

42

Fecha de presentación: Junio, 2018

Fecha de aceptación: Julio, 2018

Fecha de publicación: Octubre, 2018

EVALUACIÓN AMBIENTAL

DE LA TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN CIENFUEGOS

ENVIRONMENTAL EVALUATION OF THE TRANSMISSION AND DISTRIBUTION OF ELECTRICAL ENERGY IN CIENFUEGOS

Dr. C. Eduardo Julio López Bastida¹

E-mail: kuten@ucf.edu.cu

MSc. Yanelys Álvarez Sánchez¹

E-mail: yasanchez@ucf.edu.cu

¹ Universidad de Cienfuegos. Cuba.

Cita sugerida (APA, sexta edición)

López Bastida, E. J., & Álvarez Sánchez, Y. (2018). Evaluación ambiental de la transmisión y distribución de energía eléctrica en Cienfuegos. *Universidad y Sociedad*, 10(5), 313-322. Recuperado de <http://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus>

RESUMEN

El presente trabajo pretende mostrar los resultados obtenidos de una investigación realizada cuyo objetivo fundamental fue evaluar el perfil ambiental de los procesos de transmisión y distribución de energía eléctrica en la provincia de Cienfuegos. Para la realización del mismo se toma como referencia la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) que aparece en la serie de normas NC ISO 14040. Esto se complementa con el método de evaluación de categorías de impacto Eco-Speed, predeterminado en la herramienta informática SimaPro 7.1. El trabajo lleva a la obtención de conclusiones al llegar a resultados concretos mediante la aplicación del Análisis de Ciclo de Vida de la transmisión y distribución de la energía eléctrica en el territorio cienfueguero. Además se proponen una serie de medidas que deben ser aplicadas por la Empresa Eléctrica para la disminución del consumo de los recursos y de los impactos ambientales que producen dichos procesos.

Palabras clave: Energía eléctrica, Ciclo de Vida, transmisión, distribución, impacto ambiental.

ABSTRACT

The present work pretends to show the results obtained from a realized investigation whose fundamental objective was to evaluate the environmental profile of the processes of transmission and distribution of the electrical energy in the province of Cienfuegos. For the realization of the investigation was taken as a reference, the methodology of Life Cycle Analysis (LCA) that appears in the series of standards NC ISO 14040. This is complemented with the method of evaluation of impact categories Eco-Speed, predetermined in the SimaPro 7.1 computer tool. The work leads us to obtain conclusions when arriving at concrete results through the application of the Life Cycle Analysis of the transmission and distribution of electrical energy in the Cienfuegos territory. In addition, a series of measures are proposed that must be applied by the Electricity Enterprise to reduce the consumption of resources and the environmental impacts produced by the mentioned processes.

Keywords: Electric energy, Cycle of life, transmission, distribution, environmental impact.

INTRODUCCIÓN

Cada día cobra mayor importancia el cuidado del medio ambiente. La proyección mundial de los problemas ambientales se inicia en la década de los años 60, cuando al poderío tecnológico ya alcanzado se impone a la revolución científico - técnica y al desarrollo sin racionalidad ambiental, lo que en consecuencia motiva que con sus efectos y amenazas, se pongan en peligro no ya los valores de la naturaleza, sino la propia existencia del hombre. Sin lugar a dudas, el crecimiento económico y el desarrollo tecnológico sin límites, ha agudizado los problemas ambientales en los últimos tiempos. El Medio Ambiente constituye en la actualidad una de las temáticas de gran interés dentro del campo de la investigación y de la gestión empresarial, su control es una herramienta de gran valor.

El sector energético es catalogado como el de mayores impactos ambientales, el mismo genera impactos en todos los frentes. La mitigación, reducción y eliminación de estos impactos representa un reto constante para cada uno de estos procesos (García Bermúdez, 2011).

Tradicionalmente, y debido a las profundas implicaciones que tiene la transmisión y distribución de energía sobre el desarrollo económico y el bienestar social, el objetivo de la política energética ha consistido en garantizar los requerimientos de energía de la sociedad, a un precio que no ponga en riesgo la competitividad de la actividad económica de las empresas, ni la accesibilidad a los recursos energéticos de los hogares.

En los últimos años se ha añadido un objetivo adicional a esta política, la reducción del impacto del sistema energético sobre el medio ambiente, que se concreta en la reducción de contaminantes atmosféricos dañinos para el medio ambiente y la salud.

Para Cuba, hoy es todo un reto poder implantar en sus empresas estudios de Análisis de Ciclo de Vida (en lo adelante ACV), porque esta además de hacer una mejora medioambiental a cualquier proceso o producto, también es mucho más amplia y abarcadora que algunas de las demás herramientas de Gestión Ambiental. El Análisis de Ciclo de Vida, permite a las empresas, tener un enfoque proactivo, es decir, conocer los daños que generan con el diseño de un producto, proceso o servicio antes que estos impacten al ambiente o al propio hombre.

En el Ministerio de Energía y Minas, de Cuba, la protección ambiental constituye un objetivo fundamental, y es asumido por la dirección de cada entidad como una responsabilidad directa y prioritaria. La responsabilidad de la dirección y la participación activa de todo el personal,

es el elemento clave para el éxito y desarrollo de un correcto Sistema de Gestión Ambiental, para este se apoyan en conjunto de leyes como son la (Cuba. Ministerio Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, 1997), el Sistema de Normas Cubanas de protección del Medio Ambiente (grupo 93) y el Sistema de Normas ISO-14000, además de un conjunto de Leyes, Decretos, Resoluciones y otras disposiciones legales que completan la documentación vigente.

La Empresa Eléctrica de Cienfuegos es una entidad que dentro de su objeto social está la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica, para la prestación de servicio tanto al sector residencial como al sector estatal y privado.

El proceso de transmisión y distribución de la electricidad, desde los puntos de generación hasta los puntos de consumo tiene asociada la ocurrencia de impactos ambientales que están ligados tanto a la presencia de las instalaciones de transporte de la electricidad (líneas) y las subestaciones de transformación, como a la existencia de instalaciones de apoyo destinadas al mantenimiento y reparación de las mismas. La empresa se encuentra enfrascada en desarrollar un serio trabajo en cuanto a la mitigación de estos impactos, dentro de los cuales se encuentran: impactos sobre el suelo, impactos sobre la vegetación, impactos sobre la fauna, impactos sobre el paisaje y otros impactos.

DESARROLLO

Lograr la sostenibilidad en el desarrollo es la opción para enfrentar los efectos nocivos de la contaminación ambiental, la degradación y sobreexplotación de los recursos naturales. La Economía Ecológica parte de la idea de que el ser humano puede vivir de una manera sustentable con las demás especies y recursos naturales que el planeta ofrece. Específicamente señala y pone en cuestión el modelo actual de desarrollo y condena la economía clásica que piensa en modelos cerrados y en términos únicamente crematísticos (\$) sin importar el bienestar y el respeto hacia otras especies.

La Economía Ecológica estudia las relaciones entre el sistema natural y los subsistemas social y económico, incluyendo los conflictos entre el crecimiento económico y los límites físicos y biológicos de los ecosistemas debido a que la carga ambiental de la economía aumenta con el consumo y el crecimiento demográfico.

La Economía Ecológica utiliza indicadores físicos, biológicos y energéticos, tales como:

- Huella Ecológica.

- Índice de Planeta Vivo.
- Apropiación Humana de la Producción Primaria Neta.
- Input Material por Unidad de Servicio.
- Indicadores de Flujo de Materiales.
- Huella Hídrica Agrícola y Agua Virtual.
- Los Balances Energéticos de las Actividades Económicas y el Análisis Integrado Multiescalar del Metabolismo Social.
- Ciclo de Vida.

El Análisis del Ciclo de Vida, es un proceso objetivo para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad, identificando y cuantificando tanto el uso de materia y energía como las emisiones al entorno, para determinar el impacto de ese uso de recursos y esas emisiones para evaluar y llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental. El estudio incluye el ciclo completo del producto, proceso o actividad, teniendo en cuenta las etapas de: extracción y procesado de materias primas, producción, transporte y distribución, uso, reutilización y mantenimiento, reciclado y disposición final.

Etapas y aplicaciones del Análisis del Ciclo de Vida

La definición de la ISO en su serie ISO 14040, determina que: "El ACV es una técnica para estimar los aspectos ambientales y los impactos potenciales asociados con un producto, a través de:

- La compilación de un inventario de entradas y salidas relevantes de un sistema producto.
 - La evaluación de los impactos ambientales potenciales asociados con estas entradas y salidas.
 - La interpretación de los resultados del inventario y de las etapas de evaluación del impacto en relación con los objetivos del estudio que se le aplica actualmente en el ACV consta de cuatro componentes, que se describen a continuación.
1. **Marco metodológico.** Incluye la definición de objetivo y alcances, función, unidad funcional y fronteras del sistema.
 2. **Inventario del Ciclo de Vida (ICV).** Se identifican y cuantifican las entradas y salidas de cada etapa del Ciclo de Vida.
 3. **Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida (EICV).** Consiste en la determinación de las relaciones existentes entre las salidas y el medio ambiente a partir de la interpretación de la información generada en el análisis del ICV, clasificando los efectos ambientales en diferentes categorías de impacto ambiental y modelando indicadores para cada categoría.

4. **Interpretación / Evaluación de mejoras.** Se busca, a partir de las consecuencias ocasionadas por las entradas y salidas, establecer prioridades para la búsqueda de mejoras en el sistema.

Existen diferentes usos y aplicaciones del ACV, como primer enfoque se pueden clasificar sus usos como generales y particulares (Sonnemann, Castells & Schuhmacher, 2003).

Las aplicaciones generales incluyen:

- Comparación de diferentes alternativas.
- Identificar puntos de mejora ambiental.
- Tener una perspectiva global de problemas ambientales y evitar generar nuevos problemas.
- Contribuir al entendimiento de las consecuencias ambientales de las actividades humanas.
- Conocer las interacciones entre un producto o actividad y el medio ambiente lo más pronto posible.
- Dar información que apoye a los tomadores de decisiones a identificar oportunidades para mejoras ambientales.

En resumen, la principal función del ACV es la de brindar soporte para tomar las decisiones que se relacionan con productos o servicios; y más específicamente, la de conocer las posibles consecuencias ambientales relacionadas con el uso de un producto o con la configuración y utilización de un servicio (Romero Rodríguez, 2003).

Luego de aplicada la metodología del Ciclo de Vida para la transmisión y distribución de energía eléctrica a través de las líneas distribuidas por todo el territorio de la provincia de Cienfuegos en el año 2012 se obtuvieron los siguientes resultados:

Descripción de procesos

La energía eléctrica de la provincia de Cienfuegos proviene del SEN como sistema único interconectado y lleva energía a todo el territorio con la incidencia de la producida por la termoeléctrica Carlos Manuel de Céspedes (en lo adelante CMC) y el aporte de la generación distribuida tanto tecnología diesel como fuel, los Centrales Azucareros, las mini hidroeléctricas y recientemente la incorporación de generación fotovoltaica usando la energía del sol. La energía comienza a distribuirse por la subestación Cienfuegos 220 kV puesto que a la misma llega la producida por la planta generadora CMC y a partir de aquí se distribuye usando las redes de transmisión a distancias relativamente grandes para luego ser transformada y llegue al cliente mediante las líneas de distribución, que implican menores distancias. Además, se transfiere y recibe energía por las fronteras con las provincias

aledañas a través de las subestaciones de Colón 110 kV desde Matanzas y desde Santa Clara 220 kV y La Moza 110 kV en Villa Clara usando las líneas de 34.5 kV.

Para todo el proceso de transmisión se cuenta con 4 líneas de 220 kV con 143.5 km de conductores y 306 estructuras de acero, una subestación de transmisión de 220 kV, 6 subestaciones de 110 kV residenciales, 2 subestaciones de 110 kV exclusivas, correspondiente a los clientes Refinería y Cemento Cienfuegos, además, 18 líneas de 110 kV con 272.1 km de conductores.

A partir de los puntos de entrada antes mencionados, la energía se transmite hacia 4 subestaciones de 110/34.5 kV, que enlazan todos los municipios de la provincia por 34,5 kV, además de 2 subestaciones de 110/13.8 kV en la ciudad de Cienfuegos. Por la posición geográfica de la provincia se transfiere y recibe energía de las provincias vecinas de Sancti Spiritus, Matanzas y Villa Clara.

En la provincia, la red de 34.5 kV cuenta con 24 circuitos y 484.2 km de conductores que transportan la electricidad a 147 subestaciones, tanto exclusivas para un solo cliente (estatales), como de distribución donde se transforma la energía a otro nivel de voltaje para que siga su distribución.

Una vez que la energía llega a las 147 subestaciones de distribución, es repartida mediante líneas de distribución (nivel primario) a un voltaje de 4160 V o 13 800 V hasta los transformadores de distribución ubicados en los postes de las calles, que a su vez transforman nuevamente a un voltaje inferior que es el que llega al cliente residencial finalmente con un valor de 120 V o 240 V (nivel secundario), según el servicio contratado.

Esta etapa de distribución cuenta con un total de 97 circuitos primarios y 1756.17 km de líneas conductoras y 3707 circuitos secundarios con 1234.5 km de conductores.

El aporte de la generación distribuida, como parte de la Revolución Energética en nuestro país, es fundamental a la hora de poder mantener el servicio ante una falla en alguno de los niveles de transporte, así como disminuir las pérdidas de la energía transportada por las líneas, esto se debe a que en la mayoría de los casos está ubicada en los puntos donde la electricidad entregada para transportar es distribuida en el mismo lugar y por tanto no necesita que sea transmitida desde otros puntos de origen, en el SEN, a través de las redes.

Enmarcándonos en el límite de tiempo planteado se obtuvo un inventario de elementos que tributaron al proceso que se analiza, definiendo las entradas y salidas del sistema.

Con todos los datos obtenidos de los diferentes sistemas de análisis y para dar cumplimiento a los objetivos propuestos, son incluidos estos en la herramienta de procesamiento de la información SimaPro7.1, de la cual, usando el método Eco-Speed, podrán ser obtenidos los impactos medioambientales y el perfil ambiental de la transmisión y distribución de energía eléctrica.

Evaluación del Impacto

Para evaluar el Ciclo de Vida de la transmisión y distribución de energía eléctrica se procesa la información recopilada en el software con la base de datos Eco-Speed, desarrollada para nuestras condiciones ambientales; usando categorías de análisis de datos de alto impacto sobre la salud humana, el agua, el aire, los suelos y los recursos energéticos propios del país y tomando como productos en su base de datos, las sustancias, aditivos, compuestos químicos, emisiones y vertimientos más notorios evaluados y validados para Cuba, dando además, prioridades de evaluación en función de llevar al país hacia un desarrollo sostenible; es capaz de brindar un análisis de mayor actualidad y más cercano a nuestras condiciones de explotación de los recursos naturales y los productos, así como llevarnos a poder evaluar los principales impactos que se producen sobre los ecosistemas. De ahí que las categorías de impacto mostradas por él se toman como significativas dándole a este método todo el potencial que posee para el Análisis de Ciclos de Vida dentro del contexto nacional de cualquier proceso (producto) y, por tanto, que sea el seleccionado para realizar nuestra evaluación de ACV en el transporte de energía eléctrica.

Después de definidas e introducidas las entradas y salidas del sistema se procedió a ejecutar la evaluación; y los resultados obtenidos para 1 kWh de energía transportada se muestran en la Figura 1, donde se muestra una evaluación solamente de la transmisión distribución de energía con vistas a compararlo con la evaluación global del sistema que comprende la generación de la electricidad como parte del ciclo de vida del proceso en estudio.

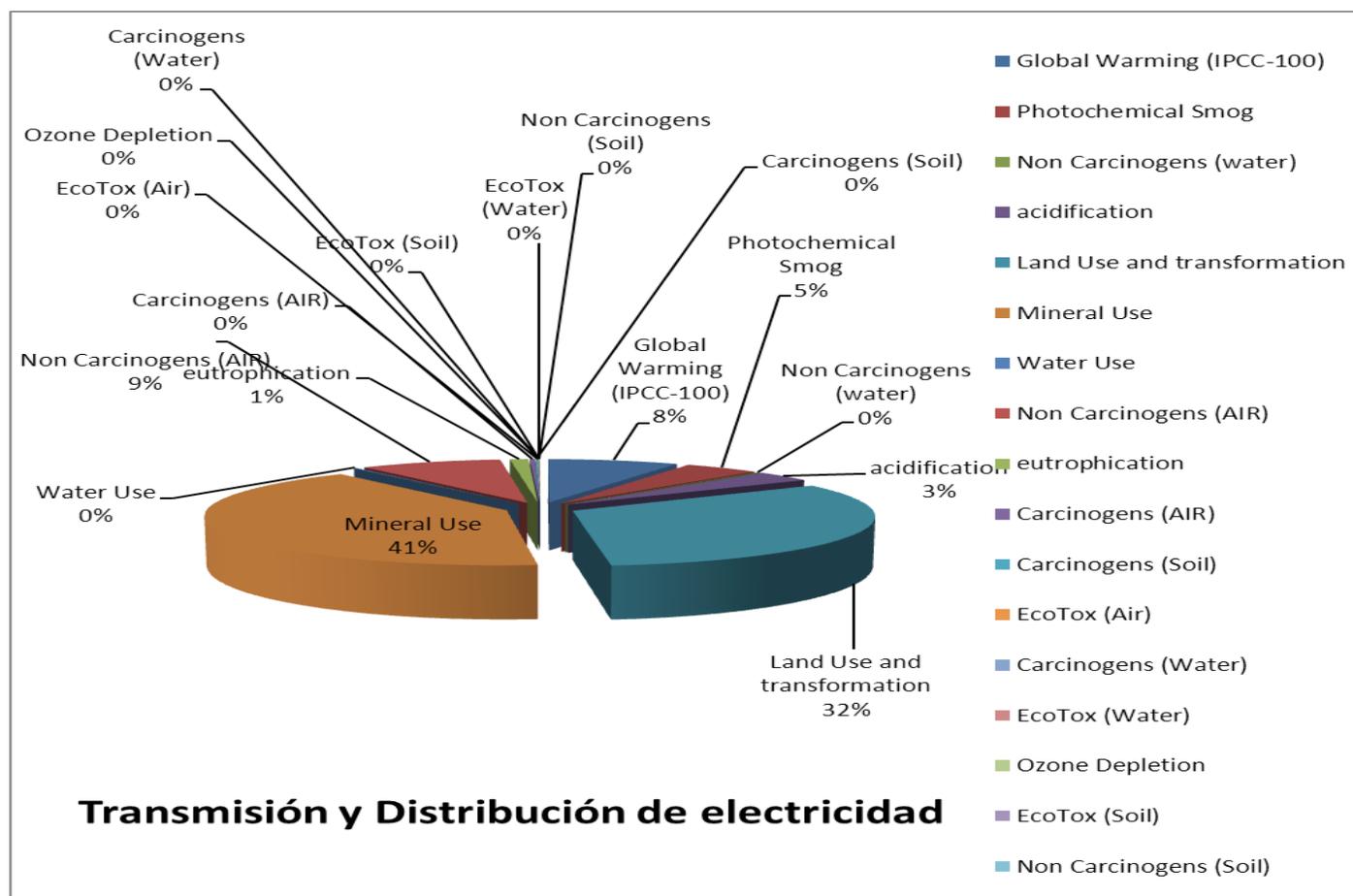


Figura 1. Análisis de impacto en la transmisión y distribución de energía eléctrica. Método Eco-Speed.

El uso de los minerales con un 41 %, el uso del suelo y su transformación con 32 %, las emisiones de no carcinogénicos al aire con 9 % y el calentamiento global con un 8 %, son las categorías que representan las partes predominantes. Un gran aporte lo tiene el uso y transformación del suelo con 32 %, esto debido a que los corredores de las líneas, que es por donde pasan las redes sobre las estructuras que las soportan, por normas establecidas, plantean que en dependencia del nivel de voltaje a ambos lados de las líneas debe haber una distancia mínima donde no exista ningún tipo de árbol, arbusto, maleza o demás elementos del ecosistema que puedan ocasionar situación alguna con la instalación (*Tabla 1*).

Tabla 1. Distancias mínimas de los corredores de líneas eléctricas.

Niveles de Voltaje	220 kV	110 kV	33 kV	Nivel Primario
Ancho de suelo usado por las líneas eléctricas (metros)	40 m	30 m	15 m	7 m

Con estos datos, aplicando las distancias de las redes planteadas anteriormente, con una afectación estimada de que las líneas que circulan por áreas rurales son el 85 % en el caso de la 34.5 kV y el 60 % para las redes primarias, las distancias estimadas de suelo usado está alrededor de 33.46 km^2 en todo el territorio.

Otra de las categorías de impacto de mayor influencia es el uso de minerales con 41 %, esto se debe a la gran cantidad de elementos que son utilizados en la conformación de las redes eléctricas. Tanto estructuras o postes, transformadores, conductores y herrajes para su montaje, están conformados de acero, aluminio, cobre entre otros. En el periodo analizado entraron al proceso unos 165 141 metros de acometidas de aluminio que constituyen alrededor de 66.1 toneladas y 5351 metros de acometidas de cobre que son unas 4.3 toneladas, adicionalmente 1.8 toneladas

de conductor de aluminio y 1.57 toneladas de alambres de cobre para enrollado de transformadores y otros usos. Adicionalmente entraron al proceso como parte del mantenimiento y de averías unos 348 postes de madera, 227 estructuras de hormigón armado y 24956.3 litros de distintos tipos de aceites. Esto por mostrar algunos elementos que dan idea del impacto que tienen en el uso de minerales y algunos de los varios materiales utilizados en el proceso, que inciden de una forma u otra en el medio ambiente y forman parte del Ciclo de Vida de la transmisión y distribución de energía eléctrica.

Pero para hacer un Análisis del Ciclo de Vida del proceso en estudio se tiene en cuenta el surgimiento de una de las

entradas principales del sistema que es la propia energía eléctrica, que no es más que un consolidado del aporte de los distintos tipos de generación con que se cuenta en la provincia de Cienfuegos; ellas son generación térmica, con los aportes del ACV realizado en la Termoeléctrica Carlos Manuel de Céspedes por García Bermúdez (2011), la generación distribuida con tecnologías diesel y fuel, con los resultados del ACV realizado en la centrales de generación distribuida de Fernández Rodríguez (2012), la incidencia con el uso de la caña de azúcar en los centrales azucareros y la generación hidroeléctrica, de aquí los resultados de la evaluación de impacto final mostrado en la Figura 2.

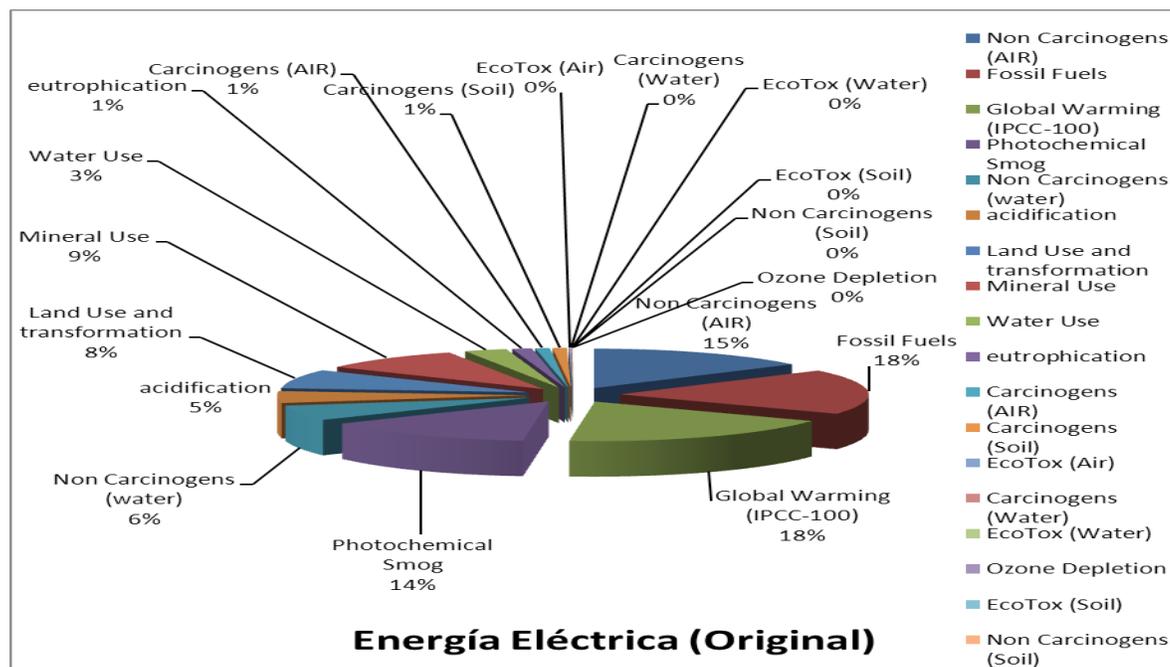


Figura 2. Evaluación de impacto del proceso de transmisión y distribución de electricidad de manera global con el aporte de la generación.

Se puede ver que el proceso de generación, como parte del ciclo de vida de la transmisión y distribución de electricidad, impone su impacto ambiental con un aumento del calentamiento global influyendo un 18 %, los combustibles fósiles igual con un 18 %, el smog fotoquímico con 14 % y los no carcinogénicos al aire con un incremento al 15 %; a pesar de una incidencia importante de las categorías de uso de minerales con 9 % y uso y transformación del suelo con 8 %, como aporte del proceso de transporte de electricidad.

Análisis de mejoras

Al analizarse los impactos se deduce que la minimización de los mismos está en función de reducir algunas

variables que tributen a minimizar la incidencia en el medio ambiente. Para ello se procede a reanalizar el sistema con dos propuestas de acciones de mejora y ver su influencia en el impacto del proceso en estudio, esas propuestas se listan a continuación.

- Realizar acciones para reducir las pérdidas técnicas en un 5 % de su valor en el período analizado.
- Realizar acciones para reducir el número de transformadores dañados en alrededor de un 10 %.

Explicación de las acciones de mejora

En toda línea de transporte de electricidad al circular este tipo de energía, ocurren pérdidas de la misma debido a

distintos fenómenos físicos, provocando que la energía que entró en el proceso de transmisión y distribución desde los puntos de entrega, que son las plantas de generación, se vea afectada y por tanto la energía que llega a los clientes o energía de salida del proceso, va a ser menor que esa que entró al mismo; la diferencia constituye lo que llaman pérdidas técnicas en la electricidad. Por todo esto las acciones en la transmisión y distribución son fundamentales para el impacto tanto de este proceso como en el de la generación con combustibles fósiles, eólica, solar u otra fuente, puesto que reduciendo las pérdidas técnicas se reduce la energía necesaria a generar para dar servicio a los clientes y cubrir la demanda de los mismos.

Por ello, la reducción de las pérdidas en las redes de transporte, constituye una de las acciones sobre las que se propone incidir. En el período analizado se puede apreciar que las mencionadas pérdidas tienen un valor promedio de 10.1 % del total de energía entrada en las redes de la provincia de Cienfuegos para ser distribuida a los clientes, o sea, de 797285.1 MWh que se recibió en los puntos de entrada, los clientes recibieron en total 716759.3 MWh, de manera que se perdieron en su camino a través del proceso alrededor de 80525.8 MWh en ese año 2012, lo que representa ese 10.1 % antes mostrado. La propuesta de mejora consiste en reducir esas pérdidas en un 5 % del valor expuesto para el año en estudio.

Para lograr esta meta se realizó un análisis de las acciones técnicas que son necesarias ejecutar sobre las redes, de forma que tengan una mayor influencia en la reducción de estas mermas de energía en la transmisión y distribución de electricidad.

Las principales acciones con aportes al objetivo propuestas son:

- Aumento capacidad de transformadores.
- Conversión de voltaje.
- Cambio de calibre primario.
- Ubicación de bancos de capacitores.
- Balanceo de circuito primario.
- Balanceo de circuito secundario.
- Cambio de calibre secundario.
- División de circuito secundario.
- Reubicación de transformadores de distribución.
- Sustitución transformadores subcargados.

Para reducir un 5 % del valor inicial de 80525.8 MWh que representa un 10.1 % del total de energía recibida, debe disminuirse en 4026 MWh para quedar finalmente sobre los 76500 MWh en un año y de esa forma obtener un 9.6 % de pérdidas técnicas. Para ello se propone en lo fundamental, concluir la conversión de la ciudad de Cienfuegos en la distribución primaria de 4000 V a 13 800 V, al igual que en el resto de los municipios, ejecutar los cambios de calibre en los distintos niveles de voltaje que en el año en estudio se cumplió este indicador en solo un 27.5 %, ejecutar la instalación de bancos de capacitores que en ese año se cumplió en solo un 25 %, entre otras acciones que tributen a cumplir con la meta posible de reducir este indicador.

Con la primera propuesta de mejora, que consiste en realizar acciones para reducir las pérdidas técnicas en un 5 % su valor inicial se vuelve a analizar el sistema y devuelve los resultados mostrados en la Figura 3. La evaluación de forma general devuelve mejores resultados a pesar de un ligero incremento de la categoría de uso de minerales, por la cantidad de elementos que se incluyen en la red como parte de las acciones a realizar.

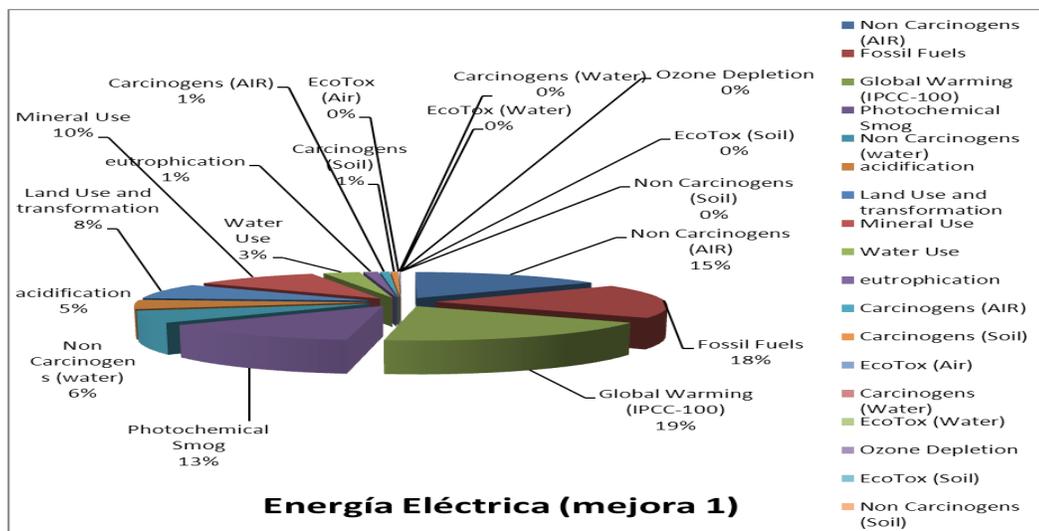


Figura 3. Evaluación de impacto del proceso de transmisión y distribución de electricidad con la propuesta de mejora (reducción del 5 % de pérdidas).

Los transformadores son elementos que pueden causar impactos en el ecosistema debido a que están expuestos a dañarse y con ello verter al ambiente aceites y emitir gases que dañan el ecosistema, además de que con su mantenimiento aumentan el uso de minerales como cobre, materiales como pinturas y nuevos aceites para su puesta en servicio, etc. Por ello la segunda proposición de mejora tiene que ver con las acciones para reducir la cantidad de transformadores dañados en un 10 % respecto al año 2012, que se dañaron un total de 149 transformadores, para ello se deben ejecutar con calidad las acciones siguientes:

- División de circuitos secundarios.
- Tomas de carga periódica y análisis de sobrecarga.
- Cumplir los planes de mantenimientos.
- Revisión de la existencia de pararrayos.
- Distribución equitativa o balanceo de las cargas de los circuitos secundarios.

Con el cumplimiento de las tareas se garantiza una reducción de la incidencia en el impacto al medio ambiente (Figura 4).

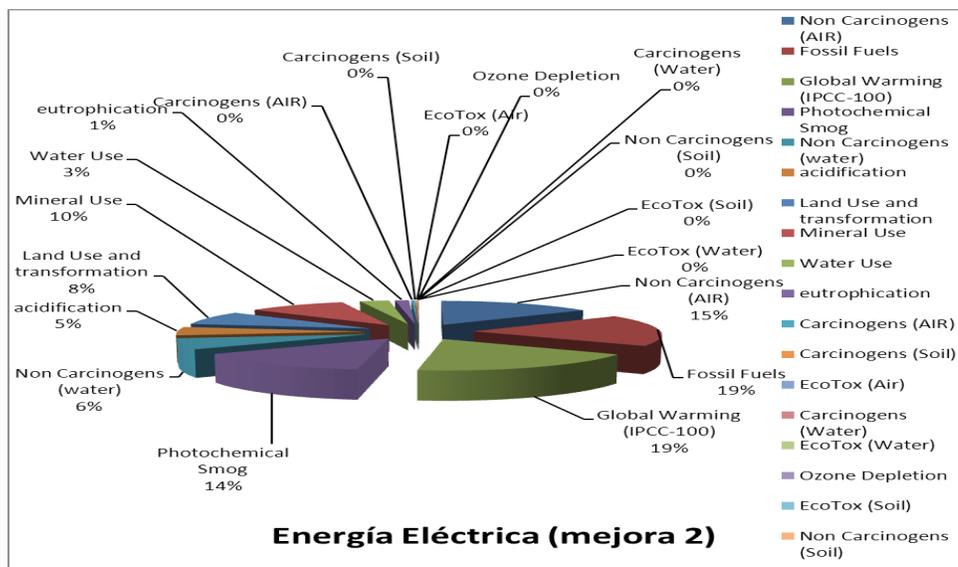


Figura 4. Evaluación de impacto del proceso con la aplicación de la propuesta de mejora (reducción del 10 % de transformadores dañados).

De manera general existe una leve mejoría comparado con el análisis inicial, aunque esta propuesta por sí sola no ejerce gran influencia en las categorías de impacto del sistema. La principal incidencia del calentamiento global que se incrementa al 19 %.

Por tanto, se procede a repetir el estudio usando los aportes de las dos mejoras a la vez para comparar los resultados finales teniendo en cuenta la ejecución de todas las acciones propuestas. En resumen, se realiza el análisis para el caso de una reducción del 5 % de las pérdidas técnicas y un 10 % del número de transformadores dañados. Los resultados se muestran a continuación (Figura 5).

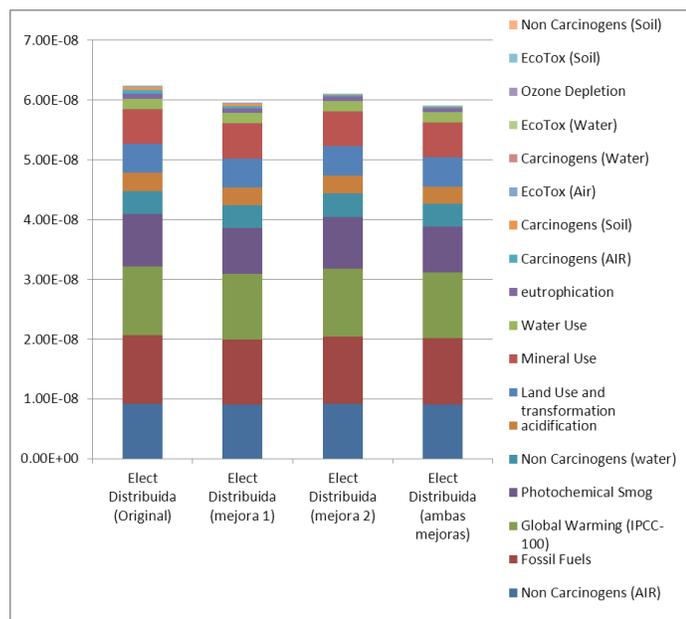


Figura 5. Comparación de los impactos del proceso de Transmisión y Distribución de electricidad con la aplicación de las propuestas de mejora.

Se puede apreciar claramente el efecto de cada una de las propuestas de mejora en las distintas categorías de impacto, por supuesto, la mayor incidencia en el caso de ejecutar las dos proposiciones ya que se reduce hasta un 94.61 % del impacto original, como se muestra en la Figura 6.

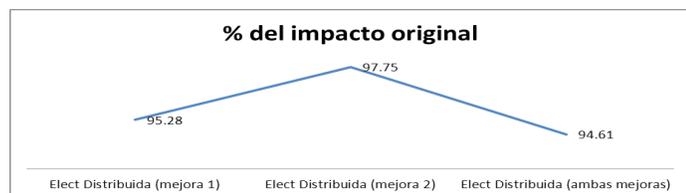


Figura 6. Comparación de los impactos del proceso de Transmisión y Distribución de electricidad con la aplicación de las propuestas de mejora en valores de %.

Otro de los análisis como parte del ACV del proceso de transmisión y distribución de energía eléctrica en Cienfuegos es el resultado en las categorías de daño (Figura 7).

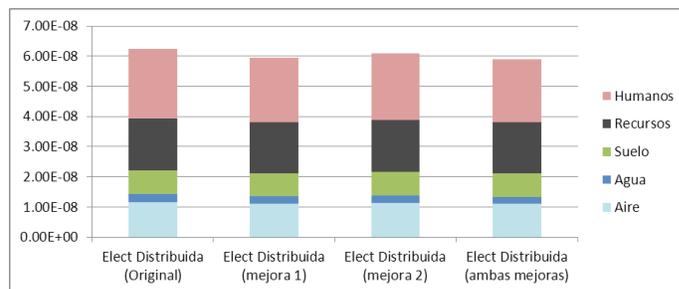


Figura 7. Evaluación de daños del proceso de Transmisión y Distribución de electricidad.

En este caso la mayor incidencia consiste en el daño a la salud humana, el agotamiento de los recursos y daños a la atmósfera o al aire, resultado que refleja el aporte de las categorías de impacto antes explicadas en los distintos daños establecidos. A su vez, se observa igualmente la reducción de los impactos con la ejecución de las acciones propuestas.

CONCLUSIONES

A pesar de que la teoría sobre la economía ecológica es ampliamente tratada por diversos autores, la utilización de los indicadores que la conforman aún es insuficiente debido a diversos factores tales como carencia de metodologías flexibles que se adapten a nuestras condiciones, carencia de responsabilidad social de las empresas respecto a los impactos medio ambientales y falta de personal idóneo entre otros.

Se propone la metodología del ACV según la serie de normas ISO 14 040, con el uso del método Eco-Speed empleando el software SimaPro 7.1 para evaluar los impactos generados por la transmisión y distribución de energía eléctrica.

Se determinó que los principales impactos ambientales que muestra la transmisión y distribución de energía eléctrica en su ciclo de vida están concentrados en las categorías calentamiento global con un 18 %, combustibles fósiles igual con 18 %, el smog fotoquímico con 14 %, emisiones no carcinogénicas al aire con 15 %, seguidas del uso de minerales 9 % y el uso y transformación del suelo con 8 %.

Al realizarse la comparación de los perfiles ambientales de la transmisión y distribución con el de la generación, resulta de mayores impactos el aporte de esta última como parte del ciclo de vida del proceso analizado;

representando la transmisión y distribución solo un 12.79 % de la evaluación de impacto de la generación.

Se propone un conjunto mejoras que pudieran disminuir estos impactos ambientales. Estas fueron divididas en tres variantes para su análisis y se valora que la aplicación de las mismas puede disminuir en un 94.61 % el impacto original.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Baker, J. W., & Lepech, M. D. (2009). *Treatment of Uncertainties in Life Cycle Assessment*. Stanford: Stanford University.

García Bermudez, F. (2011). *Análisis del Ciclo de Vida de la generación de energía eléctrica en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos*. Trabajo de Diploma. Cienfuegos: Universidad de Cienfuegos.

León Rodríguez, R. M. (2010). *Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de la producción de cemento: Caso de estudio Cementos Cienfuegos S.A.* Trabajo de Diploma. Cienfuegos: Universidad de Cienfuegos.

Romero Rodríguez, B. I. (2003). *El Análisis del Ciclo de Vida y la Gestión Ambiental*. México: Instituto de Investigaciones Eléctricas.

Sonnemann, G., Castells, F., & Schuhmacher, M. (2003). *Integrated life cycle and risk assessment for industrial processes*. London: Lewis Publishers.

Suppen, N., & Van Hoof, B. (2005). *Conceptos básicos del Ciclo de Vida y su aplicación en el Ecodiseño*. Centro Regional de Producción más Limpia. Recuperado de https://nanopdf.com/download/manual-centro-regional-de-produccion-mas-limpia_pdf