método para medir el desempeño ambiental cuyo principal objetivo es capturar, con indicadores integrados, la complejidad presente en sistemas ambientales y como esta se manifiesta de forma sistémica.

Para la construcción de índices agregados de cualquier índole es necesario una serie de pasos entre los que se encuentran: la selección de los indicadores, la homogenización, la normalización, la ponderación y la agregación.

- Selección: proceso de decisión de los indicadores que integrarán el índice agregado;
- Homogenización: llevar los indicadores seleccionados de naturaleza diferente a un mismo criterio ya sea de maximizar o minimizar;
- Normalización: los indicadores que componen los índices están distribuidos sobre diferentes categorías por lo que es necesaria una unidad común o equivalente;
- Ponderación: proceso para determinar y asignar las importancias relativas de los indicadores basado en criterio de expertos. Según Paoli y Moraes (2011), los métodos multicriterio están siendo utilizados en evaluaciones de impactos ambientales;
- Agregación: es el resumen de la información en un valor único, logrando el índice deseado. Algunos de los métodos más usados según Zhou, Ang y Poh (2006) son: el método de la utilidad aditiva, producto ponderado, media geométrica ponderada.

### 2.3 Toma de Decisión con Criterios Múltiples

El *Analytic Hierarchy Process (AHP)* es un método multicriterio de apoyo a la decisión desarrollado por Saaty (1980). Según Hernández *et al.* (2010) el *AHP* es el método de decisión multicriterio más referenciado en la literatura en los últimos 20 años. Otros como Hermansa, Van den Bosscheb y Wets (2008) plantean que esta ha sido una de las técnicas más usadas para la evaluación de los pesos de los indicadores ambientales tomando como ejemplos: *Indoor Environment Index* (CHIANG;LAI, 2002) y *Environmental Friendliness* (PUOLAMAA; KAPLAS; REINIKAINEN, 1996). También Saaty (2003) plantea que los pesos de los indicadores de sostenibilidad son generalmente obtenidos haciendo uso del método de decisión *AHP*.

A pesar de la amplia aceptación del *AHP* en la construcción de índices, este brinda una visión poco realista de fenómenos naturales ya que parte de la independencia que debe de existir entre los niveles y alternativas del modelo. En ocasiones estas relaciones suelen ser más complejas, con un mayor número de relaciones e interrelaciones convirtiendo el modelo jerárquico en una estructura compleja.

Más recientemente, en 1996, fue desarrollado por el propio Saaty, el método *ANP* (*Analytic Network Process*). *ANP* provee una herramienta para lidiar con las decisiones sin asumir la independencia de los elementos de un nivel superior a los elementos de un nivel inferior y sobre la independencia de los elementos dentro de un nivel en una jerarquía. El *ANP* hace una extensión del método *AHP* para los problemas con dependencias y retroalimentación

entre los criterios usando el enfoque de la “súper-matriz” (SAATY, 1996).

El *ANP* está compuesto por dos partes: 1) jerarquía de control o la red de objetivos y criterios que controlan las interacciones del sistema bajo estudio y 2) muchas subredes de influencias entre todos los elementos y grupos del problema, uno por cada criterio de control.

Una red puede ser generada a partir de una jerarquía incrementando gradualmente las interconexiones, logrando las conexiones de los grupos como se deseen. Algunos grupos tienen elementos que se relacionan entre ellos lo que hace que presenten dependencia interna.

En los últimos años un aumento de la aplicación del *ANP* se evidencia en la producción científica; algunos ejemplos se pueden apreciar en (WANG; WANG; ZHAO, 2006; YÜKSEL; DAGDEVIREN, 2010; HERNÁNDEZ;*et al.*, 2010; BANAI; WAKOLBINGER, 2011; CHIA-WEI;*et al.*, 2011; WEN-SHIUNG;*et al.*, 2011)), todos estos en diferentes áreas del conocimiento lo que da idea del éxito que ha tenido esta herramienta a nivel mundial.

### 3. Metodología de Pesquisa

Según Lakatos y Marconi (1986), el problema de pesquisa se relaciona al análisis de un tema o laguna del conocimiento que todavía no tiene solución. En este caso el problema científico identificado fue: la carencia de procedimientos para la EDA que integren indicadores y que estén acorde con las necesidades que tiene la dirección de las empresas de que la evaluación del desempeño sea complementada con medidas de resultados para saber si las políticas, estrategias y metas ambientales son efectivas. El método de pesquisa fue el mixto (CRESWELL, 2007) que combina un levantamiento cualitativo y cuantitativo de datos ambientales.

Para realizar la pesquisa primeramente fue utilizado un levantamiento cualitativo. La colecta de los datos precisó de un estudio teórico sobre los procesos de evaluación de desempeño ambiental y las mejores prácticas en el sector empresarial cubano.

Para el estudio práctico fueron seleccionadas cuatro PyMCE (dos de *fuel-oil* y dos de *diesel*) de la Unidad Básica de Generación Distribuida de la provincia de Villa Clara, Cuba.

La obtención de los datos primarios fue mediante entrevistas a directivos para clarificar las estrategias ambientales, trabajo en grupo para identificar los aspectos e impactos ambientales en cada central hasta definir y agrupar los indicadores ambientales utilizando las perspectivas del *Balanced Scorecard (BSC)*.

Posteriormente se pasó a la segunda fase de la pesquisa dónde el procedimiento de evaluación comenzó a ser implementado. En esta fase fue de gran importancia el levantamiento cuantitativo que permitió coleccionar y establecer las relaciones entre los indicadores propuestos para la aplicación del *ANP*, lo que permitió la ponderación de los indicadores y el cálculo del índice global de desempeño.

Finalmente fue realizada la comparación de los valores calculados de los índices para la interpretación y validación de los resultados por el equipo de trabajo, permitiendo cuantificar el desempeño ambiental e identificar puntos críticos en el desempeño ambiental de las PyMCE.

### 4. Resultados

El procedimiento (Figura 1) tiene como objetivo evaluar el desempeño ambiental a través del establecimiento de un conjunto de indicadores ambientales, derivados de las estrategias, aspectos e impactos ambientales; integrándolos en un índice global de desempeño ambiental (*IGDA*) haciendo uso de herramientas como: método multicriterio *ANP* y el *Balanced Scorecard*. En este trabajo se hará énfasis en las fases 3 y 4 del procedimiento.

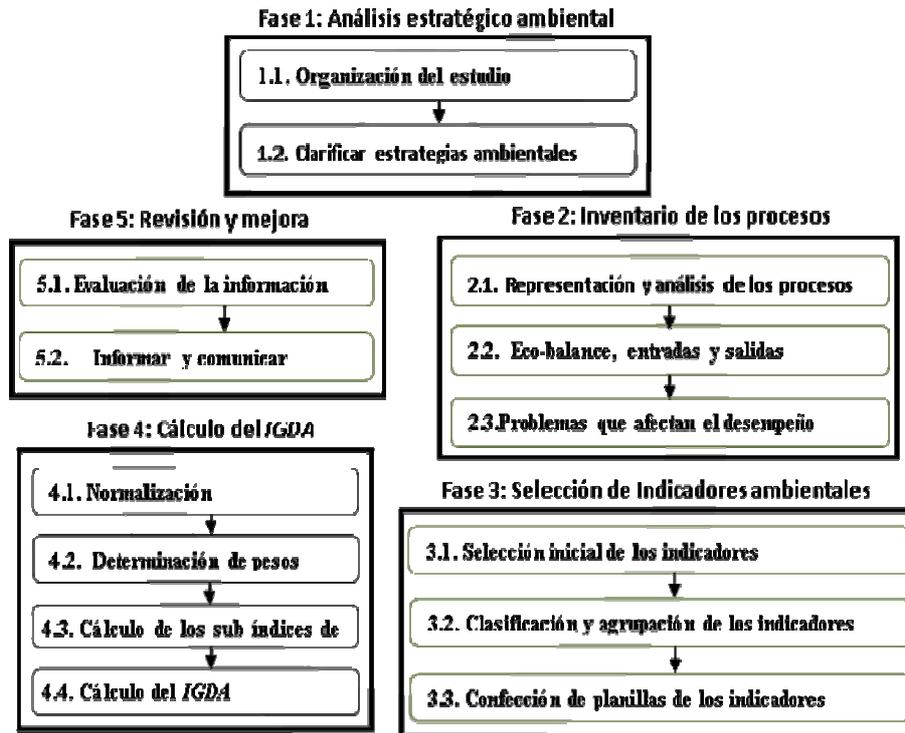


Figura 1. Procedimiento propuesto para la evaluación del desempeño ambiental.

El procedimiento se aplicó en cuatro centrales eléctricas de la red de generación distribuida de la provincia de Villa Clara, de ellas 2 de *fuel-oil* (CEF1 y CEF2) y 2 de *diesel* (CED1 y CED2). Las fases 1 y 2 sirvieron para recopilar toda la información necesaria determinándose los principales impactos ambientales (clasificados en severos y moderados) como muestra la Figura 2.

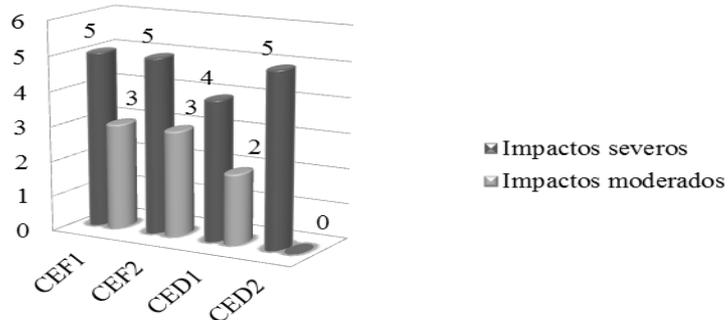


Figura 1. Total de impactos severos y moderados por CE.

En la fase 3 se seleccionaron inicialmente un total de 27 indicadores ambientales agrupados en las cuatro perspectivas del *BSC* y se ordenaron, para valorar cuáles según su importancia debían incluirse; limitando el número de indicadores seleccionados a cinco como máximo por perspectiva. En la Tabla 1 se muestran los indicadores ambientales que quedaron por cada perspectiva según la valoración del grupo de especialistas.

Tabla 1. Indicadores ambientales definidos por perspectivas.

Perspectivas	Código	Indicadores
Finanzas	F1	<u>Costo de generación del MW (\$/MW)</u> : es el resultado de la multiplicación de la cantidad de combustible consumido (ton) por el precio (\$/ton), dividido por la cantidad de MW generados ( <i>Operacional</i> )
	F2	<u>Inversiones ambientales (\$/año)</u> : mide el grado de ejecución monetaria de las inversiones de carácter ambiental o que tengan un impacto positivo sobre el medio ambiente en el periodo analizado ( <i>Gestión</i> )
	F3	<u>Costos ambientales por caracterización (\$/año)</u> : son el resultado de la contratación de servicios ambientales a terceros ( <i>Gestión</i> )
	F4	<u>Multas impuestas</u> : evaluar en función de la cantidad de multas y los importes el estado de la central. 0 multas → Bien (7), 1 multa ≤ \$5000 → Regular (5) y 2 multas o 1 multa > \$5000 → Mal (3) ( <i>Legalidad</i> )
Partes interesadas	S1	<u>Número de incidentes ambientales y/o quejas de la comunidad</u> : Para su evaluación se utiliza la siguiente escala. 0 → Bien (7), 1 → Regular (5) y 2 o más → Mal (3) ( <i>Legalidad</i> )
	S2	<u>Deficiencias promedio detectadas en auditorías</u> : el total de incidencias detectadas por auditorías tanto internas como externas sobre el total de auditorías. 0 → Bien (7), 1 ó 2 → Regular (5) y 3 ó más → Mal (3) ( <i>Gestión</i> )
	S3	<u>Cumplimiento de las regulaciones</u> : listar los requisitos regulatorios a cumplir (leyes y decretos). Asignar valor 1 a los que se cumplen totalmente, 0,5 a los que se cumplen parcialmente y el valor 0 a los que no se cumplen ( <i>Legalidad</i> )
	S4	<u>Número de auditorías internas</u> : total de auditorías internas programadas, realizadas en el periodo ( <i>Gestión</i> )
	S5	<u>Satisfacción de partes interesadas</u> : se calcula en función de las evaluaciones realizada por las partes interesadas del desempeño de la unidad ( <i>Legalidad</i> )
Procesos internos	PI1	<u>Consumo específico fuel oil o diesel (g/kWh)</u> : Combustible consumido (gramos) sobre los kWh generados ( <i>Operacional</i> )
	PI2	<u>Lodos y aguas residuales generados por el consumo de combustible + aceites</u> : lodos generados (litros) por las CE sobre la generación del periodo (MW) y aguas residuales (m <sup>3</sup> ) sobre la generación del periodo ( <i>Operacional</i> )
	PI3	<u>Consumo de agua por kW (m<sup>3</sup>/MW)</u> : total de agua consumida en el periodo (m <sup>3</sup> ) sobre el total generado (MW) ( <i>Operacional</i> )
	PI4	<u>Nivel de ruido</u> : compara los estudios realizados en el periodo con los valores establecidos en la NC 19-01-04: 80 ( <i>Operacional</i> )
	PI5	<u>Emissiones gaseosas</u> : contabiliza las emisiones totales emitidas por el proceso de generación resultado de los kWh generados por el factor de emisión del combustible utilizado ( <i>Operacional</i> )
Crecimiento y aprendizaje	CA1	<u>Trabajadores que tienen requisitos ambientales en la descripción de sus puestos</u> : razón de trabajadores con requisitos ambientales sobre total de trabajadores ( <i>Gestión</i> )
	CA2	<u>Trabajos de mejoras ambientales generados por trabajadores</u> : 2 → Bien (7), 1 → Regular (5) y 0 → Mal (3) ( <i>Gestión</i> )
	CA3	<u>Resultados de las encuestas realizadas a los empleados acerca de su conocimiento de los asuntos ambientales de la organización</u> : resultados de las evaluaciones realizadas por el departamento de calidad a los trabajadores ( <i>Gestión</i> )
	CA4	<u>Promedio de horas de capacitación por trabajador</u> : ( <i>Gestión</i> )

En la fase 4 se procede a calcular el *IGDA*, en la Figura 3 se observa la estructura jerárquica del índice propuesto. El elemento cumplimiento de la legalidad se refiere al cumplimiento de las regulaciones por parte de la organización (para evaluar el mismo se aceptan valores de bueno, regular y mal cumplimiento) estando asociadas estas categorías a los valores de 1, 0,5 y 0.

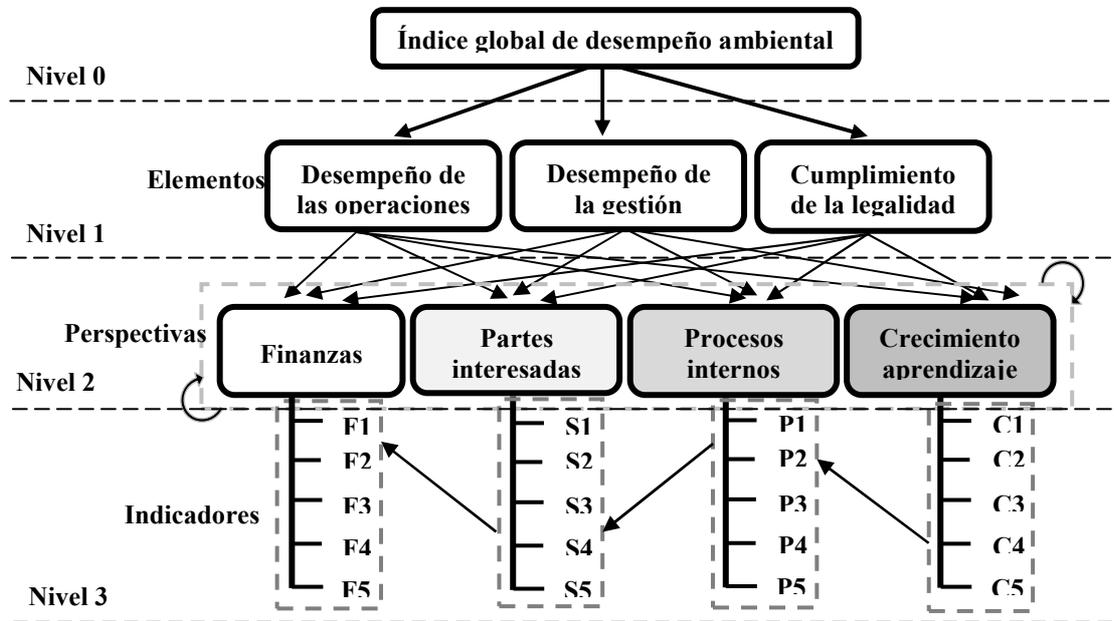


Figura 2. Estructura de la evaluación del desempeño ambiental basado en redes analíticas (*ANP*).

Para el cálculo del *IGDA*, es necesario definir un subíndice para cada una de las cuatro perspectivas del *BSC* y luego integrarlos en una sola expresión donde se tome en cuenta la importancia relativa de cada indicador y perspectiva, con el método multicriterio *ANP*, brindando una visión integral del desempeño ambiental empresarial.

Para el cálculo del índice global de desempeño ambiental se propuso la Fórmula 1, la que tiene como variables el peso de cada perspectiva, el peso del indicador dentro de la perspectiva y el valor normalizado del indicador.

$$IGDA = \sum_{j=1}^{j=4} \sum_{i=1}^{i=n} Wp_j Wl_{ij} R_{ij} \quad (1)$$

*IGDA*: Índice global de desempeño ambiental. Valor acotado entre 0 y 1.

$Wp_j$ : El peso de la perspectiva *j*.

$Wl_{ij}$ : El peso del indicador *i* en la perspectiva *j*.

$R_{ij}$ : Valor normalizado del indicador *i* de la perspectiva *j*.

Para el cálculo de los subíndices de cada perspectiva se utilizó la Fórmula 2, que permite ilustrar cómo se están comportando los indicadores de determinada perspectiva.

$$IP_j = \sum_{i=1}^{i=n} Wl_{ij} R_{ij} \quad (2)$$

$IP_j$ : Índice de la perspectiva *j*.

$Wl_{ij}$ : El peso relativo del indicador *i* en la perspectiva *j*.

$R_{ij}$ : Valor normalizado del indicador *i* de la perspectiva *j*.

Para el cálculo de los pesos se utilizó el *software SuperDecisions* desarrollado y

coordinado por Saaty, que implementa el método ANP, disponible para descargar en el sitio <http://www.SuperDecisions.com>. Fue construcción de la matriz local (Tabla 2) se identificaron las relaciones existentes entre los nodos de los niveles cero, uno y dos.

Tabla 2. Matriz de alcance local para los grupos estrategia ambiental y perspectivas.

		Meta	Gestión	Legalidad	Operacional	F	S	PI	CA
Nivel 0	Meta	0	0	0	0	0	0	0	0
	Gestión	1	0	0	0	0	0	0	0
Nivel 1	Legalidad	1	0	0	0	0	0	0	0
	Operacional	1	0	0	0	0	0	0	0
Nivel 2	F	0	1	1	1	0	1	1	1
	S	0	1	1	1	1	0	1	1
	PI	0	1	1	1	1	1	0	1
	CA	0	1	1	1	1	1	1	0

Se identificaron las relaciones de dependencia entre los indicadores que finalmente quedaron seleccionados, confeccionándose un mapa de relación de indicadores (Figura 4) que facilita determinar cuáles indicadores se relacionan con mayor fuerza. Se enfatizan dos tipos de relaciones, directas (línea continuas) e indirectas (líneas discontinuas).

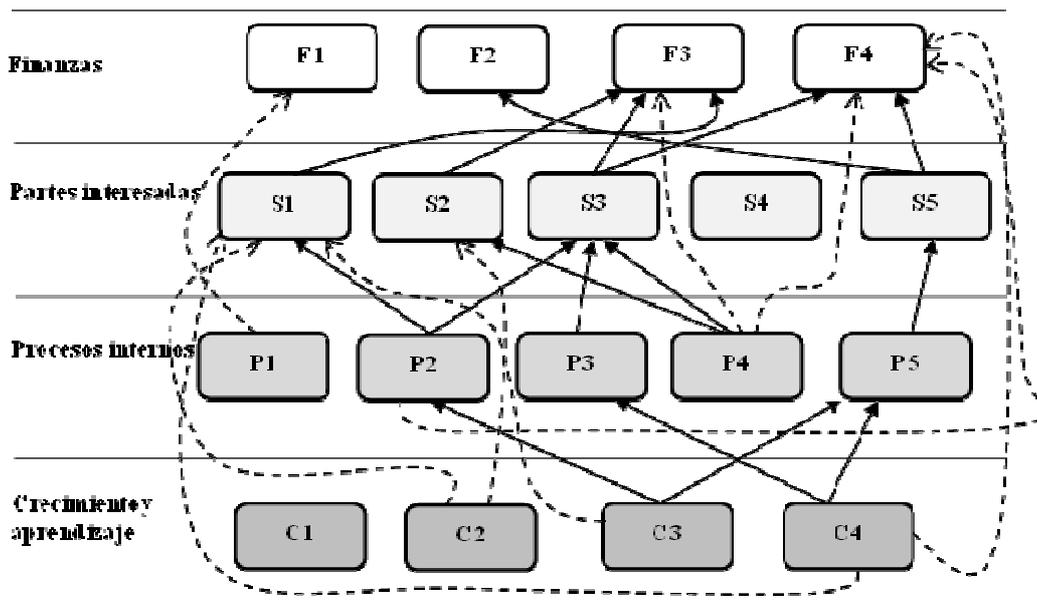


Figura 3. Relaciones de dependencia o causales entre indicadores

Luego de identificar relaciones de dependencia y conformar las matrices de alcance global y local se procedió a emitir los juicios de los expertos desde niveles superiores a los inferiores tomándose el valor modal de los juicios, en caso de empate se escogió el valor más cercano a la media de los juicios emitidos. Las Tablas 3, 4 y 5 muestran los resultados. Los valores de inconsistencia se mantuvieron entre 0,04 y 0,10.

Tabla 3. Juicios emitidos entre por los expertos para los elementos.

I=0.0147	Gestión	Legalidad	Operacional	Vector
Gestión	1	0,5	0,33	0,17
Legalidad	2	1	1	0,39
Operacional	3	1	1	0,44

Tabla4. Pesos de las perspectivas del *Balanced Scorecard*.

Perspectiva <sub>j</sub>	Peso ( $Wp_j$ )
Finanzas	0,24
Partes interesadas	0,29
Procesos internos	0,26
Crecimiento y aprendizaje	0.21

Tabla 5. Pesos de los indicadores por perspectivas.

<b>Finanzas</b>	<b>F1</b>	0,01	<b>Partes interesadas</b>	<b>S1</b>	0,07	<b>Procesos internos</b>	<b>P1</b>	0,015	<b>Crecimiento y aprendizaje</b>	<b>C1</b>	0,143
	<b>F2</b>	0,066		<b>S2</b>	0,002		<b>P2</b>	0,399		<b>C2</b>	0,071
	<b>F3</b>	0,214		<b>S3</b>	0,654		<b>P3</b>	0,361		<b>C3</b>	0,357
	<b>F4</b>	0,71		<b>S4</b>	0,001		<b>P4</b>	0,003		<b>C4</b>	0,429
		<b>S5</b>		0,273	<b>P5</b>		0,222				

Calculado los pesos de las perspectivas y los indicadores, se homogenizaron y normalizaron los indicadores ambientales. Haciendo uso de la Fórmula 1 se calcularon los índices globales de desempeño ambiental (*IGDA*) para cada central eléctrica. Los valores son mostrados en la Figura 5.

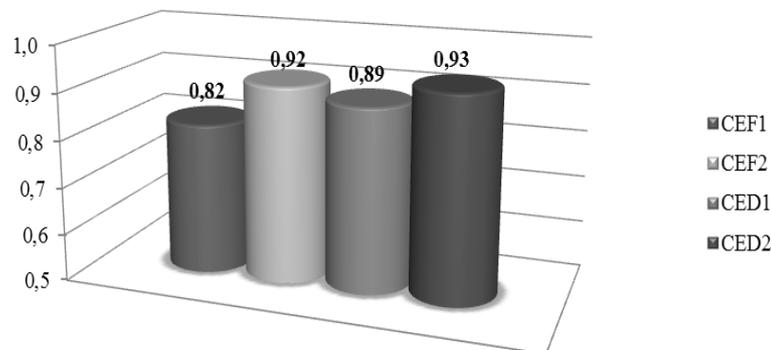


Figura 5. *IGDA* de las cuatro centrales eléctricas.

Para la confección de la escala se trabajó con los especialistas y se tomó como base varios escenarios posibles del índice, basados en las nueve unidades en que se divide la escala de dominación de Saaty. Utilizando la escala de evaluación de desempeño definida se evaluaron las PyMCE lo que demostro que tres cetrales eléctricas fueron evaluadas de bien y una de regular, según los criterios mostrados a continuación:

Saaty	Rango	Nivel de evaluación
7-8	$0,85 \leq IGDA < 0,95$	<b>Bien:</b> el desempeño ambiental se ajusta bien a las metas ambientales definidas con algunas posibilidades de mejora.
5-6	$0,75 \leq IGDA < 0,85$	<b>Regular:</b> el desempeño ambiental se ajusta regular a las metas ambientales y tiene posibilidades de mejoras significativas.

## 5. Conclusiones

En el artículo se propone un procedimiento que permite evaluar el desempeño ambiental de una organización, estableciendo una línea de acción para seleccionar, recopilar, analizar, integrar y evaluar los indicadores ambientales empresariales, que respondan a las políticas, estrategias y aspectos ambientales más relevantes de la organización. El procedimiento quedó estructurado en cinco fases: análisis estratégico ambiental, inventario de los procesos, selección de indicadores ambientales, cálculo del índice global de desempeño ambiental y revisión y mejora.

Se utilizó el método mixto combinando un levantamiento cualitativo enmarcada principalmente en las tres primeras fases y cuantitativo en las dos restantes.

Un aporte de la investigación fue el índice global de desempeño ambiental, que integra en un valor único los indicadores de desempeño, de gestión y el cumplimiento de la legislación, en los subíndices de las perspectivas de un *BSC*: “Finanzas”, “Partes interesadas”, “Procesos internos” y “Crecimiento y aprendizaje”. Además se hace uso de un método de toma de decisiones con criterios múltiples, el *ANP*, para establecer las prioridades de las perspectivas e indicadores que componen el *IGDA*. La combinación de todas estas técnicas y métodos pueden ayudar en la naturaleza compleja de los fenómenos ambientales que hacen necesario la integración de los indicadores en un índice agregado donde se tengan en cuenta las posibles relaciones que puedan existir entre ellos.

La aplicación del procedimiento se llevó a cabo en cuatro pequeñas y medianas centrales eléctricas cubanas de la GD, lo que permitió demostrar la factibilidad de aplicación.

La principal fortaleza de la propuesta de este artículo radica en la estructuración coherente del procedimiento que orienta a la organización sobre qué debe medir, basado en las estrategias ambientales; combinando los juicios de los especialistas con la medición de los indicadores de desempeño, de gestión y de legalidad en el *IGDA*, el que puede ser evaluado de modo continuo, visualizando avances y retrocesos en el desempeño ambiental. Otro elemento importante es la inclusión de las percepciones de las partes interesadas en la evaluación.

Como continuidad de la investigación, se están analizando nuevos objetos de estudio para la aplicación del procedimiento tanto en el propio sector energético como en otros sectores productivos, permitiendo establecer un benchmarking interno. Igualmente se está considerando la posibilidad de desarrollar una herramienta informática que facilite: el almacenamiento de la información, el cálculo del *IGDA* y la generación de reportes del comportamiento de los diferentes indicadores asociados al desempeño ambiental de la organización.

## Referências

- Ackermann, T., Andersson, G. e Söder, I.** (2001). Distributed generation: a definition. *Electric Power Systems Research*, 57, 195–204.
- Banai, R. e Wakolbinger, T.** (2011). A measure of regional influence with the analytic network process. *Socio-Economic Planning Sciences*, 45, 4, 165-173.
- Broche-Fernández, Y. e Ramos-Gómez, R.** (2010). Procedimiento para la gestión de residuos generados en instalaciones hoteleras cubanas. *Retos Turísticos*, 9, 3, 13-19.
- Chiang, C. e Lai, C. M.** (2002). A study on the comprehensive indicator of indoor environment assessment for occupants' health in Taiwan. *Build Environment*, 37, 4, 387–392.
- Chia-Wei, H.** (2011). Using the FDM and ANP to construct a sustainability balanced scorecard for the semiconductor industry. *Expert Systems with Applications*, 38, 10, 12891-12899.
- Creswell, J. W.** *Projeto de pesquisa: Métodos qualitativo, quantitativo e misto*. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.
- García-Fernández, J. M.** (2002). Algunas reflexiones sobre el desarrollo de la gestión ambiental cubana. *Cub@: Medio ambiente y Desarrollo*, 2.
- GEODEM.** *Manual de Gestión y Seguimiento de Proyectos Ambientales*. Xunta de Galicia y Unión Europea. Galicia. 2007.
- Henri, J.-F. e Journeault, M.** (2008). Environmental performance indicators: An empirical study of Canadian manufacturing firms. *Journal of Environmental Management*, 87, 165–176.

- Hermansa, E., Van den Bosscheb, F. e Wets, G.** (2008). Combining road safety information in a performance index. *Accident Analysis and Prevention*, 1337–1344.
- Hernández, C. T., Marins, F. A. C., Rocha, P. M. e Durán, J., A. R.** (2010) Using AHP and ANP to Evaluate the Relation between Reverse Logistics and Corporate Performance in Brazilian Industry. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, 7, 2, 47-62.
- Ilinitch, A. Y., Soderstrom, N. S. e Thomas, T. E.** (1998) Measuring corporate environmental performance. *Journal of Accounting and Public Policy*, 17, 4,5, 383.
- Lakatos, E. M. e Marconi, M. A.** *Metodología científica*. São Paulo: Atlas, 1986.
- Lober, D.** (1996). Evaluating the environmental performance of corporations. *The Journal of Managerial Issues*, 8, 2, 184-205.
- Ludevid, M., Feliu, Á. e Amat, A.** Índice de Presión Ambiental: Resumen Ejecutivo. *Fundación Fòrum Ambiental*, 2006. ([www.forumambiental.org/pdf/IPA.pdf](http://www.forumambiental.org/pdf/IPA.pdf), 10, 2011).
- NC-ISO 14001.** *Sistemas de Gestión Ambiental, Requisitos con Orientación para su Uso*. Oficina Nacional de Normalización. La Habana. 2004.
- NC-ISO 14031.** *Gestión Ambiental, Evaluación del Desempeño Ambiental: Directrices*. Oficina Nacional de Normalización. La Habana. 2005.
- Neely, A., Gregory, M. e Platts, K.** (1995). Performance measurement system design: a literature review and research agenda. *International Journal of Operations and Production Management*, 4, 15, 80–116..
- Olsthoorn, X. e Tyteca, D.** (2001). Environmental indicators for business: a review of the literature and standardisation methods. *Journal of Cleaner Production*, 9, 453–463.
- Ormazabal, F. J. e Larrañaga, E.** *Guía de indicadores medioambientales para la empresa*. Ministerio Federal de Medio Ambiente de Alemania. Berlin, p. 30-48. 1999.
- Paoli, D. e Moraes, I. A. D. F.** (2011) Apoio multicritério à decisão como subsídio à gestão ambiental: o caso da Aggreko Brasil. *Gest. Prod.*, 18, 2, 379-390.
- Puolamaa, M., Kaplas, M. e Reinikainen, T.** Index of Environmental Friendliness: a methodological study. *Eurostat/Statistics Finland*, 1996.
- Saaty, R. Ww. e Saaty, T. L.** The Analytic Hierarchy Process (AHP) for Decision Making and The Analytic Network Process (ANP) for Decision Making with Dependence and Feedback. *SuperDecisions*, 2003. ([www.superdecisions.com/demos\\_tutorials.php3](http://www.superdecisions.com/demos_tutorials.php3), 03, 2011).
- Saaty, T. L. *The analytic hierarchy process planning, priority setting, resource allocation*. New York: McGraw-Hill, 1980.
- Saaty, T. L. *Decision Making with Dependence and Feedback. The Analytic Network Process*. Pittsburgh: RWS Publications, 1996.
- Sellito, M. A., Borchardt, Mm. e Pereira, G. M.** (2010). Modelagem para avaliação de desempenho ambiental em operações de manufatura. *Gest. Prod.*, 17, 1, 95-109.
- Wang, J.-Y., Wang, B. e Zhao, Q. C.** (2006). Application of Balanced Scorecard and Analytic Network Process to Enterprise Performance Evaluation. *Industrial Engineering Journal*, 1, 4-17.
- Wen-Shiung, I.** (2011). Analysis of decision making factors for equity investment by DEMATEL and Analytic Network Process. *Expert Systems with Applications*, 38, 8375–8383.
- Yüksel, I. e Dagdeviren, M.** (2010). Using the fuzzy analytic network process (ANP) for Balanced Scorecard (BSC): A case study for a manufacturing firm. *Expert Systems with Applications*, 37, 1270–1278.
- Zhou, P., Ang, B. W. e Poh, K. L.** (2006). Comparing aggregating methods for constructing the composite environmental index: An objective measure. *Ecological Economics*, 59, 305-311.