

METODOLOGÍA REGULATORIA PARA PROPICIAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DESDE EL LADO DE LA OFERTA CON PENETRACIÓN DE FUENTES PRIMARIAS DE ENERGÍAS RENOVABLES

PARTE 1: DESCRIPCIÓN Y ALCANCE DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN

FEDERICO CAMARGO – CARLOS CASANOVA –EDUARDO PEREZ –GUSTAVO SCHWEICKARDT
CONICET – Facultad Regional Concepción del Uruguay, Universidad Tecnológica Nacional - ARGENTINA
camargof@frcu.utn.edu.ar – casanovac@frcu.utn.edu.ar – pereze@frcu.utn.edu.ar – gustavoschweickardt@conicet.gov.ar

Fecha recepción: Febrero 2018 - Fecha aprobación: Diciembre 2018

RESUMEN

En la presente propuesta se desarrollan las bases para la regulación de las redes eléctricas de distribución, aunque puede ser extendido también para los otros segmentos del mercado eléctrico. Se presentan los aspectos que no han sido resueltos completamente o en forma satisfactoria por los marcos regulatorios y modelos de resolución disponibles en el estado del arte. Entre estos se incluyen la existencia de múltiples criterios de optimización, valoración económica de los criterios que son no monetizables en forma directa, la influencia de la incertidumbre fundamental, etc. También el incentivo a la incorporación de la generación renovable. Se buscaron 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. 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: Modelos de optimización - Metaheurísticas - Valoración económica.

ABSTRACT

The present proposal develops the bases for a regulation model the electric distribution networks, although it can be extended also for the other segments of the electric market. It presents the aspects that have not been solved completely or in a satisfactory way by the regulatory frameworks and resolution models available in the state of the art. These include the existence of multiple optimization criteria, economic valuation

of criteria that are not directly monetizable, the influence of fundamental uncertainty, etc. Also the incentive to the incorporation of the renewable generation. We sought to discuss the problems and aspects to consider in order to obtain a standardized and flexible methodology, which is feasible for comparisons and decision-making, in order to minimize the environmental impact. In this way, some criteria and influential factors were defined, in the medium and long term, in the sustainability of the energy system, with the intention of incorporating them in relevant discussion and teaching areas, promoting their diffusion and criticism.

KEYWORDS: Optimization models - Metaheuristics - Economic valuation.

1 INTRODUCCIÓN

Antes de conocer la metodología propuesta y el estado del arte en los elementos correspondientes, es necesario conocer la motivación de la presente investigación.

En primer lugar, existe una urgencia en hacer una transición desde las fuentes de generación a base de recursos fósiles hacia las fuentes renovables. El crecimiento sostenido de emisiones de dióxido de carbono (CO_2) hacia la atmósfera provocaría cambios climáticos irreversibles. La concentración atmosférica de CO_2 máxima admitida es de 450 ppm, cuya violación supone un incremento de temperatura terrestre de dos grados centígrados por efecto invernadero, situación en la cual el daño ocasionado a los ecosistemas se considera irreversible.

En segundo lugar, nos encontramos en el cenit de la producción de hidrocarburos, principal recurso no renovable, que de no encontrarse un sustituto viable, supondría una crisis energética importante para las generaciones futuras (Fouquet, 2013). Del conjunto de metodologías disponibles en el estado del arte, la mejora de la Eficiencia Energética es la que mayor impacto supone en este contexto. Esto implica mejoras progresivas en las tecnologías de fabricación, uso eficiente de los recursos (principalmente de los recursos escasos o contaminantes) garantizar la mayor vida útil posible y mejoras en las eficiencias. Adicionalmente, se ha introducido en el debate del sector energético, en general, y en el vinculado al abastecimiento eléctrico, en particular, la problemática vinculada a la sustentabilidad energético/ambiental. Específicamente, relacionada con el empleo de tecnologías que permitan un proceso de sustitución de fuentes primarias de energía no renovables por fuentes primarias de energía renovables, con el fin de mitigar las emisiones de CO_2 .

La eficiencia energética, concebida en este contexto, se entiende como 'del lado de la demanda'; supone un cambio de paradigma en los hábitos de consumo de los usuarios del servicio eléctrico, así como la introducción permanente de mejoras tecnológicas que aumenten la eficiencia de los equipos y aparatos electrodomésticos.

En este contexto, el enfoque del control regulatorio propuesto

responde a tres razones fundamentales:

a) La inercia inherente al cambio cultural que supone la *eficiencia energética del lado de la demanda*.

b) Los bajos índices de calidad técnica debido a la falta de inversión, herramientas que garanticen la simetría de información entre el regulador y la empresa distribuidora. En el mercado eléctrico, dada la característica de monopolio natural de los SDEE, este aspecto constituye el problema central en la *teoría económica de regulación*.

c) En la medida que la sustentabilidad energético/ambiental del SDEE lo permita y se disponga de ellas, la necesidad de emplear fuentes primarias de energía renovable que mitiguen las emisiones de CO2.

La primera parte de esta propuesta corresponde a la introducción teórica y metodológica del problema. En la segunda parte, se desarrollan los modelos presentados y las técnicas utilizadas para resolverlos. Estos problemas corresponden al balance de fases de sistemas de Baja Tensión, confiabilidad en sistemas de Media Tensión y evaluación potencial de generación renovable.

Estos problemas corresponden al balance de fases, confiabilidad y evaluación potencial de generación renovable. Dichos problemas han sido resueltos satisfactoriamente por los presentes autores.

El marco teórico relacionado al tema de investigación es extenso en los aspectos relacionados: economía, sistemas de potencia, reglamentación ambiental, etc. Por lo tanto, el artículo se estructura de la siguiente manera. En primer lugar, en la sección 2 se desarrolla el alcance del problema proponiendo: objetivos e hipótesis metodológicas. En segundo lugar, en la sección 3 se hace una leve recolección bibliográfica, con el fin de introducir los conceptos que serán la base para la definición de los modelos propuestos. En tercer lugar, en la sección 4 se esbozan las conclusiones preliminares. Por último, en la sección 5 se presentan las conclusiones.

2 PLANTEAMIENTO INICIAL DEL PROBLEMA

2.1 Resumen de interrogantes, discrepancias y limitaciones

En los problemas de planificación del mercado eléctrico se observa que aunque las teorías y herramientas disponibles son amplias, existen discrepancias y vacíos metodológicos a aplicar. Entre ellas se enumeran las siguientes:

- a) No existe acuerdo en la realización de modelos de optimización del costo económico asociado a las redes de distribución bajo condiciones de incertidumbres de carácter no estocástico. En este contexto, los modelos son realizados utilizando herramientas de programación matemática, el uso de distribuciones de probabilidades conocidas y el enfoque metodológico Neo - Clásico. De esta manera, pueden obtenerse planes de inversión

- que resulten teóricamente óptimos, pero que en la práctica no lo sean.
- b) No existe acuerdo en los criterios de jerarquización y costos económicos de los distintos criterios de optimización en los planes de explotación y expansión. Entre estos se pueden considerar la calidad eléctrica y ambiental, atributos que no son monetizables en forma directa. A su vez, la dificultad en la obtención del impacto económico que supone la preservación y sustentabilidad del medio ambiente en términos de emisiones de CO₂.
 - c) No existe acuerdo sobre el mecanismo de regulación más apropiado a aplicar y las penalizaciones requeridas para garantizar los criterios de calidad mínimos requeridos. La regulación de precios es ampliamente discutida en el estado del arte y su dificultad de estimación se incrementa cuando el mercado estudiado es más complejo (consideración de elasticidades cruzadas, bienes sustitutos, etc.).

2.2 Objetivos

Se busca mejorar los índices de calidad técnicos, económicos y llevar adelante planes de inversión en equipos de protección y generación renovable. Esto se realiza para tres tipos de problemas estudiados en el ECRRE: balances de fases, confiabilidad y generación renovable.

Se tienen los siguientes objetivos específicos:

- a) Respecto de la calidad técnica, se procura la determinación de los valores objetivos asociados al producto técnico tensión de suministro y continuidad del suministro. Respecto de la calidad ambiental, serán propuestos valores objetivos que permitan limitar las emisiones expresadas como equivalente en CO₂.
- b) Desarrollar modelos de optimización que vinculen la programación difusa, metaheurísticas y modelos de redes eléctricas de distribución para dar con soluciones satisfactorias. En este ítem se evalúan dos problemas. En primer lugar el problema del balance de fases o cargas, donde se debe buscar la configuración de conexión de cargas en la red trifásica que optimicen los índices de calidad propuestos. En segundo lugar, el problema de la confiabilidad de los SDEE, donde se debe encontrar la inversión y conexión óptima de los equipos de seccionamiento y protección.

2.3 Hipótesis Metodológicas

En la presente línea de investigación interesan los problemas vinculados al ECRRE, los cuales comparten alguna o todas de las siguientes características:

- a) Respecto al modelo de optimización:
Las variables de decisión son discretas en su mayoría.

El espacio de búsqueda presenta características combinatorias, esto es, tamaño exponencial o superior respecto del tamaño de la entrada.

Requieren la satisfacción de múltiples objetivos.

Presencia de incertidumbre no estocástica del tipo fundamental.

Flexibilidad en la incorporación de metaheurísticas en los procedimientos de toma de decisión: se utiliza las X variantes de Optimización por Enjambre de Partículas (PSO) por su gran flexibilidad, performance y simulaciones disponibles en el estado del arte.

b) Conocimiento/racionalidad imperfectos:

El concepto de alternativa óptima se sustituye por el de alternativa más satisfactoria, acorde a las preferencias adoptadas. La función de satisfacción asociada a cada objetivo de optimización (eficiencia técnica, calidad y costo) responde a una función de aptitud modelada con conjuntos difusos. Los límites y valoración de la calidad eléctrica será acorde a los criterios establecidos: costos, producto técnico, índices de confiabilidad, e índices de evaluación potencial de generación renovable.

c) Dentro del mercado eléctrico:

En este aspecto, existe una separación entre el servicio de redes y el de comercialización de energía eléctrica. El servicio de redes constituye un monopolio natural no disputable y sujeto a regulación. Existe entonces un único propietario del sistema de redes que ofertará tal servicio y por lo tanto todo generador que quiera aportar a la red debe abonar el cargo de acceso.

3 ESTADO DEL ARTE DE LA TEORÍA UTILIZADA

3.1 Optimización y Jerarquización

El propósito principal en la ingeniería es la solución de problemas, donde el método que se utilice debe cumplir ciertos requisitos: rapidez de solución, satisfacción de los requerimientos respecto a costos, reglamentaciones respecto a impacto ambiental, normas y procedimientos estándares, etc. El cumplimiento simultáneo de estos criterios es difícil y surge de aplicar soluciones de compromiso entre ellos (optimización) y según las necesidades (jerarquía). Deben organizarse a través de categorías que presentan diversa importancia, atribuyéndose a los criterios jerarquizados diferente relevancia y valores. Surgen entonces los términos optimización y jerarquización.

En este sentido, interesa conocer la calidad de la solución obtenida y si se cumplieron los requisitos de calidad, surgiendo conceptos como eficacia y eficiencia. La eficiencia se refiere con la capacidad de disponer de algo o de alguien para conseguir un objeto determinado con

el mínimo de recursos posible viable, es decir, es la relación entre los recursos utilizados y los logros obtenidos. La pregunta que surge es como medir la eficiencia, qué criterios se incluyen y cuales se dejan afuera. A partir de ahí se puede extender el término eficiencia técnica, asignativa, productiva, etc. Dentro de la eficiencia técnica interesa la eficiencia energética, que se define como el uso eficiente de la energía, optimizando los procesos productivos y el uso la energía. Adicionalmente, dentro de las teorías económicas surge la discusión entre eficiencia económica y equidad. Una economía es asignativamente eficiente cuando produce una combinación óptima de los productos básicos. Sin embargo, y sin considerar las fallas de mercado, este equilibrio puede ser socialmente no deseable. Por lo tanto se debe buscar la maximización del bienestar de los agentes participantes, mediante una reasignación de precios. Este concepto se refiere como equidad, que busca incentivar la participación de sectores, que no pueden hacerlo en el caso de eficiencia económica. De ahí surgen los distintos mecanismos de ajustes de precios, con sus ventajas y desventajas.

3.1.1 Modelo básico de optimización

Los problemas de optimización emergieron a mediados del siglo XX, junto con su correspondiente colección de técnicas para su resolución. El interés en los estudios de eficiencia económica ha crecido rápidamente desde sus propuestas originales en los años cincuenta y sesenta. Esto se debe en gran parte a los desarrollos de la segunda guerra mundial, donde los recursos eran escasos y debían ser asignados eficientemente. En general, se pueden referir dos metodologías principales:

- a) Modelos econométricos.
- b) Modelos de programación matemática.

Un modelo econométrico es una representación simplificada y en símbolos matemáticos de cierto conjunto de relaciones económicas, es decir un modelo matemático referido a relaciones económicas. Las características mínimas que debe reunir un modelo teórico o económico son: representar un fenómeno económico real, hacerlo en forma simplificada y usar términos matemáticos (Dagum, 1968). El modelo de programación matemática consiste en elegir aquel o aquellos valores de las variables de decisión pertenecientes a un espacio de búsqueda determinado, que proporcionan el mayor o menor valor de la función objetivo.

En uno de los extremos de esta jerarquía está el problema general de programación no lineal:

Minimizar $f(x)$
Sujeto a

$$\begin{aligned} g_i(x) &\geq 0 \quad i = 1.., m \\ h_j(x) &\geq 0 \quad j = 1.., p \end{aligned}$$

Donde f , g_i y h_j son funciones definidas para $x \in \mathbb{R}^n$. El vector x

contiene las *variables de decisión* del problema, y una valoración de x se conoce como solución, esto es, una asignación particular de valores para las variables. Generalmente a f se le llama *función objetivo*, y representa una medida de eficiencia para una valoración de x . De la misma manera, se le llama *restricciones* a g_i y h_j , por representar condiciones de vínculo obligatorias que los valores de x deben cumplir simultáneamente para considerarse una solución *factible*. Las técnicas para resolver este tipo de problemas son casi todas de naturaleza iterativa, y su convergencia es estudiada utilizando análisis matemático. Si $f(x)$ corresponde a un solo objetivo a maximizar, se habla de modelos mono objetivo, frente los problemas con objetivos múltiples o multiobjetivos. De acuerdo a las restricciones del modelo g_i y h_j , se habla de problemas restringidos o problemas sin restricciones. Según la continuidad de las variables, se clasifican como problemas continuos o problemas discretos. Cuando f es convexa, g_i cóncava, y h_j lineal, se tiene un problema de programación convexa. Este problema tiene la conveniente propiedad de que la optimalidad local implica la optimalidad global. Además se tienen condiciones suficientes de optimalidad, las condiciones de Karush-Kuhn-Tucker. Cuando f , todas las g_i y h_j son lineales, se tiene un problema de programación lineal. Varios cambios importantes se presentan en esta clase de problemas. Primero, cualquier problema dentro de esta clase se reduce a seleccionar una solución de un conjunto finito de posibles soluciones. Puede llamarse a esta característica combinatoria. El conjunto finito de soluciones candidatas es el conjunto de vértices del polígono convexo definido por las restricciones lineales.

El algoritmo simplex de Dantzig (1947) encuentra una solución óptima para un problema de programación lineal en una cantidad finita de pasos. La estrategia del algoritmo es mejorar la función objetivo moviéndose de un punto a otro del polígono. Con el paso de los años y las mejoras sobre el algoritmo llevaron a formas consideradas como muy eficientes. Sin embargo, también es cierto que existen problemas especialmente diseñados (análisis del peor caso) en los que completar el algoritmo simplex lleva una desagradable cantidad exponencial de iteraciones.

3.1.2 Modelos determinísticos, probabilísticos y posibilísticos

De acuerdo al modelo de optimización básico planteado, se habla de modelos deterministas cuando se conoce con exactitud los parámetros que intervienen en el modelo. En cambio, si se conoce la distribución de probabilidad de los mismos, se habla de modelos estocásticos. Se habla de problemas dinámicos cuando la variable tiempo interviene de forma explícita en el modelo, caso contrario, se habla de problemas estáticos. Un enfoque adicional enfatiza la siguiente clasificación propuesta por Keynes: primero hay certeza en la respuesta obtenida en un sistema dado un conjunto de entradas. En segundo lugar, existe un riesgo o certeza equivalente, cuando cada elección conduce a un conjunto de posibles

resultados específicos asociados con una probabilidad específica. Y en tercer lugar hay incertidumbre cuando tanto las respuestas como sus probabilidades son desconocidas, Keynes se refiere a este caso como Incertidumbre Fundamental (Dequech, 2000).Entonces, la solución utilizada puede clasificarse de acuerdo con la metodología utilizada: determinista, probabilística (o estocástica) y posibilística (modelo difuso). En modelos determinísticos se conoce con certeza el valor de la función objetivo y si se cumplen o no las restricciones. Por otro lado, los modelos probabilísticos o estocásticos poseen alguna aleatoriedad inherente, donde el mismo conjunto de valores de parámetros y condiciones iniciales conducirá a un conjunto de salidas diferentes con una distribución de probabilidad conocida.

3.1.3 Programación matemática difusa: proceso de análisis jerárquico (AHP)

El Proceso de Análisis Jerárquico (*AHP*), desarrollado por Thomas L. Saaty está diseñado para resolver problemas complejos de criterios múltiples(Saaty, 2000). El proceso requiere que quien toma las decisiones proporcione evaluaciones subjetivas respecto a la importancia relativa de cada uno de los criterios. Posteriormente, el tomador de decisiones debe especificar su preferencia con respecto a cada una de las alternativas de decisión. El resultado del *AHP* es una jerarquización con prioridades que muestran la preferencia global para cada una de las alternativas de decisión. En este sentido, y aplicado a la programación matemática difusa, Lai y Hwang distinguen tres tipos de metodologías para la resolución de problemas multiobjetivo basados en el tipo de información sobre las preferencias del decisor(Lai et al., 1994):

- a) Sin necesidad de información sobre las preferencias del decisor(Hwang et al., 1981; Lai et al., 1994). Una vez que se han definido los objetivos y las restricciones del problema, no es necesaria información adicional por parte del decisor.
- b) Con información facilitada a priori sobre las preferencias del decisor(Hans-Jürgen Zimmermann, 1978; et al, 1993). Se asume que el decisor tienen un conjunto de metas a alcanzar que son conocidas antes de formular el modelo correspondiente, ya sea consciente o inconscientemente.
- c) Con información facilitada progresivamente por el decisor sobre sus preferencias(Sakawa et al., 1985; Zeleny, 1981). Esta metodología, también conocida como metodologías interactivas, requiere de una mayor participación del decisor cuyas preferencias interactúan en el proceso de resolución del problema en cada iteración, determinando una nueva solución cada vez hasta llegar a un valor aceptado.

3.1.4 Enfoque técnico: los sistemas de energía eléctrica

Uno de los pilares de la ingeniería ha sido el abastecimiento de energía eléctrica a los usuarios, insumo imprescindible para mantener la calidad de vida de las personas y la producción de cualquier insumo. La energía eléctrica se ha convertido hoy en día en los países desarrollados en una forma de energía imprescindible y con infinitud de usos, debido a su gran versatilidad y controlabilidad, a la inmediatez en su utilización y a la limpieza en el punto de consumo. Actualmente, el almacenamiento de la energía eléctrica es muy difícil o no viable económicamente, debe producirse y transportarse en el mismo momento en que es consumida. Algunos emplazamientos utilizan centrales de bombeo que intercambian energía con la red o almacenan energía proveniente de parques eólicos, aunque requieren condiciones geográficas para ser realizados. Su transporte no se puede dirigir por caminos específicos, sino que la energía eléctrica fluye por las líneas u otras instalaciones de acuerdo a unas leyes concretas de la física. Dichas leyes imponen además una estrecha interdependencia entre las distintas vías de transporte de forma que cualquier perturbación en una línea u equipo de transporte provoca efectos colaterales significativos e inmediatos en los demás caminos alternativos. La electricidad “se inyecta” en la red o “se extrae” de la red en múltiples puntos, pero no es posible establecer una relación bilateral entre lo inyectado en un punto y lo extraído en otro. El enorme desarrollo del consumo eléctrico, las fuertes economías de escala en la producción de electricidad y el aumento de la capacidad de transmisión de las líneas a tensiones elevadas propiciaron el desarrollo de la red de transporte para conectar los sistemas aislados, dando lugar a verdaderos sistemas nacionales. Las características especiales de la electricidad hacen que su suministro sea considerado un servicio público en la mayoría de los países, propiciando la intervención del estado para garantizar una calidad y precios razonables. La fuerte capacidad de interconexión de la red de transporte, permite que generadores situados en cualquier nudo de la red puedan competir entre sí por suministrar electricidad en cualquier otro nudo de la red.

3.1.5 Enfoque legal: marco regulatorio

La reforma en la industria eléctrica en las últimas tres décadas, ha implicado una transformación sustancial respecto de su tradicional esquema, verticalmente integrado. Las leyes de emergencia económica (ley Nro. 23697/97) y de reforma del estado (ley 23.696/89) permitieron la participación del capital privado para realizar las inversiones que el estado nacional o provincial no podían afrontar. En la FIGURA 1 se presenta.

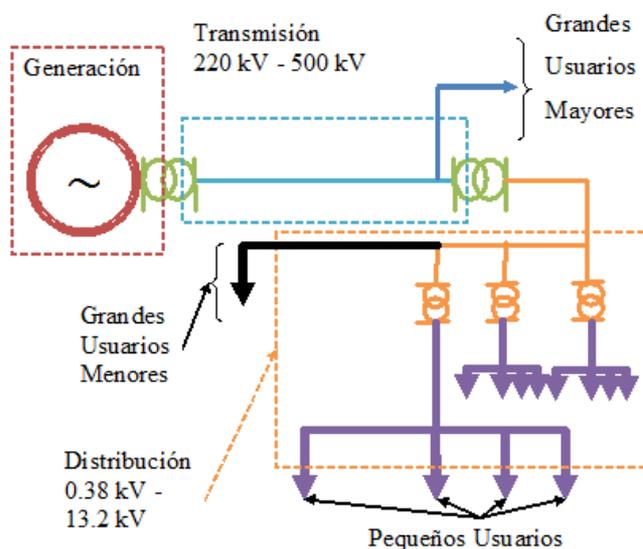


FIGURA 1: Esquema de los segmentos del mercado eléctrico.
Fuente: Elaboración propia.

La ley 24.065 estableció para la política nacional en materia de abastecimiento, transporte y distribución de electricidad, los siguientes objetivos:

En primer lugar, se busca la separación clara de los segmentos de la actividad según sean monopólicos o sujetos a las leyes del mercado. Se concibieron segmentos funcionalmente independientes (generación, transmisión y distribución - comercialización), vinculados a entornos de negocios en los que intentan establecerse condiciones de mercado.

En segundo lugar, en el segmento de generación (por ejemplo), se plantea un marco de competencia mediante la participación de múltiples agentes oferentes de servicios. En los que no, se aplica regulación, soportada en diferentes mecanismos. De esta manera, se busca alentar inversiones privadas para asegurar el suministro a largo plazo.

En tercer lugar, se busca garantizar el libre acceso a las instalaciones de transporte y distribución. Adicionalmente, se busca proteger los derechos de los usuarios, regulando las actividades del transporte y distribución. Se busca asegurar que las tarifas sean justas y razonables e incentivar el abastecimiento, transporte, distribución y uso eficiente de la electricidad fijando metodologías tarifarias apropiadas.

3.2 Enfoque económico:

3.2.1 Costo social de oportunidad y costo marginal

El tercer aspecto mencionado, respecto al marco regulatorio, hace

que se necesite de las teorías económicas. Se habla de mercado eléctrico ya que existen un conjunto de transacciones de procesos o intercambio de bienes o servicios entre individuos (energía eléctrica). El costo económico total asociado a ese bien puede definirse como el agregado del valor de todos los recursos indispensables para su producción, evaluados en función de su costo social de oportunidad. Esta definición exhibe dos dificultades básicas para su instrumentación práctica:

- a) La forma de determinar cuáles son los recursos indispensables para un determinado nivel de producción, resaltando aspectos ligados a la eficiencia productiva.
- b) La posibilidad de establecer el costo social de oportunidad de tales recursos, resaltando aspectos vinculados a la eficiencia asignativa.

En términos simples, un costo de oportunidad se refiere al “costo de la mejor alternativa no aprovechada”. El principio de escasez que rige a la economía, impone que los recursos destinados a cierto tipo de producción, no pueden serlo a otro. De este modo se “desaprovecha una oportunidad” al preferir una alternativa (objetivo de optimización) sobre otras. En la alternativa de producción elegida, el costo de los recursos escasos debe reflejar esta situación, evaluando el valor de los mismos como si se destinasen a la mejor alternativa dejada de lado. Tal cuestión se relaciona estrechamente con el conocimiento de una función social de bienestar y con la dotación del conjunto de recursos requeridos para la producción, supuesta cierta tecnología. En la mayoría de los modelos de optimización este concepto se modela mediante los llamados multiplicadores de Lagrange. En este paradigma se habla comúnmente del costo marginal, que es el aumento en el costo total que implica incrementar en una unidad la cantidad producida. Si un objetivo representa el costo económico y el segundo objetivo representa algún atributo no monetizable (CO_2 por ejemplo), entonces el costo social de oportunidad se asocia al sobre costo incurrido por haber incrementado las emisiones. Por atributo no monetizable se entiende a aquellos objetivos que no pueden ser traducidos a un costo económico al tener una valoración subjetiva y no existir un mercado para el mismo. Entonces, este costo social de oportunidad asociado puede verse como un costo marginal si se admite que dicho atributo fuera un bien de producción. Todos estos elementos constituyen condiciones "dadas" para la optimalidad paretiana en el seno del paradigma marginalista, dentro de la teoría económica neoclásica. La optimalidad paretiana significa que es tecnológicamente imposible mejorar en un objetivo buscado, sin empeorar en al menos otro de los objetivos.

3.2.2 Mecanismos de regulación de precios

La determinación de las tarifas se encuentra discutida en el estado del arte, proponiendo el uso de costos medios, costos marginales, o mecanismos de regulación de precios. Cada una de estas metodologías

posee ventajas y desventajas respecto a la satisfacción de los criterios de eficiencia y equidad. La regulación estatal a través de mecanismos regulatorios, puede ser agrupada en regulación por costos y regulación por incentivos. A los métodos de regulación basados en costos se les conoce como métodos con incentivos de bajo poder, pues le permiten a la empresa recuperar sus costos sea cual sea su desempeño (eficiente o ineficiente). En los métodos de regulación por incentivos se les conoce como métodos con incentivos de alto poder, pues disocian a los precios regulados con la evolución de los costos de la empresa regulada, permitiéndole a esta última aprovecharse de cualquier mejora en eficiencia que ella logre. El mecanismo de regulación por costos comprende lo que se conoce como regulación de la tasa de retorno (*Rate of Return o Cost-Plus*) (Guasch et al., 1999). En este método regulatorio se realizan la determinación de la tarifa en tres pasos:

- a) La empresa determina en forma detallada sus costos y esta información en donde se encuentra la tasa de retorno, es entregada al ente regulador. Esta primera estimación de la tasa justa de retorno es asignada de bajo valor por la empresa debido a lo cual esta requiere que los precios sean elevados por el ente regulador. Generalmente el ente regulador juzga elevada la tasa de retorno solicitada y por lo tanto no aumenta los precios de acuerdo a lo solicitado por la empresa.
- b) Una comisión de expertos recalcula la tasa de retorno justa de acuerdo a la información que disponen. Generalmente se conoce las elasticidades de la demanda del mercado eléctrico, por lo que finalmente los precios cambian para garantizar una nueva tasa de retorno.
- c) Los precios son asignados y permanecen fijos hasta una nueva revisión tarifaria. Durante este intervalo de tiempo la empresa debe ser efectiva en la asignación de costos. La determinación anual de precios beneficia a la empresa en cuanto, le permite actualizar cada año el precio regulado o tarifa y de esta forma cubrir sus costos.

El mecanismo de regulación por incentivos contiene varios métodos de tarifación que se mencionan a continuación.

Regulación por Precios Tope (*Price Cap Regulation*). Consiste en fijar un precio máximo en el servicio que brinda la empresa, con esto aumenta el incentivo de incrementar su tasa de ganancia como consecuencia de reducir costos. Es decir, al mantener un precio fijo la rentabilidad de la empresa es función de una reducción de costos. Esto representa un incentivo en la minimización de costo mediante una eficiencia asignativa de los mismos. El principal riesgo que asume la empresa distribuidora del servicio eléctrico es el desbalance al que está expuesto ante aumentos imprevistos en los costos o variaciones negativas en la demanda. Este es el mecanismo más frecuentemente utilizado en la Argentina.

Regulación por Precios Ramsey. Este método es aplicable a un

monopolio natural multiproducto, los precios Ramsey se definen como precios lineales que satisfacen la restricción de ingresos totales iguales a los costos totales que minimizan las pérdidas de bienestar. El hecho de que los precios sean lineales implica que se establece un precio distinto para cada producto, con esto se descarta el establecimiento de tarifas múltiples.

Regulación por Comparación (*Yardstick competition*). Consiste en obtener información sobre los parámetros relevantes mediante la observación de otras empresas similares tecnológicamente para inferir de ellas los costos a ser aplicados en la regulación tarifaria de la empresa que se regula. Para que esta comparación tenga algún valor es necesario que no exista colusión entre las empresas ni tipo alguno de integración horizontal.

Regulación basada en el desempeño de una empresa modelo eficiente. Consiste en realizar comparaciones de desempeño de la empresa regulada con respecto a otra empresa ficticia de la cual se la reconoce como empresa modelo eficiente. Con esta metodología se define a una empresa modelo por cada sector típico. Esta empresa modelo se crea sin considerar los activos preexistentes en el negocio y suponiendo la no existencia de esta en el mercado. Esto quiere decir que solo utiliza los activos necesarios para prestar el servicio de manera eficiente. Adicionalmente se estipula un plan de desarrollo de las inversiones de la empresa.

3.3 Enfoque energético ambiental: transición y demanda energética

Siguiendo a Smil (Smil, 2010), no existe una interpretación única del término “transición energética”. Este término es usado para describir bien el cambio en la composición o en la estructura del suministro de la energía primaria, o bien el cambio gradual de un modelo específico de aprovisionamiento energético a un nuevo estadio del sistema energético. Según Nordensvärd et al. (Urbanb et al., 2015), las transiciones energéticas son cambios en las actividades económicas de un país en un horizonte de largo plazo sobre la base del paso de unas fuentes de energía a otras. Se han producido varias transiciones energéticas históricamente, en gran parte en los países desarrollados.

Por ejemplo, la transición energética de la mano de obra y los animales de carga a la biomasa tradicional (como la leña, los residuos de cosechas o el estiércol); de la biomasa tradicional al carbón (1860); del carbón al petróleo (1880) y del petróleo al gas natural (1900). También se puede incluir aquí la incorporación del uso del gas natural para electricidad y calefacción (entre 1900 y 1910), la introducción comercial de la energía nuclear (1965), las energías renovables y las centrales hidroeléctricas (1995).

Las transiciones energéticas, también hacen referencia a la difusión gradual de nuevos dispositivos, como motores que reemplazan la fuerza de trabajo de los animales y las personas, y se caracterizan por:

- a) Cambios en los patrones de uso de energía, en las cantidades de energía (de déficit a superávit o viceversa).
- b) Cambios de las características de los recursos energéticos, como la producción de electricidad a partir de madera.
- c) Cambios en las dinámicas de la demanda de energía.

Las transiciones energéticas que tienen lugar en las economías grandes y a escala mundial, son inherentemente prolongadas en el tiempo. Habitualmente las transiciones tardan décadas en completarse y a mayor grado de dependencia de una fuente de energía o de un elemento motriz, mayor duración en el uso de las fuentes preexistentes y por tanto mayor tiempo llevará su sustitución. En las últimas décadas la Energía de Fuentes Renovables (EFR) ha cobrado impulso a nivel mundial motivada por diferentes factores. Los escenarios estudiados actualmente para la Adaptación al Cambio Climático son: '*Business as Usual*' (BAU) y '*Responsabilidad Colectiva*' (RC). Business as Usual se refiere a lo que se podría esperar basado en los patrones actuales. La Responsabilidad Colectiva implica un cambio significativo que reorientará los patrones actuales de manera importante.

Cada escenario está vinculado a una reseña con un conjunto de puntos clave, un texto con una visión más amplia (narrativas), y variables cuantitativas que demuestran posibles trayectorias hacia 2050. En algunos países su promoción ha sido una estrategia para reducir la emisión de gases de efecto invernadero y así contribuir a frenar el cambio climático. Sin embargo estas iniciativas no contemplaron los inconvenientes que trae esta transición si no se hace en forma reflexiva. En España se incentivó a la inversión de paneles solares domiciliarios y medidores bidireccionales con el fin de que estos puedan aportar energía a la red. Se introdujo el concepto de prosumidor, donde el usuario puede autoabastecerse y vender el excedente a la red. Sin embargo, debido a los inconvenientes técnicos y regulatorios, se aplicó un impuesto al sol para impedir el aporte a la red. Otro ejemplo resulta Alemania, la cual recurrió a la inversión de generadores fotovoltaicos y eólicos, desmantelando las centrales nucleares por generación renovable. Dado este cambio, en los momentos de indisponibilidad de energía se debió recurrir a centrales fósiles obsoletas o comprar energía a Francia, la cual posee una matriz eléctrica mayormente nuclear.

Por lo tanto, es necesario considerar al menos seis aspectos de las diversas fuentes renovables:

- a) La cantidad de energía que pueden proporcionar frente a la que se invierte en el proceso de transformación mediante el sistema más eficiente.
- b) El respaldo necesario para su fabricación y sustitución, en caso de indisponibilidad. En caso de fabricación nacional de los generadores, transición pierde sentido si la matriz energética es mayormente fósil, debido al incremento de emisiones de CO_2 en el cual se incurre.
- c) Su vulnerabilidad frente a posibles cambios socioeconómicos

- drásticos y factores externos, tales como el precio del petróleo.
- d) Su capacidad más o menos limitada, dada la variabilidad de la fuente y problemas técnicos asociados.
 - e) El impacto ambiental que pueden provocar.
 - f) La equidad, esto es, que su explotación no beneficie sólo a unos pocos a costa del perjuicio del resto.

Los cuatro primeros aspectos se interrelacionan para componer un Índice denominado *Tasa de Retorno Energética* (TRE) o *Energy Returned On Investment* (EROI) 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.

3.4 Enfoque computacional: Economía Computacional En Regulación De Redes Eléctricas (ECRRE)

La economía computacional trata de resolver los problemas económicos vinculados a la administración de los recursos con el fin de maximizar los beneficios económicos obtenidos mediante el uso de herramientas computacionales. Dentro del tema de las redes eléctricas, todos los enfoques mencionados confluyen en la llamada Economía Computacional en Regulación de Redes Eléctricas (ECRRE). Es un área del conocimiento que se encarga del estudio de problemas de optimización, modelos matemáticos y métodos de solución, tendientes a establecer metodologías formales para la regulación de mercados eléctricos. Se vieron los mecanismos de regulación de precios, que son generalmente resueltos dentro de la ECRRE. Existen estudios complementarios correspondientes a los métodos de despacho económico y algoritmos de cierre de mercado: subastas mono y multi periodo y walrasiana. También se disponen distintos estudios relacionados a la calidad de servicio técnico y confiabilidad. Dentro del área computacional, los métodos de resolución más implementados son: técnicas de programación matemática, métodos iterativos o heurísticos y técnicas de soft-computing (Guo et al., 2001; Wu, 2009).

La soft computing es una rama de la Inteligencia Artificial que engloba diversas técnicas empleadas para solucionar problemas que manejan información incompleta, con incertidumbre y/o inexacta. Dentro de las técnicas de inteligencia artificial, o de computación blanda, se encuentran técnicas de reconocimiento, filtrado y aproximación de datos (Redes Neuronales). En el estado del arte de la inteligencia artificial se disponen de herramientas comúnmente utilizadas y de alta flexibilidad llamadas metaheurísticas. Estas son estrategias generales para construir algoritmos en un grado superior de las heurísticas, y van algo más allá. Esto significa que tienen heurísticas subordinadas para resolver el problema de forma eficiente. La disponibilidad de técnicas metaheurísticas es extensa, y pueden clasificarse en métodos de optimización y proceso.

Las metaheurísticas más conocidas son la Optimización del Enjambre de Partículas, Colonia de Hormigas, Algoritmos Genéticos, etc. La presente línea de investigación realizó numerosos estudios utilizando X variantes del PSO y la posibilidad de combinarlos para obtener mejores soluciones (Schweickardt et al., 2016; Schweickardt et al., 2010).

El concepto de metaheurística está ampliamente estudiado y desarrollado en el estado del arte, basado en la idea original de Glover. Se acepta como la más descriptiva la definición de J. P. Kelly: "Las metaheurísticas son una clase de métodos aproximados que están diseñados para resolver problemas difíciles de optimización combinatoria en los que los heurísticos clásicos no son efectivos. Las metaheurísticas proporcionan un marco general para crear nuevos algoritmos híbridos combinando diferentes conceptos derivados de la inteligencia artificial, la evolución biológica y los mecanismos estadísticos" (Vélez et al., 2007). El uso de Metaheurísticas permite obtener algoritmos para resolver una amplia gama de problemas. Además de su versatilidad, ofrecen soluciones generalmente satisfactorias y con relativa facilidad de implementación. Sin embargo, entre sus limitaciones se encuentran en que son algoritmos aproximados, altamente no determinísticos (probabilísticos) y presentan poca base teórica. Dentro del conjunto de metaheurísticas disponibles en el estado del arte se desarrolla la metaheurística PSO (Optimización por Enjambre de Partículas), además de las características mencionadas, por su robustez y buena performance.

3.5 Problemas resueltos

Se presentan los problemas que se introducen brevemente en este artículo y se desarrollan en más profundidad en la Parte 2 del presente trabajo.

3.5.1 Balance de Fases

Desde un planteo multiobjetivo y aplicando técnicas derivadas de la optimización clásica, el problema del balance de cargas en un Sistema De Distribución de Energía Eléctrica en Baja Tensión (SDEE BT) no tiene solución realista. El SDEE BT parte de Centros de Transformación de Media Tensión a Baja Tensión (CT MT/BT), en los que se emplazan uno o más transformadores. El sistema es trifásico, pero las cargas conectadas en los diferentes nodos resultan monofásicas.

En la medida que tal desbalance exhiba un grado más pronunciado, se presentan tres problemas: pérdidas técnicas, producto técnico de tensión y la corriente homopolar (Schweickardt et al., 2016).

- a) Existe un aumento en las pérdidas técnicas del sistema. En segmentos urbanos/suburbanos, para sistemas de BT que utilizan 0.38 [kV] de tensión nominal de suministro, el nivel de pérdidas técnicas de potencia se sitúa entre un 5 a 10%.
- b) La calidad del producto técnico tensión de suministro, controlada por la regulación, disminuye. La tolerancia en tensión para redes

como las descritas en el ítem anterior, está entre un 5% a 7% respecto de la tensión de suministro nominal.

- c) Para sistemas con neutro puesto a tierra, el desbalance de intensidades genera una corriente de secuencia cero: $I_S^{|0|}$. Esta corriente corresponde a la suma de las intensidades de las tres fases.

El mayor efecto que produce el desequilibrio de carga es la limitación de la potencia aprovechable de las subestaciones transformadoras y por lo tanto la posibilidad de falla por sobrecarga. Entonces, el problema de optimización en el grado de desbalance de fases es definido como: *la búsqueda de aquella configuración de conexiones de las cargas a las fases [R, S, T] que minimizando los inconvenientes descritos en a), b) y c).* Se trata entonces de un problema combinatorio, en rigor dado por las variaciones con repetición de las 3 fases tomadas de a nC cargas.

El problema del balance de fases de un SDEE posee un conjunto de soluciones factibles $F \subseteq \{R, S, T\}^{nC}$, y su función objetivo es una función de valuación vectorial (*multiobjetivo*)

$$\vec{u}(x) = \left(\text{Perd}_T(x), I_S^{|0|}(x), I_{\Delta u}(x), NC(x) \right), \text{ donde:}$$

- a) $\text{Perd}_T(x)$ mide las pérdidas de potencia activa [kW] del SDEE para la configuración x .
- b) $I_S^{|0|}(x)$ mide la intensidad [A] de la corriente homopolar para la configuración x .
- c) $I_{\Delta u}(x)$ es un índice de caídas de tensión del SDEE valuado entre 0 y 1 que mide la calidad el producto técnico tensión para la configuración x .
- d) $NC(x)$ mide el número de cargas conectadas a una fase distinta a la de la situación de referencia para la configuración x .

3.5.2 Confiabilidad

Formalmente, el problema de la optimización de la confiabilidad de un SDEE por ubicación de equipos SP (Schweickardt et al., 2017; Schweickardt et al., 2010) posee un conjunto de soluciones factibles $F \subseteq \{1,2,3\}^{nT}$, y su función objetivo es una función de valuación vectorial (*multiobjetivo*) $\vec{u}(x) = \left(ENS(x), SAIFI(x), SAIDI(x), CA_{EqSP}(x) \right)$, donde:

- a) $ENS(x)$ mide la Energía No Suministrada [MWh/año] del SDEE por fallas en los distintos tramos para la configuración de equipos SP x .
- b) $SAIFI(x)$ mide el Índice de Frecuencia de Interrupción Promedio del SDEE para la configuración x .
- c) $SAIDI(x)$ mide el Índice de Duración de Interrupción Promedio del SDEE para la configuración x .
- d) $CA_{EqSP}(x)$ es el Costo de Adquisición de los equipos necesarios para poner en marcha la configuración x .

Los parámetros son los datos técnicos del equipo: costo del equipo en [USD], vida útil [Año] y tasa de descuento. Adicionalmente se requieren los datos de la red bajo estudio, por ejemplo la tasa de falla por año por kilómetro del tramo $\left[\frac{\text{falla}}{\text{km} \cdot \text{Año}}\right]$. Se estiman diversos tiempos correspondientes a la logística relacionada a la contingencia de la falla. Se considera el tiempo para el conocimiento de la falla, preparación de los materiales, localización de la falla, reparación y tiempo de enfriamiento del aceite dieléctrico del interruptor.

3.5.3 Evaluación potencial de la generación renovable

El problema de la evaluación potencial se estima mediante un modelo dinámico de optimización de la matriz eléctrica, considerando los costos de inversión (C), las emisiones (CO_2) y la Tasa de Retorno Energético del sistema argentino (*Energy Returned on Investment - EROI*).

Las variables de este problema son continuas y por lo tanto el problema es complejo de resolver (Camargo et al., 2016). La función objetivo se compone de:

$$\text{Maximizar: } \vec{u}(x) = (C(x), CO_2(x), EROI(x))$$

$$\text{Sujeto a: } Rest(x)$$

Donde los criterios son: Inversión $C(x)$, Nivel de emisiones en ppm $CO_2(x)$, Tasa de Retorno Energético del sistema $EROI(x)$ y Restricciones de capacidad Instalada, garantía de suministro y asignación $Rest(x)$. Los parámetros son la matriz energética inicial y los datos técnicos de cada sector de generación: vida útil, eficiencia, factor de carga, EROI Individual, td : tasa de descuento.

4 CONCLUSIÓN

Se mostró en el presente trabajo un resumen teórico y metodológico de las propuestas realizadas por los presentes autores. La temática engloba las disciplinas: economía, ambiental, ingeniería eléctrica, legal, computacional, etc.

La problemática es extensa, compleja y multidisciplinaria. Por lo tanto, desarrollar en profundidad todos estos aspectos excede el alcance de este trabajo. En la presente línea de investigación se estudiaron por separado los problemas de confiabilidad, balance de fases, evaluación potencial de generación renovable.

Se presentaron las características principales y teorías asociadas al modelo de optimización propuesto dentro de la Economía Computacional de Regulación de Redes Eléctricas (ECRRE), e incorporando técnicas de la soft-computing y metaheurísticas. El objetivo es ampliar las herramientas disponibles para reguladores y compañías de distribución, buscando maximizar la calidad del servicio con las inversiones necesarias.

En la Parte 2 de la presente propuesta, se desarrollarán y

presentarán los resultados de los modelos planteados, que fueron resueltos en el estado del arte por los presentes autores.

5 REFERENCIAS

CAMARGO, F. G., & SCHWEICKARDT, G. A. (2016): "MODELO DE DECISIÓN MULTI-CRITERIO CON LA APLICACIÓN DE LA METAHEURÍSTICA FEPSO PARA LA DETERMINACIÓN DEL ESCENARIO ÓPTIMO QUE PROPICIE LA PENETRACIÓN DE LAS FUENTES PRIMARIAS DE GENERACIÓN RENOVABLES SEGÚN LA TASA TECNOLÓGICOS Y DE LAS FUNCIONES OBJETIVOS". IV Congreso Nacional de Ingeniería Informática / Sistemas de Información (CONAISI). Salta, Argentina.

DAGUM, C. (1968): "ON METHODS AND PURPOSES IN ECONOMETRIC MODEL BUILDING", 28(3-4), pgs. 381-398. <https://doi.org/10.1007/BF01322892>

DEQUECH, D. (2000): "FUNDAMENTAL UNCERTAINTY AND AMBIGUITY". Eastern Economic Journal. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/40325967>

FOUQUET, D. (2013): "POLICY INSTRUMENTS FOR RENEWABLE ENERGY – FROM A EUROPEAN PERSPECTIVE". Renewable Energy, 49, 15-18. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2012.01.075>

GUASCH, J. L., & SPILLER, P. T. (1999): "MANAGING THE REGULATORY PROCESS: DESIGN, CONCEPTS, ISSUES, AND THE LATIN AMERICA AND CARIBBEAN STORY". World Bank. Retrieved from: https://books.google.com.ar/books?hl=es&lr=&id=Y5QC6PFY84AC&oi=fnd&pg=PA15&dq=Managing+the+Regulatory+Process:+Concepts,+Issues+and+the+Latin+America+and+Caribbean+Story+Book&ots=1qSPMF3Tqi&sig=ZfPsrMnzxT22cy6XX6J2WP9hWA&redir_esc=y#v=onepage&q=Managing+the+Regulatory+Process%3A+Concepts%2C+Issues+and+the+Latin+America+and+Caribbean+Story+Book&f=false

HANS-JÜRGEN ZIMMERMANN. (1978): "FUZZY PROGRAMMING AND LINEAR PROGRAMMING WITH SEVERAL OBJECTIVE FUNCTIONS". Fuzzy Sets and Systems, 1(1), pgs. 45-55. [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(78\)90031-3](https://doi.org/10.1016/0165-0114(78)90031-3)

HWANG, C. L., & YOON, K. (1981): "METHODS FOR MULTIPLE ATTRIBUTE DECISION MAKING". pgs. 58-191. https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9_3

LAI, Y. J., & HWANG, C. L. (1994): Fuzzy Multiple Objective Decision Making (pp. 139-262). https://doi.org/10.1007/978-3-642-57949-3_3

SAATY, T. (2000): "FUNDAMENTALS OF DECISION MAKING AND PRIORITY THEORY WITH THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS". Retrieved from

[https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=wct10TlbbIUC&oi=fnd&pg=PT1&dq=Saaty,+T.+L.+Fundamentals+of+decision+making+and+priority+theory+with+the+analytic+hierarchy+process.+2000%3B+\(Vol.+6\).+Rws+Publications.+&ots=_B8wQS2KCg&sig=FT9Og44K6aznXt3sj7xr45t-7-Y](https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=wct10TlbbIUC&oi=fnd&pg=PT1&dq=Saaty,+T.+L.+Fundamentals+of+decision+making+and+priority+theory+with+the+analytic+hierarchy+process.+2000%3B+(Vol.+6).+Rws+Publications.+&ots=_B8wQS2KCg&sig=FT9Og44K6aznXt3sj7xr45t-7-Y)

- SAKAWA, M., & YANO, H. (1985): "INTERACTIVE DECISION MAKING FOR MULTI-OBJECTIVE LINEAR FRACTIONAL PROGRAMMING PROBLEMS WITH FUZZY PARAMETERS". *Cybernetics and Systems*, 16(4), pgs. 377–394.
<https://doi.org/10.1080/01969728508927781>
- SCHWEICKARDT, G., ALVAREZ, J. M. G., & CASANOVA, C. (2016): "METAHEURISTICS APPROACHES TO SOLVE COMBINATORIAL OPTIMIZATION PROBLEMS IN DISTRIBUTION POWER SYSTEMS. AN APPLICATION TO PHASE BALANCING IN LOW VOLTAGE THREE-PHASE NETWORKS". *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 76, pgs.1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2015.09.023>
- SCHWEICKARDT, G., & CASANOVA, C. (2017): "MODELO HIPERHEURÍSTICO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA CONFIABILIDAD EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DE MEDIA TENSIÓN". In *Anales XXX ENDIO y XVIII EPIO* (pgs.138–145).
- SCHWEICKARDT, G., & PISTONESI, H. (2010): "OPTIMIZACIÓN DE LA CONFIABILIDAD EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DE MEDIA TENSIÓN POR EVOLUCIÓN DEL COSTO INTRÍNSECO DE LA ENERGÍA NO SUMINISTRADA". *Revista de la escuela de perfeccionamiento en investigación operativa*, 1, pgs.125–146.
- SMIL, V. (2010): "ENERGY TRANSITIONS : HISTORY, REQUIREMENTS, PROSPECTS". Praeger.
- URBANB, J., & NORDENSVÄRDA, F. (2015): "THE STUTTERING ENERGY TRANSITION IN GERMANY: WIND ENERGY POLICY AND FEED-IN TARIFF LOCK-IN". *Energy Policy*, 82, pgs. 156–165.
<https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2015.03.009>
- WU, D. (2009): "SUPPLIER SELECTION: A HYBRID MODEL USING DEA, DECISION TREE AND NEURAL NETWORK". *Expert Systems with Applications*. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095741740800910X>
- YOUNG-JOU, L., & CHING-LAI, H. (1993): "POSSIBILISTIC LINEAR PROGRAMMING FOR MANAGING INTEREST RATE RISK". *Fuzzy Sets and Systems*, 54(2), pgs.135–146. [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(93\)90271-I](https://doi.org/10.1016/0165-0114(93)90271-I)
- ZELENY, M. (1981): "THE PROS AND CONS OF GOAL PROGRAMMING". *Computers & Operations Research*, 8(4), pgs.357–359. [https://doi.org/10.1016/0305-0548\(81\)90022-8](https://doi.org/10.1016/0305-0548(81)90022-8)
- VÉLEZ, M. C., & MONTOYA, J. A. (2007): METAHEURÍSTICOS: UNA ALTERNATIVA PARA LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS COMBINATORIOS EN ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES. *Revista Eia*, (8), pgs.99-115.