

Comité de Estudio C3 - Desempeño Ambiental del Sistema

CÁLCULO DE LA TASA DE RETORNO ENERGÉTICO CON ORIENTACIÓN A LOS SISTEMAS BASADOS EN FUENTES PRIMARIAS DE GENERACIÓN RENOVABLE

G. A. SCHWEICKARDT*
CONICET - FRCU
Argentina

E. A. PEREZ
FRCU – ENERSA
Argentina

F. G. CAMARGO
CONICET – FRCU
Argentina

Resumen – En el presente trabajo se desarrolló un análisis conceptual y preliminar de los criterios necesarios para la estimación de la Tasa de Retorno Energético (TRE). Este estudio fue orientado a los sistemas basados en fuentes primarias de generación renovable. Se buscó discutir los problemas y aspectos a considerar para obtener una metodología estandarizada y flexible, la cual resulte factible para realizar comparaciones y tomas de decisiones, con el fin de minimizar el impacto ambiental. Se discutieron los métodos basados en estudios monetarios, el método de análisis del ciclo de vida (LCA) y se propuso realizar la modelación por medio de Análisis de Sistemas Dinámicos (ASD) a través del software VENSIM®. A tal efecto, se hizo un desarrollo matemático definiendo las variables de estado, auxiliares y parámetros de ajustes necesarios para estudiar la problemática. De esta manera, se definieron algunos criterios y factores influyentes, a mediano y largo plazo, en la sustentabilidad del sistema energético, con la intención de incorporarlos en ámbitos de discusión y enseñanza pertinentes, propiciando su difusión y críticas.

Palabras clave: Cadena Productiva – Sustitución de Fuentes Primarias de Energías Renovables – Impacto Ambiental – Tasa de retorno energética – Definición Operativa – Generación Solar Fotovoltaica y Eólica – Escala de Producción – Factores Socioeconómicos y Culturales.

Abstract – This work presents a conceptual and preliminary analysis of the concepts and criteria for estimating the Energy Return on Investment (EROI) was developed. This study was oriented to the systems based in primary sources of renewable generation. We sought to discuss the issues and considerations for a standardized methodology that allows comparisons and decision-making, in order to minimize environmental impact. Based methods were discussed monetary studies, the method of life cycle analysis (LCA) and were proposed by modelling Dynamical Systems (DS) through the VENSIM® software. In this respect, we made a mathematical development, defining the state and auxiliary variables and the adjustment parameters necessary to study the problem. Some criteria and influencing factors were defined, medium and long term, the sustainability of the energy system and seek to incorporate them into relevant areas of discussion and education, encouraging their dissemination and reviews.

Keywords: Production Chain – Primary sources of Renewable Energy substitution – Environmental Impact – Energy Return on Investment EROI – Operative Definition – Wind and Solar Photovoltaic Generation – Production Scale – Socioeconomic and Cultural Factors.

* Doelio Jurado 555, Gualeguaychú, Entre Ríos, Argentina.

1 INTRODUCCIÓN

Desde el estado del arte, se observan actualmente claras señales sobre la necesidad de implementar, particularmente en la cadena productiva de la electricidad, un proceso de sustitución de fuentes primarias de energía, tal que las de carácter renovable desplacen paulatinamente a la fósil, hasta hoy dominante. Esta transición hacia las fuentes primarias renovables, conforme se esté más próximo al denominado “cénit del petróleo”, debe darse simplemente porque no existirán alternativas válidas y probables para creciente necesidad de abastecimiento energético, sin cambios observables en los hábitos de consumo que propendan a la eficiencia energética del lado de la demanda. Tal transición exhibe un carácter urgente, debido, fundamentalmente, a la necesidad de mitigar los impactos del cambio climático, específicamente el denominado efecto invernadero, cuya causa principal son las emisiones de CO₂ a la atmósfera como consecuencia de la explotación de las fuentes primarias fósiles. No obstante pueda resultar clara la urgencia de una transición hacia fuentes renovables de energía, este importante tránsito no se debe de hacer de forma irreflexiva. En particular, es necesario considerar al menos seis aspectos de las diversas fuentes renovables: 1ro) La cantidad de energía que pueden proporcionar frente a la que se invierte en el proceso de transformación mediante el sistema más eficiente; 2do) El carácter no renovable de la infraestructura de captación de energía primaria; 3ero) Su vulnerabilidad frente a posibles cambios socioeconómicos drásticos; 4to) Su capacidad más o menos limitada; 5to) El impacto ambiental que pueden provocar; y 6to) La equidad, esto es, que su explotación no beneficie sólo a unos pocos a costa del perjuicio del resto. Los cuatro primeros aspectos, si bien pareciera resumirse sólo en el 1ro), se interrelacionan para componer un Índice denominado Tasa de Retorno Energética - TRE - del sistema asociado a la fuente primaria de energía renovable considerada. Una definición operativa para este concepto implicaría un cociente entre la Energía útil de Retorno del sistema - ER - y la Energía útil Invertida - EI - en desarrollar y mantener ese sistema de transformación de energía a lo largo de su vida útil. Sin embargo, la identificación de tales energías, supone tratar con un conjunto de variables interrelacionadas, conforme los cuatro primeros aspectos a considerar en la transición hacia las fuentes primarias renovables, sobre el cual no existe acuerdo en el estado del arte. En esta complejidad estriba la disparidad en la construcción del Índice TRE, aún para un mismo sistema, dependiendo de factores socioeconómicos, culturales y físicos, entre los más importantes.

En este trabajo se intenta proponer, atendiendo a tal complejidad, un análisis preliminar de un modelo de construcción del Índice TRE. Este análisis puede ser orientado a dos clases de sistemas empleados en generación eléctrica: el Solar Fotovoltaico y el Eólico, esto es implementado mediante aerogeneradores. Se presentan caos de cálculo para sistemas, cuya escala de producción es compatible con los generadores distribuidos en una red cuya fuente primaria es fósil, y se intentan extrapolar estos modelos de Índice TRE hacia otros sistemas de transformación. Adicionalmente, se busca enfatizar las ventajas de realizar Análisis de Sistemas Dinámicos (ASD) por medio del Software VENSIM®, haciendo un pequeño desarrollo del modelo propuesto. Se aclara que para el presente trabajo se utilizó la versión gratuita del programa, disponible para su uso educativo.

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Definición de Sistema

En forma general, se define un sistema a un conjunto de elementos organizados y relacionados que interactúan entre sí. Todo sistema tiene una o varias entradas y salidas que pueden ser datos, energía o materia prima, en este sentido, los sistemas se categorizan según el tipo de entrada y salida que manejen. Se considera como sistema toda la aparamenta eléctrica correspondiente a la generación de energía como la demanda industrial y transporte. La Eficiencia Energética del sistema implica la minimización de las pérdidas de potencia/energía causantes en la obsolescencia prematura de la aparamenta eléctrica instalada, disminuyendo su vida útil y alterando Rentabilidad Energética. Dicho concepto involucra la energía requerida para producir el dispositivo con cierta vida útil bajo condiciones de operación nominal, supuestas eficientes, conforme la mejor tecnología disponible para su fabricación.

2.2 Aerogeneradores

Los aerogeneradores son máquinas que permiten captar la energía proveniente de las masas de aire en energía de rotación a través de aspas y transformarla en energía eléctrica por medio de un generador

eléctrico incorporado. Las dimensión de las aspas determina el volumen de aire que participa en el proceso de transformación de energía y consecuentemente la potencia de diseño del generador. Hay tres componentes que participan en la potencia disponible de conversión de energía eólica: la velocidad del viento, las características del viento, relacionadas a la turbulencia y la densidad del aire, dependiente de la presión, temperatura ambiente, etc. De estos tres factores, el más importante corresponde a la velocidad, esto es debido a que la potencia disponible es directamente proporcional al cubo de la misma. Aunque existen distintos tipos constructivos, los aerogeneradores se pueden clasificar según la potencia de diseño: desde potencias menores a 1kW hasta los 10MW. Para la aplicación de esta alternativa en generación distribuida es viable el uso de generadores de baja y media potencia, esto es hasta 1 MW, debido al incremento de los costos de inversión, equipamiento requerido, dimensiones del generador y predio requerido para las instalaciones. Para fines analíticos, la potencia efectiva de salida de un sistema eólico puede ser aproximada inicialmente por la siguiente ecuación:

$$E_c = 0,045 \text{ a } 0,135 * D^2 * V^3 \quad (1)$$

Donde D es el diámetro barrido por el rotor y V es la velocidad del viento, de esta expresión se desglosan tres valores de referencia: a partir de 1000 W/m² el aprovechamiento es bueno, desde 200 W/m² el aprovechamiento es normal y por debajo de 50 W/m² el aprovechamiento es malo, siendo no rentable energética/económicamente el emplazamiento de estas centrales (María José Cuesta Santianes, Marta Pérez Martínez, Julio 2008).

2.3 Energía Solar Fotovoltaica – ASF.

Los paneles solares fotovoltaicos consisten en un una celda, construida a base de silicio u otro material semiconductor, que absorbe parte de los fotones del sol. En este proceso se libera un electrón y en consecuencia, se genera una corriente eléctrica que posteriormente es adecuada mediante onduladores, equipos de potencia o en su defecto, almacenada en baterías. La energía producida es función de la radiación solar característica del lugar de ubicación, cantidad de horas de luz solar y del diseño constructivo del panel con sus equipos complementarios (Carlos Montión, Centrales y Líneas Eléctricas, Universidad Nacional de San Juan – UNSJ, Apuntes de Cátedra).

2.4 Tasa De Retorno Energético - TRE - Energy Return On Investment - EROI

Se mencionó en la introducción del presente trabajo que con el fin de realizar y sustentar el proceso de transformación energética es necesario invertir energía útil en crear y mantener su infraestructura, abastecimiento energético y de insumos, además de las correspondientes pérdidas en su funcionamiento. La relación entre ambas energías útiles es lo que se define y calcula como TRE.

$$TRE = \frac{E_{ret}}{E_{inv}} \quad (2)$$

Existen dos parámetros que dificultan la estimación de la TRE, en primer lugar los Límites de Influencia respecto a la energía invertida y en segundo lugar los criterios adoptados respecto a eficiencia energética, impacto social y ambiental. Respecto al primero, el cálculo no solo se circunscribe únicamente el gasto en construcción y funcionamiento de los distintos equipos utilizados en la extracción y/o explotación de la fuente energética, sino en toda la cadena de producción hasta llegar a los minerales extraídos. También refiere al gasto realizado en transporte, equipos necesarios y pérdidas energéticas de índole eléctricas, térmicas, hidráulicas, etc. La actualidad energética tiene carácter dinámico, existe una demanda creciente en forma exponencial, avances tecnológicos a ritmos acelerados, mayor rigurosidad en las reglamentaciones buscando minimizar el impacto ambiental. Esto aumenta la dificultad de proponer un índice fijo y obtener información del mismo sobre los parámetros del sistema considerado, requiriéndose información adicional.

2.5 Estimación por Análisis de Ciclo de Vida ACV – Life Cycle Assessment LCA:

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) – Life Cycle Assessment (LCA) permite realizar un diseño, investigación y evaluación de un proceso productivo con impacto ambiental asociado durante la explotación del recurso energético en cuestión. La finalidad es evaluar el impacto potencial sobre el ambiente a lo largo de todo su ciclo de vida mediante la cuantificación del uso de recursos. El procedimiento es el siguiente: en primer lugar se fijan los límites del sistema, luego se miden las pérdidas de los distintos subsistemas,

efectuando correcciones en la calidad de energía. En tercer lugar, se efectúan la conversión económica-monetary de energía, y por último se analizan las estadísticas obtenidas. Se definen las entradas como energía, materias primas, maquinarias nuevas y la salida deseada son las emisiones ambientales, en nuestro caso la cantidad de dióxido de carbono producido.

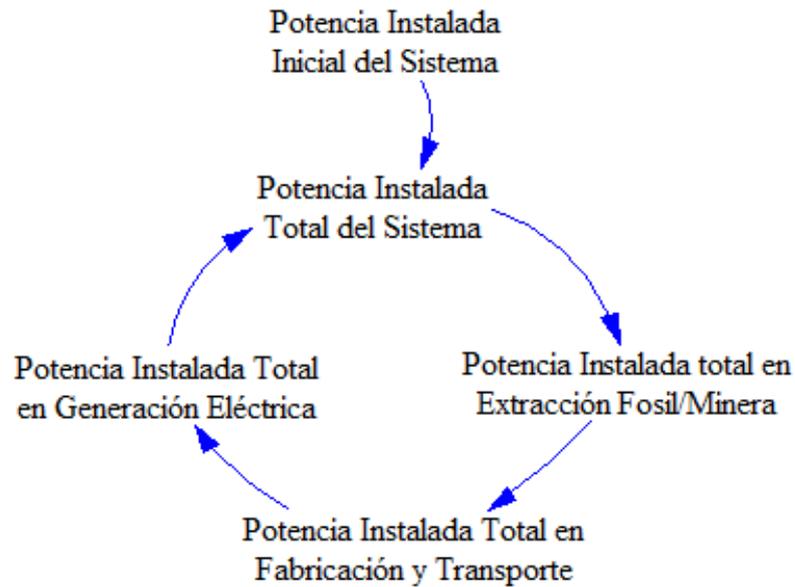


Fig. 1. Ciclo de vida de un Sistema según los distintos sectores.

Entre las dificultades de esta metodología está la pérdida de objetividad, estandarización y aplicabilidad en distintos entornos económicos. Hay una débil consideración de los costos económicos por impacto ambiental, calidad energética/ambiental y otros costos adicionales, como el agotamiento de las reservas y recursos. Los elevados costos de innovación, desarrollo e implementación de estas fuentes de generación hacen que pierdan competitividad, posibilidad de acceso en países de bajo desarrollo y aparenten una tasa mucho menor a otras fuentes de generación, como la fósil y nuclear.

2.6 Estimación de la TRE por Análisis de Sistemas Dinámicos (ADS).

La herramienta VENSIM® permite establecer relaciones entre las distintas variables, con el fin de obtener el diagrama causal del modelo dinámico a analizar. Esto permite hacer diagramas de flujo, según las ecuaciones, funciones analíticas y gráficas que los gobiernan. Se puede realizar una simulación a grandes rasgos considerando cuanto invierte el sistema sin la fuente renovable, y cuanto invierte con ella. Análogamente, se trabaja con la energía generada durante los escenarios considerados y para el recurso en cuestión. De esta manera, se elimina el error en forma considerable diferenciando la energía latente en el sistema, respecto de la que se invierte en producir la fuente renovable.

$$EROI = \frac{\Delta En_{GR}}{\Delta En_{Inv}} = \frac{\sum En_{g2} - \sum En_{g1}}{\sum En_{i2} - \sum En_{i1}} \quad (3)$$

La mayor ventaja de trabajar con flujos de energía/potencia, es que se puede conocer el ahorro energético obtenido, con la consecuente disminución de emisiones, que de implementarse un esquema de regulación por incentivos, disminuiría las sanciones.

3 APLICACIÓN DEL SOFTWARE VENSIM® PARA EL ADS

3.1 Planteamiento del Modelo.

Se plantean dos escenarios, un primer escenario considerando la actual asignación del despacho de generadores según las distintas fuentes de generación, y el segundo, considerando un aumento gradual y/o brusco en la matriz energética de generadores renovables. Se mantuvieron constantes las tendencias en la producción de energía hidráulica y nuclear, y se observa una disminución en la producción de generación a base de recursos fósiles implicando una mitigación en las emisiones de dióxido de carbono y un menor

impacto ambiental. Los factores más influyentes en la demanda industrial fueron: la extracción, procesamiento de minerales y combustibles fósiles, fabricación y transporte, excluyendo del análisis la industria ganadera, agropecuaria y textil.

Definición de variable independiente:

n Número de mes correspondiente [meses]

Definición de variables de estado del sistema:

P_{i_s} Potencia instalada total del sistema analizado

P_{i_g} Potencia instalada total del sector de generación [GVA]

$P_{i_{gf}}$ Potencia instalada total de generación fósil [GVA]

$P_{i_{gn}}$ Potencia instalada total de generación nuclear [GVA]

$P_{i_{gh}}$ Potencia instalada total de generación fósil [GVA]

$P_{i_{gr}}$ Potencia instalada total de generación renovable [GVA]

P_i Potencia instalada total de sector industrial [GVA]

P_{i_m} Potencia instalada total en extracción minera [GVA]

$P_{i_{ef}}$ Potencia instalada total en extracción fósil [GVA]

$P_{i_{tr}}$ Potencia instalada total en transporte [GVA]

P_g Potencia media generada total de generación [GVA]

P_{gf} Potencia media generada total de generación fósil [GVA]

P_{gn} Potencia media generada total de generación nuclear [GVA]

P_{gh} Potencia media generada total de generación hidráulica [GVA]

P_{gr} Potencia media generada total de generación renovable [GVA]

P_i Potencia media demandada total industrial [GVA]

P_{fa} Potencia demandada total en fabricación [GVA]

P_m Potencia demandada total en extracción minera [GVA]

P_{ef} Potencia demandada total en extracción fósil [GVA]

P_{tr} Potencia demandada total en transporte automotor [GVA]

Las variables auxiliares de control mayormente usadas son las siguientes:

FU_{Gi} Factor de utilización del sector de generación i

FU_{Di} Factor de utilización del sector de demanda j

Variables auxiliares de asignación:

$\%A_{Gi}$ Factor de asignación del sector de generación i

$\%A_{Di}$ Factor de asignación del sector de demanda j

Otras variables auxiliares

$\%Cr$ Porcentaje de crecimiento de la potencia instalada

Los factores de utilización para los rubros de generación y demanda son:

$$FU_{Gi} = 1 - \frac{\sum P_{gj}}{\sum P_{ij}} \quad (4)$$

$$FU_{Di} = 1 - \frac{\sum P_j}{\sum P_{ij}} \quad (5)$$

Si el factor de utilización es positivo, tenemos una capacidad ociosa, que si es elevada, repercute en el deterioro de los equipos e incremento de las emisiones al momento de la puesta en marcha. Encaso contrario, habrá una sobrecarga produciendo un envejecimiento prematuro de los equipos, y disminución de la vida útil. Ambos efectos repercuten en un incremento de la energía neta invertida para obtener la energía útil deseada en términos de mantenimiento y renovación de equipos que incrementan los gastos energéticos.

Siguiendo este razonamiento, tiene sentido traducir todos los procesos en energía eléctrica [GWh], o en su defecto potencia eléctrica media [GVA], que es en definitiva lo que se manipula y aprovechada.

Potencia instalada del sistema:

$$P_{i_s} = P_{i_{se}} + P_i \quad (6)$$

La potencia instalada del sistema eléctrico $P_{i_{se}}$ en (6) corresponde a suma de las etapas de Generación, Transmisión y Distribución, para evitar confusión no se escribe la ecuación correspondiente a esta suma.

Potencia instalada en generación del sistema:

$$P_{i_g} = P_{i_{gf}} + P_{i_{gn}} + P_{i_{gh}} + P_{i_{gr}} \quad (7)$$

Potencia instalada de la demanda industrial:

$$P_i = P_{i_{ef}} + P_{i_m} + P_{i_{ef}} + P_{i_{tr}} \quad (8)$$

Potencia generada del sistema según sector:

$$P_g = P_{gf} + P_{gn} + P_{gh} + P_{gr} \quad (9)$$

Potencia demandada industrial:

$$P_i = P_{fa} + P_m + P_{ef} + P_{tr} \quad (10)$$

Analizando la repartición en la capacidad instalada (8) y de la demanda (10), se puede tener una idea del nivel de desarrollo del sistema que influye en la capacidad de respuesta ante incrementos en la demanda a largo plazo. A mayor desarrollo, mayor será la base tecnológica para construir una mayor cantidad de generadores renovables, en caso contrario se incrementan los gastos energéticos ocasionados por transporte. El nivel de desarrollo en investigación es determinante ya que avances tecnológicos pueden reducir el número de etapas intermedias para producir un insumo intermedio, reemplazo de materiales manipulables con mayor facilidad y por lo tanto EROI será mayor.

Un Aumento en la producción de fuentes renovables (7) y (9) supone un impacto en los sectores involucrados (8), cuyos resultados serán afectados por el nivel de desarrollo en la tecnología de la generación renovable de interés, ya que se requiere construir la base tecnológica o un aumento drástico en los gastos de transporte.

Para la Potencia instalada del sistema, se realizó un ajuste exponencial, considerando la siguiente tendencia:

$$P_{i_s}^{[k+1]} = P_{i_s}^{[k]} * (1 + \%Cr)^n \quad (11)$$

Haciendo el mismo ajuste para la potencia de demanda residencial:

$$P_{re}^{[k+1]} = P_{re}^{[k]} * (1 + \%Cr_e)^n \quad (12)$$

Donde [k] es el mes analizado correspondiente y $\%Cr_e$ es un crecimiento estimado, que podría ser un 10 % anual.

El la tasa de crecimiento de (11) $\%Cr$ depende de la proyección de la demanda total actual y se puede obtener haciendo una anticipación aproximada.

$$\%Cr = \%Cr_e + k1 * FU_{Gi} + k2 * FU_{Gi} \quad (13)$$

Donde k1 y k2 son constantes de ajuste.

Demanda Eléctrica Total del sistema:

$$P_{t_s} = P_i + P_{re} \quad (14)$$

Si bien las pérdidas dependen cuadráticamente de la potencia circundante en las líneas, configuración del sistema eléctrico y aparamenta eléctrica instalada, se la puede aproximar de la siguiente manera:

$$P_p = 0.1 * P_{t_s} \quad (15)$$

Entonces la Potencia Generada será:

$$P_g = P_{t_s} + P_p \quad (16)$$

Analizando dos escenarios, el primero con la actual generación de energía renovable y el segundo con un aumento porcentual, se obtiene la TRE a partir de las ecuaciones (3), (7) y (15)

$$EROI = \frac{\Delta En_{GR}}{\Delta En_{Inv}} = \frac{P_{gr2} - P_{gr1}}{P_{g2} - P_{g1}} \quad (17)$$

Uno de los efectos producidos por la anticipación es introducir oscilaciones indeseadas en la TRE estimada, incrementándose según el ajuste en (12) e incluso haciendo inestable al sistema. Con el fin de evitar dichas oscilaciones se recomiendan graduales en la producción de energías renovables y precaución en la anticipación.

3.2 Análisis del modelo para el cálculo de la TRE de las fuentes de ESF y Aerogeneradores.

Del modelo dinámico, se pueden realizar algunos análisis interesantes sobre el cálculo de la TRE, aplicándolo en el presente trabajo a la generación renovable basados en ESF y eólica. La TRE depende de la variación de energía producida en los escenarios estudiados dividida en la variación de energía invertida en el proceso. Este valor es afectado por la inversión tecnológica desarrollada en cada uno de los sectores, la matriz energética y el nivel de desarrollo del sistema considerado según la generación primaria de energía renovable en cuestión. Se observó que la relación de potencia instalada por metro cuadrado es alta para los aerogeneradores, mientras que ésta es baja para la ESF, y por lo tanto las principales ventajas de éste último respecta en el ahorro energético de inversión en líneas eléctricas para la alimentación de áreas aisladas, donde se tienen buenos niveles de radiación solar. A medida que se implementa la transición hacia las energías renovables, se incrementa la inversión tecnológica y económica requerida para obtener las

instalaciones y equipamientos necesarios, aumentando en consecuencia las emisiones de dióxido de carbono asociadas. Para la ESF, este incremento es más acentuado debido al alto coste energético asociado a la producción de los paneles y equipos complementarios. En cambio para la generación eólica, los costes energéticos e inversión tecnológica son menores debido a la mayor producción de energía obtenida del viento. Otro factor predominante que debe ser tenido en cuenta es la estabilidad en la producción de energía, la cual depende de la zona geográfica donde se ubique la generación y en consecuencia determina la energía neta producida en el periodo de corte. Para esto debe disponerse de los mapas solares y de viento respectivamente, realizar estimaciones mediante métodos de pronóstico que bien podría ser una red neuronal, que también puede ser utilizada para predecir las demandas de cada sector estudiado. La generación de energía solar es variable según el horario, alcanzando un máximo en el mediodía y decreciendo con una tendencia cuadrática, mientras que la generación eólica puede ser independiente del horario y relativamente estable, dependiendo de las características del viento en la zona de emplazamiento. En consecuencia, la TRE tiene un carácter dinámico en ambas fuentes de generación, acentuándose la diferencia a medida que se incrementa la implementación de la generación en estudio.

4 CONCLUSIONES

El trabajo propuesto presentó algunas recomendaciones para el estudio de la TRE, con el fin de conocer el impacto de la aplicación a gran escala de generación a base de recursos renovables. La TRE permite conocer si se puede garantizar la sustentabilidad Energética/Ambiental, e incentivar la búsqueda continua de la renovación tecnológica. El método del ACV es adecuado para observar los efectos ambientales de cada materia prima en la cadena de producción, que en este caso son las emisiones de dióxido de carbono. Sin embargo, el cálculo de la tasa debe ser realizado en base a flujos de energía o potencia con el fin de evitar subjetividad, pérdida de estandarización y capacidad de comparación en distintos ámbitos económicos, constituyendo un índice de carácter técnico/energético y no económico/financiero. El estudio por medio de análisis de sistemas dinámicos es adecuado porque permite interpretar los resultados y realizar las debidas correcciones y por lo tanto, tiene un potencial enorme en este campo. Otro aspecto es la eficiente utilización de los recursos utilizados, con el fin de evitar excesivas sobrecargas/capacidad ociosa del sistema. Se debe tener un buen método de pronóstico de las futuras demandas, que puede ser una red neuronal o un sistema adaptativo inteligente. Se debe incentivar la investigación en este campo, resaltando las mejoras obtenidas, que sobresalen al análisis económico y aportan competitividad. Más allá de que el objetivo buscado es incentivar la inversión pública, la implementación de políticas de estado para realizar una transición hacia las fuentes de generación renovables tiene un efecto indirecto sobre la inversión privada. Es importante aclarar que, la búsqueda continua de mayores TRE implica la innovación y mejoras tecnológicas que permitan mejorar la eficiencia energética de todo el sistema, resultando en el proceso una reducción de los costos energéticos, productivos y de mantenimiento de toda la cadena de producción. Las mejoras pueden estar relacionadas a la reducción de etapas intermedias, producción local de la materia prima producida, correcta asignación de la capacidad ociosa, etc. Por lo tanto, la implementación de una política de estado en la investigación del campo de las fuentes primarias de generación renovables requiere, con el fin de mejorar la eficiencia, producir la base tecnológica necesaria para la construcción íntegra del generador. Tal proceso implica un incremento de producción e inversión de los distintos sectores productivos relacionados, como transporte, fabricación y ensamblaje de piezas, servicios indirectos y complementarios con lo cual se incentiva y tiene un mejor aprovechamiento de la inversión pública y privada. Por lo tanto, la TRE puede ser un buen complemento en la evaluación de un proyecto, que puede ser complementado con otros índices económicos y ambientales para la evaluación del mismo.

5 AGRADECIMIENTOS

Los Autores del presente trabajo agradecen la colaboración de la Universidad Tecnológica Nacional de la Facultad Regional de Concepción del Uruguay por la proporción de material de estudio y publicaciones realizadas. A su vez, se agradece el sustento económico realizado por la misma UTN y el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas a los miembros del grupo, sin los cuales no hubiera sido posible realizar este proyecto. Agradecemos a nuestros familiares por el apoyo recibido, entendiendo el esfuerzo y trabajo realizado para que estemos aquí.

6 REFERENCIAS

De las múltiples referencias consultadas, se citan las consideradas de mayor relevancia, no sólo por sus contribuciones, sino por los algunos interrogantes que arrojan como cuestiones pendientes de abordar, en la línea de investigación adoptada. Constituyen, entonces, una fuente de revisión y estudio detallado para implementar los modelos requeridos por la investigación actualmente abordada.

Se listan a continuación:

- [1] Massoud, A. (2002), “Restructuring the Electric Enterprise: Simulating the Evolution of the Electric Power Industry with Intelligent Adaptive Agents”, Faruqi, A., Eakin, K. (Eds.), Chapter 3 in *Market Analysis and Resource Management*. Kluwer Publisher.
- [2] Gustavo Schweickardt, Vladimiro Miranda (2008), “Optimización Dinámica Difusa con Nivel de Riesgo Acotado. Aplicación en la Planificación y Control Regulatorio de Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica. Parte 1: El modelo”. *Revista de la Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina*, ISSN 0329-7322, Nro. 30.
- [3] Gustavo Schweickardt, Vladimiro Miranda, Juan Manuel Giménez, “Control De La Adaptación Económica En Sistemas De Distribución De Energía Eléctrica Mediante Un Modelo Posibilístico De Optimización Dinámica: Parte 2: Modelo de Control de la Desadaptación Dinámica del Sistema y Estudio de Caso”. *Revista Investigación Operativa*, Nro. 33, Octubre 2012, pp. 112-134, Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa, ISSN: 1853-9777.
- [4] Gustavo Schweickardt, Juan Manuel Giménez, “Un Modelo de Incentivos para las Fuentes Primarias de Energía Renovable por Análisis Envolvente de Datos. Alteración de los Cargos de Acceso de los Generadores en un Sistema de Transmisión Eléctrica Aplicando una Función Virtual de Producción”. *Revista Investigación Operativa*, Nro. 33, Octubre 2012, pp. 158-180, Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa, ISSN: 1853-9777.
- [5] Gustavo Schweickardt, Vladimiro Miranda, and E. Muela (2006). “Economically Adapted Power Distribution System: Considering the Decision- Making Activities Using Analytical Hierarchy Process”. *Proceedings in 2006 IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition Latin America, Venezuela*. (TD06_144). IEEE Xplore Digital Library, publication Date: Aug. 2006, On page(s): 1-6; ISBN: 1-4244-0287-5; Digital Object Identifier: 10.1109/TDCLA.2006.311628.
- [6] David J. Murphy, Charles A.S. Hall, “Order from Chaos: A Preliminary Protocol for Determining the EROI of Fuels”, *Sustainability* 2011, N° 3, ISSN 1888-1907.
- [7] Carlos Montión, “Centrales y Líneas Eléctricas”, Apunte de Cátedra, Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan - UNSJ, Argentina.
- [8] María José Cuesta Santianes, Marta Pérez Martínez, “Aerogeneradores de potencia inferior a 100kW”, Julio 2008, *Prospectiva y Vigilancia tecnológica*, España, Centro de investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas – CIEMAT, VT-3/08/Ed1.