

REVISIÓN Y ANÁLISIS DE NORMATIVAS DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS EN LA RIOJA ARGENTINA

Camargo, Federico ⁽¹⁻²⁾ – **Sarroca, Esteban** ⁽¹⁻²⁾ – **Argañaraz, Félix** ⁽¹⁻²⁾ – **Romero, Yolando** ⁽¹⁻²⁾ –
Faure, Omar ⁽³⁾ – **Rossomando, Francisco** ⁽⁴⁾ – **Gandolfo, Daniel** ⁽⁴⁾ – **Cabana, José** ⁽¹⁻²⁾ – **Karam,**
Claudio ⁽¹⁻²⁾ – **Sosa, Gonzalo** ⁽¹⁻²⁾ – **Merlo, Margarita** ⁽⁵⁾

(1) GATYER-FRLR-UTN

(2) Departamento de Ingeniería Electromecánica - FRLR-UTN

(3) Departamento de Ciencias Básicas - FRCU-UTN

(4) Energías Alternativas, Departamento de Automática - CONICET-INAUT-UNSJ

(5) Departamento de Ciencias Básicas - FRLR-UTN

E-mail: camargof@frcu.utn.edu.ar

Resumen: En el presente trabajo se presenta el estado del arte sobre las normativas para la generación distribuida de los paneles solares fotovoltaicos respecto a sus aspectos técnicos y legales, teniendo en cuenta el marco regulatorio del mercado eléctrico de Argentina. La importancia de los paneles solares fotovoltaicos es que producen energía sin emisiones y también la amplia disponibilidad de energía del sol. Se busca realizar un análisis que permitan la instalación de los paneles solares fotovoltaicos en generación distribuida y microrredes con la incorporación del prosumidor. Se busca mostrar que la aplicación de estas tecnologías todavía es motivo de discusión en el estado del arte, lo cual justifica la investigación del tema y su originalidad. Esta línea de investigación busca definir en el presente y futuros trabajos, criterios y factores influyentes, a mediano y largo plazo, en la sustentabilidad energética, ambiental y económica del sistema energético, con la intención de incorporarlos en ámbitos de investigación y enseñanza pertinentes, propiciando su análisis y discusión.

Palabras Claves: Normativa, Generación, Regulación.

Introducción

En el presente artículo se desarrollan los fundamentos teóricos del marco regulatorio con la incorporación de la Generación Distribuida (GD) de Energías Renovables, que servirán de introducción para futuros trabajos. De esa manera, se busca realizar una transición energética hacia fuentes renovables y no contaminantes, con el fin de minimizar las emisiones de CO₂. Adicionalmente, se busca incentivar la mejora de la eficiencia energética y ahorro energético del mercado eléctrico. Este problema es de carácter multidisciplinario e involucra ramas de la economía, ingeniería eléctrica, ambiental, software, entre otros. Por lo que se torna compleja su comprensión y resolución debido a los vacíos metodológicos y desacuerdo entre dichas disciplinas en criterios de medición, definición y evaluación ya que algunas de ellos son contrarias. Finalmente, no hay acuerdo sobre el mecanismo de regulación más apropiado para aplicar y las sanciones requeridas para garantizar los criterios de

calidad mínimos requeridos. Esto se debe a que estos atributos no están sujetos a las leyes convencionales de equilibrio de mercado y, en consecuencia, no son monetizables directa y objetivamente. En consecuencia, los planes de inversión teóricamente óptimos resultantes podrían no serlo en absoluto (Camargo, 2021a, 2022b, 2022c, 2023d; Camargo et al. 2018; Camargo et al. 2023).

El artículo se estructura como se detalla a continuación. En la Sección 2 se presenta el estado del arte: descripción del mercado eléctrico argentino (sección 2.1), descripción del marco regulatorio (Sección 2.2), leyes de fomento a la generación distribuida (Sección 2.3) y prosumidor y microrredes. En la Sección 3 se resumen los principales aspectos analizados y se presentan conclusiones, observando las futuras aplicaciones.

Estado del arte

Descripción del mercado eléctrico argentino

La operación en el mercado eléctrico se clasifica según la perspectiva del agente que maximiza sus beneficios o minimiza sus costos: productor, comercializador y consumidor (Camargo, 2021a, 2022b, 2022c, 2023d; Camargo et al. 2023).

Perspectiva del productor: el productor determina la producción que maximiza sus beneficios según sus ingresos y los costos totales. 1) Precio-aceptante: posee varios generadores, pero carece de capacidad de alteración de los precios de cierre de mercado, maximiza sus beneficios al maximizar el beneficio de cada generador. Entonces, cada generador responde óptimamente a los precios de cierre de mercado (que no se alteran) respetando sus propias limitaciones de producción. 2) Productor fijador de precios: utilizará esa capacidad para alterar los precios de la forma más conveniente, buscando maximizar sus beneficios. Los generadores actúan en forma coordinada, para lograr el precio más favorable y por lo tanto la maximización del beneficio en su conjunto. Este caso será distinto a la maximización del beneficio de cada generador, actuando en forma independiente.

Perspectiva del comercializador: suministrar la energía que tiene comprometida con sus clientes, bien auto produciendo o bien comprándolas en la bolsa. Se tienen tres componentes a optimizar: los ingresos por venta de energía durante el periodo de análisis, los costos totales de autoproducción y el costo total por compra de energía en la bolsa. Se tienen dos restricciones: 1) El comercializador ha de suministrar la energía demandada por sus clientes. 2) Todos los generadores de autoproducción han de trabajar dentro de sus respectivas regiones de operación factibles.

Perspectiva del consumidor: Un consumidor es un agente del mercado, y, por lo tanto, puede participar en la bolsa, así mismo puede tener capacidad de autoproducción. El objetivo de este consumidor es maximizar sus propios beneficios. Éstos se expresan como el valor total que obtiene del uso de la energía (utilidad) menos los costos de autoproducción y de compra en el mercado. Este problema es muy similar al enfoque del comercializador.

Descripción del marco regulatorio

La reforma en la industria eléctrica 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 (Figura 1). La ley 24.065 estableció para la política nacional en materia de abastecimiento, transporte y distribución de electricidad, los siguientes objetivos. 1) Separar de forma clara 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. 2) Alentar las inversiones privadas para asegurar el suministro a largo plazo mediante un marco de competencia con la participación de múltiples agentes oferentes de servicios (sector de generación) y la regulación de los monopolios naturales (transmisión y distribución). 3) Garantizar el libre acceso a las instalaciones de transporte y distribución protegiendo los derechos de los usuarios y regulando las actividades del transporte y distribución. 4) Asegurar que las tarifas sean justas y razonables e incentivar el abastecimiento, transporte, distribución y uso eficiente de la electricidad fijando metodologías tarifarias apropiadas.

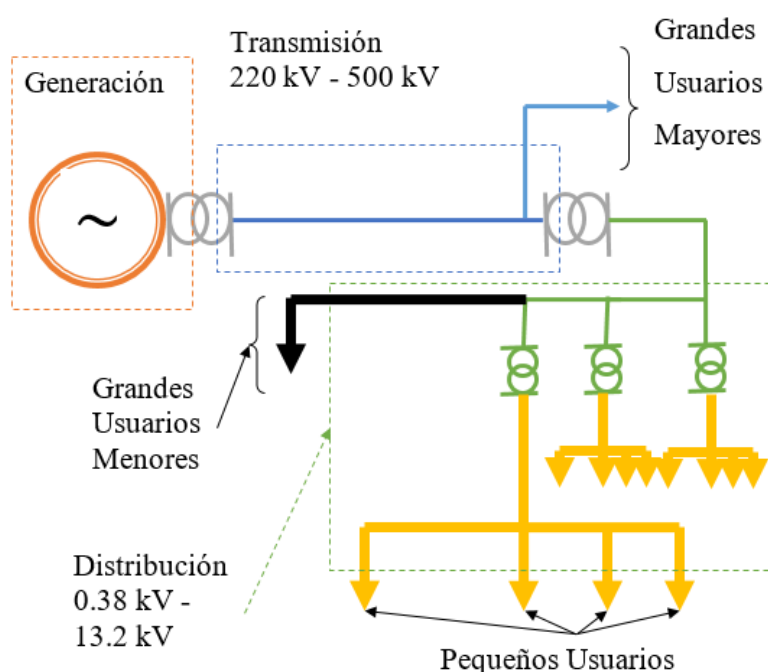


Figura 1 Separación del mercado eléctrico argentino.

Entonces se definieron cuatro segmentos de mercado con reglas de competencias distintas: Generación, Transporte, Distribución y Grandes Usuarios (ver Figura 1). A las redes de transmisión pueden estar acoplados los Grandes Usuarios Mayores (GUMA). Mediante los transformadores se reduce el nivel de tensión a niveles más bajos, lo cual se llama media tensión (13.2 kV) o sistemas se denominan Sistemas de distribución. Los usuarios que se acoplen a este sistema (con transformador propio mediante) son denominados como Grandes Usuarios Menores (GUME), Grandes Usuarios Particulares (GUPA) y Grandes Usuarios de la Distribuidora (GUDI). Mientras que la generación funciona bajo condiciones de libre competencia, el transporte y la distribución en cambio son caracterizados como servicios públicos que se prestan en condiciones de monopolio natural. Por ende, resulta necesaria la presencia del Estado como regulador y contralor de la actividad, función

desempeñada por el Ente Nacional Regulador de la Electricidad (ENRE) (Camargo, 2022b, 2022c, 2023d; Camargo et al. 2018; Argentina, 2007a, 2015b).

Leyes de fomento a la generación distribuida Nacional y Provincial (La Rioja)

A partir de 2015, la lógica preocupación fiscal se tradujo en intervenciones orientadas a reducir los subsidios en el sector energético (Camargo, 2021a, 2022b, 2022c, 2023d; Camargo et al. 2014; Camargo et al. 2018; Camargo et al. 2023). Se buscó de esta manera y nuevamente desregular y des-intervenir el mercado eléctrico, normalizar la situación económica y financiera, y a su vez, incentivar las inversiones necesarias. En este sentido, se buscó dar paso a cumplir el objetivo del 20% de renovables, mediante la planificación de las inversiones necesarias. En este sentido, se aprobó la denominada: ley de Régimen de Fomento a la Generación Distribuida de Energía Renovable Integrada a la Red Eléctrica Pública. Mediante esta ley se busca fijar las políticas y establecer las condiciones jurídicas y contractuales para: 1) La generación de energía eléctrica de origen renovable por parte de usuarios de la red de distribución. 2) Autoconsumo, con eventual inyección de excedentes a la red. 3) Establecer la obligación de los prestadores del servicio público de distribución de facilitar dicha inyección, asegurando el libre acceso a la red de distribución, sin perjuicio de las facultades propias de las provincias. Las políticas de incentivos para el autoconsumo de los usuarios buscan ser implementadas a través del Fondo Para la Generación Distribuida de Energías Renovables (FODIS) (Camargo, 2021a, 2022b, 2022c, 2023d; Camargo et al. 2014; Camargo et al. 2018; Camargo et al. 2023). El FODIS podrá proveer recursos y otorgar préstamos, subsidios o bonificaciones, así como fijar incentivos a la inyección o bonificaciones para la adquisición de sistemas de generación. Incluso podrá financiar la difusión, investigación y desarrollo relacionadas a las posibles aplicaciones de este tipo de tecnologías. En el año 2012 se aprueba la ley 26190, la cual estableció que en el 2016 se alcance el 8% de la matriz eléctrica en energías renovables, meta que fue muy difícil de alcanzar. En el año 2016 se aprueba un nuevo marco regulatorio dado por la ley 27191. Se estipula un marco de incentivos, penalizaciones, donde los principales instrumentos regulatorios de interés son los siguientes : 1) Amortización acelerada del impuesto a las ganancias. 2) Incentivo para proyectos de inversión con componentes Nacionales. 3) Subsidio del 3% de la tasa de interés en préstamos.

La ley provincial N° 10.150 (adhesión a la Ley Nacional N° 27.424) declara de Interés Provincial a la GD a partir de fuentes de energía renovable, con destino al autoconsumo y a la inyección de eventuales excedentes de energía eléctrica a la red de distribución. Sus objetivos son: a) Impulsar la eficiencia energética. b) Reducir las pérdidas en el sistema interconectado. c) Disminuir los costos para el sistema eléctrico en su conjunto. d) Propender a la protección ambiental. e) Promover la protección de los derechos de los usuarios en cuanto a la equidad y libre acceso a los servicios e instalaciones de transporte y distribución de electricidad.

La ley provincial (La Rioja) N° 8.190 busca lo siguiente (Argentina, 2007b): a) Promover y controlar la producción, procesamiento y uso sustentante de las energías procedentes de los recursos energéticos renovables o autorrenovables (biocombustibles, biogás, biomasa, energía eólica, energía solar, etc.) y sus derivados. b) Establecer normas de calidad y seguridad a la que se ajustarán los proyectos que se encuadren en la presente ley. c) Crear y llevar un registro de proyectos aprobados, con el seguimiento y control de los mismos y del cumplimiento

de los requisitos y condiciones de habilitación y funcionamiento. d) Suscribir convenios de investigación y cooperación técnica con entes públicos, privados, mixtos y organizaciones no gubernamentales locales, del país y del exterior. e) Fiscalizar y aplicar las sanciones previstas de acuerdo a la gravedad de la infracción constatada. f) Establecer requisitos y condiciones para la habilitación de los emprendimientos, resolver sobre su calificación y aprobación y certificar la fecha de su puesta en marcha. g) Promover el sistema de riego asistido con energías baratas y alternativas según la región, eólica o fotovoltaica.

Prosumidor y microrredes

Las tarifas establecidas en el marco regulatorio, están conformadas por: 1) Costos de adquisición en el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM). 2) El costo Propio de Distribución (CPD) es el costo marginal o económico de las redes, más los costos de operación/mantenimiento de las redes y gastos de comercialización. 3) La ley 24.065/91, Res ENRE N° 195, contempla el cobro de un peaje o cargo de acceso para el ingreso de los mismos a los sistemas de distribución. Este valor significa conceptualmente el costo de peaje que debe abonar el segmento de generación por el solo hecho de utilizar la red de distribución. También en esta reglamentación se contempla negar éste acceso o restringirlo demostrando la no existencia de capacidad, contemplando un régimen remuneratorio. Una de las formas en las cuales se busca incorporar la generación renovable es mediante la Generación Distribuida (GD), lo cual trajo un paradigma que ha cobrado nuevo impulso, alentado principalmente por diversos factores tecnológicos, condiciones del mercado y necesidad congruente de políticas energéticas y ambientales. Por otro lado, dentro de los nuevos modelos de negocios puede incorporarse un agente adicional: el comercializador - generador (prosumidor). La reforma regulatoria contempló esta posibilidad, aunque no pudo ser implementada satisfactoriamente (Camargo, 2021a, 2022b, 2022c, 2023d; Camargo et al. 2018; Argentina, 2007a, 2015b).

Net Metering consiste en la medición de la energía consumida y la energía inyectada por el prosumidor/generador (medidores bidireccionales), donde los consumidores también pueden ser productores o generadores de energía. Si la energía demandada es mayor a la energía inyectada, el usuario generador paga la diferencia al precio establecido de consumo por la distribuidora. Si la energía inyectada es mayor, entonces puede: no compensar al usuario, compensarse con un precio menor al establecido u otorgarse un crédito para futuros consumos. En Facturación Neta o Net Billing, se mide la energía Efectivamente Invertida (EEI) y la Energía Efectivamente Demandada (EED). Si la EEI es mayor que la EED, puede comprarse esa energía al mismo precio establecido por la distribuidora, a un precio mayor o menor, o de la misma forma concederse créditos para futuras facturas. El sistema Feed-in Tariffs (FiTs) impulsa el desarrollo de la generación de energía eléctrica de fuentes renovables, donde se implementa un sistema de medición como Net Billing, y de esta forma, se obtiene claridad respecto del precio mínimo pagado en concepto de la energía eléctrica producida. Este sistema le permite al generador realizar las inversiones necesarias para llevar a adelante un negocio con ingresos superiores a sus costos. El establecimiento de los sistemas FiTs es complejo y es necesario que se den tres condiciones: 1) Que la autoridad regulatoria establezca una tarifa mínima, sobre-precio o premio para la electricidad inyectada proveniente de energías renovables, tarifa que tiende a diferenciarse según el tipo de energía, tamaño y ubicación de la central generadora. 2) Que exista la obligación de acceso

de las centrales de energía renovables a las redes eléctricas, para de esta forma asegurar que los generadores estén en condiciones de entregar su producto. 3) Que se establezca la obligación de compra de toda la electricidad que se inyecte al Sistema Interconectado Nacional.

Las dificultades de GD son: 1) Implementación de herramientas de despacho y asignación de generadores buscando que cada usuario maximice sus beneficios. 2) Manejo de los excedentes de la red (control centralizado) produciendo tarifas negativas para incentivar su consumo. Esto complica la operación del sistema en su conjunto, afectando tanto a distribuidores como a prosumidores y haciendo peligrar la estabilidad del propio sistema. Definiendo el Grado De Penetración (GDP) como la potencia instalada por el factor de carga dividido en la capacidad de las líneas, se presentan las siguientes razones por las cuales se restringe el aporte a la red de la GD. A) A partir de cierto valor de GDP las pérdidas se incrementan debido a la saturación de corrientes en las líneas. B) A medida que se incrementa el GDP se requiere de mayor maduración tecnológica.

La maduración es la siguiente (Figura 2). 1) **Modernización de la red**: a bajo GDP y debe actualizarse la infraestructura: secciones de los conductores, equipos de protección necesarios para garantizar el uso eficiente de la red y la instalación de equipos de medición bidireccionales, para establecer tarifas por tramos horarios y proporcionar datos del consumo en tiempo real, incrementando la capacidad de respuesta. 2) **Integración y Optimización de GDP**: se requiere de una plataforma de software para monitorear y optimizar (despacho eléctrico) las variables de estado de la red de distribución (tensión y corriente), con el fin de cumplir este objetivo. La tecnología ADMS/DERMS, herramientas como Net Billing o Net Metering y los modelos de capacidad de hosting contribuyen a la operación del sistema eléctrico facilitando la planificación, operación y optimización de la creciente cantidad de DER. 3) **Transacciones multi-agente y operaciones de mercado**: son modelos de subastas de mercado diario con múltiples generadores, similar al mercado mayorista, donde se ofrecen paquetes de energía acorde a la oferta energética disponible, con el objetivo de que sea consumido el excedente.

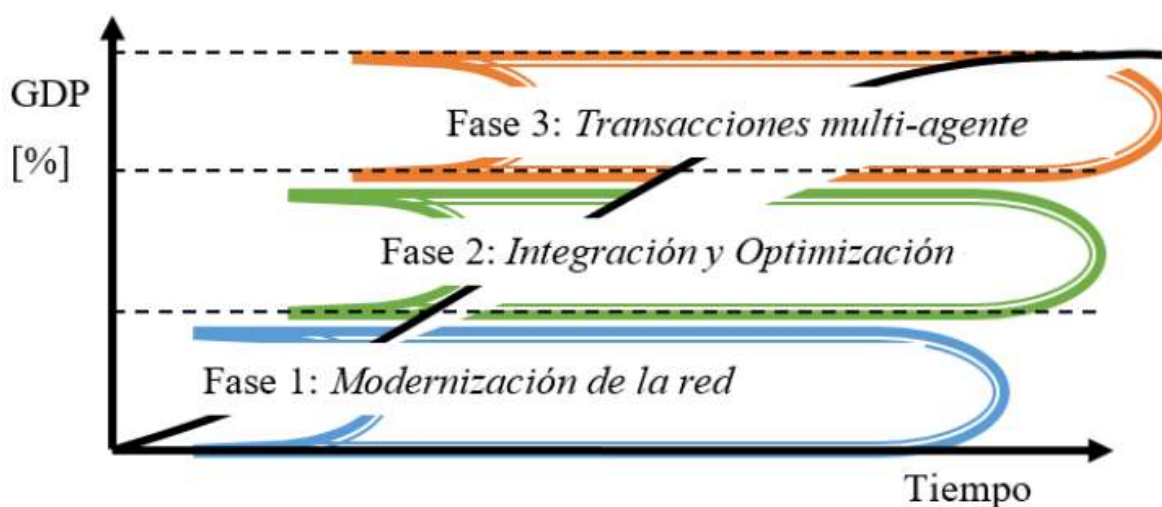


Figura 2. Separación del mercado eléctrico argentino.

En Argentina los criterios de calidad, confiabilidad y seguridad se encuentran levemente definidos, mediante la ley N° 24065, donde se definen herramientas de penalización basadas en la valoración directa de los índices de calidad técnica

(costo de la penalización). La ENS se valora alrededor de 10 veces a su precio normal de compra. Las leyes N° 26190 y 27191 establecieron mecanismos de metas e incentivos, pero no criterios o límites para su planificación en los sistemas de distribución por los siguientes motivos. A) Impacto en las pérdidas técnicas de la red al incrementar el GDP. B) Impacto en la calidad de tensión por la introducción de armónicos y huecos de tensión. C) Dificultad en la planificación de inversión por parte de la distribuidora y la recuperación de estos costos. D) Dificultad de la coordinación de las protecciones con los equipos de generación. Adicionalmente, se encuentra el posible colapso de la red en caso de tener exclusivamente parques eólicos. E) Complejos estudios de compraventa de energía entre los usuarios, y de despacho económico, lo cual requiere de técnicas y tecnologías maduras. La energía sobrante y no utilizada deben cobrarse tarifas negativas (subsídios) en franjas horarias, con el fin de incentivar ese consumo. E) Dificultad en la determinación del impacto en los costos económicos y ambientales de la GD.

Análisis y Conclusiones

Se presentaron los distintos aspectos asociados a las normativas para la generación distribuida de los paneles solares fotovoltaicos en generación distribuida y microrredes respecto a sus aspectos técnicos, económicos y legales, teniendo en cuenta el marco regulatorio del mercado eléctrico de Argentina. Las pérdidas técnicas de EDENOR (sin contar el hurto) se encuentran actualmente alrededor del 10% (debería ser de 7%), debido a la falta de inversión o planificación ineficiente en la instalación de tramos de red, que alivien los flujos de energía. En consecuencia, de esto ocurren los cortes y colapsos de red por superar su capacidad de transporte de corriente. La obsolescencia de los equipos y líneas también es un problema, ya que necesitan ser renovados por las empresas contratistas, las cuales no tienen incentivos legales y/o económicos para hacerlo (costo hundido o no recuperable). La importancia de los paneles solares fotovoltaicos como GD es que producen energía sin emisiones y también la amplia disponibilidad de energía del sol. En los últimos años se dictaron leyes que introdujeron los objetivos de calidad técnicos, económicos y ambientales buscados, y los instrumentos de incentivos y financiamiento para implementar los proyectos nacionales y provinciales de energía renovable en GD (y en particular la generación solar fotovoltaica). Por lo tanto, es un tema estratégico nacional y provincial, aunque adicionalmente, presenta algunos vacíos metodológicos y limitaciones. 1) La inserción masiva de generación distribuida requiere de mayor madurez tecnológica en la operación de la red eléctrica, recurriendo al uso de microrredes, sistemas de despacho de energía y multiagentes. Esto es complejo de simular, optimizar, implementar y reglamentar, dado que la problemática abarca múltiples aspectos: legales, económicos, ambientales, sociales, etc. 2) Por el ítem anterior, los esquemas utilizados para la tarifa de energía eléctrica en generación distribuida no abarcan el total del precio de la energía eléctrica cuando el prosumidor realiza un aporte a la red eléctrica (y en particular para los paneles solares fotovoltaicos). 3) Por los dos puntos anteriores, no se encuentran completamente definidos en Argentina (y a su vez en La Rioja) los criterios de calidad (niveles de pérdidas y participación de energías renovables. 4) Las empresas distribuidoras generalmente optan por impedir el aporte de los generadores mediante penalizaciones económicas o impuestos. En futuros trabajos se puede profundizar los aspectos analizados, buscando propuestas para

implementar en futuras reglamentaciones y leyes nacionales y provinciales, con el fin de mejorar la calidad energética, ambiental y económica.

Referencias

- Argentina (2007a). Cámara de Diputados de la Provincia de La Rioja. Ley 8.190. Recuperado de <https://faolex.fao.org/docs/pdf/arg153463.pdf>
- Argentina (2015b). Ministerio de Justicia y de Derechos Humanos. Ley 27191. Recuperado de <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/250000-254999/253626/norma.htm>
- Camargo, F. G. (2021a). Survey and calculation of the energy potential and solar, wind and biomass EROI: application to a case study in Argentina. *DYNA*, 88(219), 50-58.
- Camargo, F. G. (2022b). Dynamic Modeling Of The Energy Returned On Invested. *DYNA*, 89(221), 50-59.
- Camargo, F. G. (2022c). Fuzzy multi-objective optimization of the energy transition towards renewable energies with a mixed methodology. *Production*, 32, e20210132.
- Camargo, F. G. (2023d). A hybrid novel method to economically evaluate the carbon dioxide emissions in the productive chain of Argentina. *Production*, 33, e20220053. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.20220053>
- Camargo, F., Casanova, C., Perez, E., & Schweickardt, G. (2019). METODOLOGÍA REGULATORIA PARA PROPICIAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DESDE EL LADO DE LA OFERTA CON PENETRACIÓN DE FUENTES PRIMARIAS DE ENERGÍAS RENOVABLES. *Revista De La Escuela De Perfeccionamiento En Investigación Operativa*, 27(45), 5–24. Recuperado a partir de <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/epio/article/view/24350>
- Camargo, F. G., Sarroca, E., Faure, O., Argañaraz, F. D., Cabana, J. A., Karam, C., Sosa, G., Romero, Y. R., Calbo, V., & Perez, E. A. (2023). Discusión de la teoría económica y su aplicación en modelos multidisciplinarios energéticos : Parte 1: Introducción a los métodos de decisión difusos. *Revista De La Escuela De Perfeccionamiento En Investigación Operativa*, 31(53). Recuperado a partir de <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/epio/article/view/41269>
- Camargo, F. G., & Schweickardt, G. A. (2014). Estimación de la tasa de retorno energético: Análisis comparativo de las metodologías disponibles en la actualidad. *Maskana*, 5, 65-73.
- Camargo, F. G., Schweickardt, G. A., & Casanova, C. A. (2018). Maps of Intrinsic Cost (IC) in reliability problems of medium voltage power distribution systems through a Fuzzy multi-objective model. *Dyna*, 85(204), 334-343.