

Evaluación por simulación para el análisis económico de la incorporación de energías renovables en las políticas de consumo industrial

¹Bordón, Francisco; ¹Berterame, Franco; ¹Chezzi, Carlos María; ²Lerman, Ricardo;
¹Penco, José Jorge, y ²Tymoschuk, Ana Rosa.

¹Facultad Regional Concordia, Universidad Tecnológica Nacional.
Salta 277 (E3200EKE) Concordia, Entre Ríos.

²Facultad Regional Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional.
Lavaisse 610 (S3004EWB) Santa Fe, Santa Fe.

fran-bordon@hotmail.com

franco_berte@hotmail.com

carlos_chezzi@frcon.utn.edu.ar

ricardolerman@gmail.com

jpenco@frcon.utn.edu.ar

atymoschuk@frsf.utn.edu.ar

RESUMEN

La producción de recursos energéticos de nuestro país, en el año 2015, muestra un 36 % en combustibles líquidos y un 39 % en gas, lo que indica en suma un mayor porcentaje respecto a las otras alternativas. Esto trae como consecuencia la emisión de contaminantes y una explotación indiscriminada de recursos naturales limitados. Además, de los sectores de consumo, el industrial es el más elevado, por lo cual el fomento del uso de alternativas renovables y de eficiencia energética es un requisito primordial para reducir el daño climático, propiciar nuevas políticas, estimular la sustentabilidad y lograr la competitividad de la economía. Su incorporación implica una nueva filosofía de trabajo y una decisión de inversión económica considerable. Por ello se debe pensar en un plan estratégico de integración de energías alternativas y para esto es necesario contar con herramientas que permitan analizar a priori la factibilidad de utilización. El uso de la simulación en la industria permite comunicar modelos, desarrollar estrategias, aprender sobre la organización y analizar escenarios. DEVS (Discrete Event System Specification) es un formalismo que permite diseñar modelos complejos para implementarlos en un lenguaje de simulación. El objetivo de este trabajo es presentar un método de evaluación de estrategias de incorporación de energías alternativas a través de la simulación en el consumo industrial. Se presenta un modelo DEVS de un proceso industrial con la posibilidad de incorporar la generación de energía eléctrica con fuente solar como alternativa. Se aborda un caso de estudio para una industria local dedicada a la elaboración de productos alimenticios, que trabaja en forma regular en un proceso continuo las 24 horas. Se simulan para obtener la configuración de paneles necesarios y se calculan indicadores económicos y de reducción de gases de efecto invernadero (GEI). Como resultado del trabajo se obtiene una herramienta informática que permite evaluar la aplicación del cronograma de la Ley N° 27.191 en la industria, previa a su desarrollo.

Palabras Claves: Simulación, DEVS, modelo energético, energías renovables, análisis económico, GEI.

ABSTRACT

The production of energy resources in our country, in 2015, shows 36 % in liquid fuels and 39 % in gas, which indicates a greater percentage of the other alternatives. This results in the emission of pollutants and the indiscriminate exploitation of limited natural resources. In addition, the industrial sector is the highest, encouraging the use of renewable alternatives and energy efficiency is a primary requirement to reduce climate damage, promote new policies, stimulate sustainability and achieve economic competitiveness. Its incorporation implies a new philosophy of work and a considerable economic investment decision. Therefore, it is necessary to think of a strategic plan for the integration of alternative energies and for this it is necessary to have tools that allow to analyze a priori the feasibility of use. The use of simulation in the industry allows to communicate models, to develop strategies, to learn about the organization and to analyze scenarios. DEVS (Discrete Event System Speciation) is a formalism that allows the design of complex models to be implemented in a simulation language. The objective of this work is to present a method to evaluate the strategies of incorporation of alternative energies through simulation in industrial consumption. A DEVS model of an industrial process is presented with the possibility of incorporating electric energy generation with solar source as an alternative. It addresses a case study for a local food processing industry, which works on a regular basis in a 24-hour continuous process. They are simulated to obtain the required panel configuration and economic and greenhouse gas (GHG) reduction indicators are calculated. As a result of the work, a computer tool is obtained that allows evaluating the application of the schedule of Law N° 27.191 in the industry prior to its development.

1. INTRODUCCIÓN

La inversión en tecnologías de energías renovables para la generación de energía eléctrica es una necesidad a abordar para la planificación de políticas de consumo industrial, procurando la equivalente disminución en las emisiones de gases y la independencia del uso de combustibles fósiles como única fuente. Dichas políticas deben estar acompañadas de acciones de los gobiernos tales como inversiones, subsidios y créditos para la generación de energía con fuentes renovables y proporcionar estímulos impositivos [1].

A nivel nacional, se propone la Ley N° 26.190, “Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica”, promulgada en el año 2006 [2] y su modificación, la Ley N° 27.191, aprobada en el año 2015 [3]. Dichas leyes son los instrumentos normativos que incentivan la implementación de fuentes de energías renovables y la reducción de efectos climáticos de las energías no renovables. Para ello se establece un régimen con el fin de lograr una contribución de las fuentes de energía renovables que va desde el 8 % del consumo de energía eléctrica nacional, a alcanzar el 31 de diciembre de 2017 y hasta el 20 % del consumo de energía eléctrica nacional, al 31 de diciembre de 2025. Además, se establece que todos los usuarios de energía eléctrica de la República Argentina deberán contribuir con el cumplimiento de los objetivos fijados en la Ley N° 26.190 y se estipula un cronograma gradual de incremento en la capacidad de generación, cuya descripción se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Cronograma de porcentajes requeridos

Fecha	Porcentaje de generación con renovables
31/12/2017	8 %
31/12/2019	12 %
31/12/2021	16 %
31/12/2023	18 %
31/12/2025	20 %

Del análisis de las leyes mencionadas se destacan beneficios tales como deducciones en el Impuesto al Valor Agregado, en el Impuesto a las Ganancias y la obtención de un Certificado Fiscal. Por otra parte, los beneficiarios del presente régimen, que en sus proyectos de inversión acrediten fehacientemente un 60 % de integración de componente nacional en las instalaciones electromecánicas, excluida la obra civil o el porcentaje menor que acrediten en la medida que demuestren efectivamente la inexistencia de producción nacional, tendrán derecho a percibir como beneficio adicional un certificado fiscal para ser aplicado al pago de impuestos nacionales.

En cuanto a los grandes usuarios del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) y las grandes demandas que sean clientes de los prestadores del servicio público de distribución o de los agentes distribuidores, con demandas de potencia iguales o mayores a 300 kW, deberán cumplir efectiva e individualmente con los objetivos indicados en la mencionada Ley N° 26.190. A tales efectos, podrán autogenerar o contratar la compra de energía proveniente de diferentes fuentes renovables de generación. La compra podrá efectuarse al propio generador, a través de una distribuidora que la adquiera en su nombre a un generador, de un comercializador o comprarla directamente a CAMMESA bajo las estipulaciones que, para ello, establezca la Autoridad de Aplicación.

Los contratos suscriptos por los sujetos indicados en el párrafo anterior no podrán fijar un precio promedio mayor a ciento trece dólares estadounidenses o su equivalente en moneda nacional, por cada megavatio-hora comercializado entre las partes (US\$ 113/MWh).

Por los incumplimientos en las obligaciones de consumo de la porción de energía eléctrica renovable correspondiente a los porcentajes indicados en el párrafo anterior, los Grandes Usuarios del MEM y las grandes demandas que sean clientes de los prestadores del servicio público de distribución o de los agentes distribuidores, como penalidad por dicho incumplimiento deberán abonar sus faltantes a un precio equivalente al Costo Variable de Producción de Energía Eléctrica correspondiente a la generación cuya fuente de combustible sea gasoil de origen importado, calculado como el promedio ponderado de los doce meses del año calendario anterior a la fecha de incumplimiento. Cada provincia se deberá adherir a la presente ley y a dictar en sus respectivas jurisdicciones su propia legislación destinada a promover la producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables de energía.

Por tanto, la industria se enfrenta al desafío de generar parte de la energía eléctrica que consume con la planificación de políticas de generación propia con fuentes renovables [4]. Dicha planificación requiere acciones de incorporación de tecnología que implican importantes desembolsos de capital, por lo cual se requiere una evaluación antes de tomar las decisiones.

La simulación por computadora es una técnica que permite la construcción de un modelo que representa la realidad y frente a diferentes escenarios se puede estudiar el sistema desde una visión dinámica. Es una técnica que posibilita la experimentación de escenarios previamente a su implementación.

Para desarrollar los modelos de simulación se requiere de una teoría que fundamente su diseño y semántica. Un marco conceptual para la especificación de modelos para simulación de un sistema de eventos discretos es DEVS (Discrete Event System Specification), mediante el cual se cuenta con un formalismo que propone recursos para la construcción rigurosa de modelos con capacidad de representación de sistemas complejos [5][6].

Por ello el objetivo de este trabajo es presentar una estrategia de simulación para el análisis de la incorporación de capacidades de generación con energías alternativas en la industria y de este modo evaluar la factibilidad de lograr los porcentajes de generación requeridos por la mencionada Ley N° 27.191 de acuerdo al cronograma establecido (Tabla 1).

Se presenta un modelo DEVS de un consumo industrial y se simula con el fin de analizar las capacidades de generación energética.

2. CONSUMO ELÉCTRICO LOCAL Y REDUCCIÓN DE EMISIONES.

2.1. Situación actual del consumo eléctrico industrial en la zona.

En la ciudad de Concordia, provincia de Entre Ríos, la empresa distribuidora de energía eléctrica cuenta con aproximadamente 55 mil usuarios, con un 20 % correspondiente al sector industrial. En el Gráfico 1 se observan los distintos tipos de tarifas de servicio eléctrico. El mayor porcentaje corresponde a la demanda del sector residencial, comercial y alumbrado público. El sector industrial se divide en tres tarifas, a saber: (i) gran demanda – Vinculación inferior en Media Tensión – 13,2 kV (VIMT), (ii) gran demanda – Vinculación inferior en Alta Tensión – 33 kV (VIAT) y (iii) gran demanda – Vinculación inferior en Baja Tensión – 0,4 kV (VIBT).

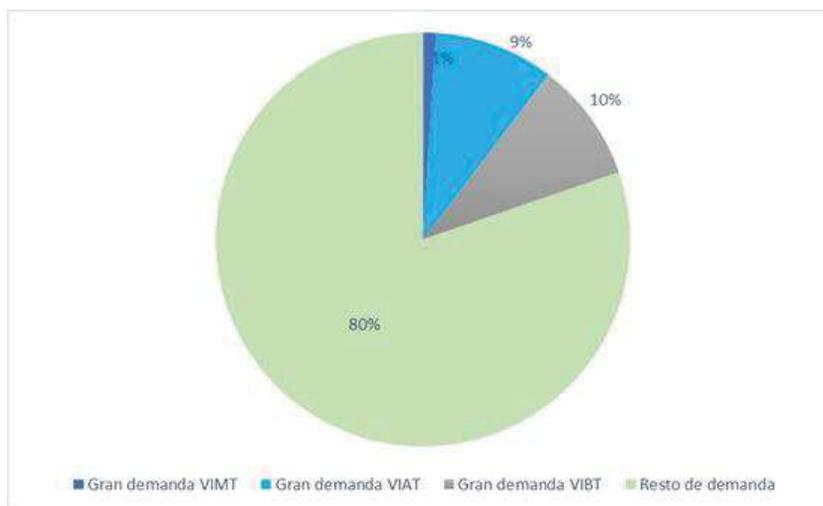


Gráfico 1. Tarifas sector industrial

Dentro del sector industrial existen 11 usuarios como gran demanda, cuya potencia requerida es mayor a 300 kW, y representan el 10 % del consumo total de la ciudad de Concordia. Estos usuarios, deben generar el 8 % de su demanda con energías renovables antes del 31 de diciembre del corriente año.

2.2. Reducción de los GEI frente a las nuevas políticas.

La incorporación de energías renovables constituye una de las medidas más relevantes que se pueden tomar con el fin de mitigar el Cambio Climático. Los recientes informes publicados por el IPCC (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático) han confirmado que la incesante emisión de gases de efecto invernadero, particularmente de dióxido de carbono (CO₂) que está modificando dramáticamente el clima global. Se estima que durante este siglo se producirá una elevación de la temperatura global entre 1,4 y 5,8 °C de continuar con las actuales tendencias de emisiones. Los impactos asociados al calentamiento global son enormes, de gran escala, irreversibles y ponen en riesgo la biodiversidad natural, los ecosistemas productivos y a las poblaciones humanas. Existen ya muchas evidencias de impactos asociados a este fenómeno, tales como mayores eventos meteorológicos extremos como huracanes, inundaciones y sequías, expansión de enfermedades como la malaria y el dengue. El uso de los combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón) es el principal responsable de este problema de escala global.

Es necesario entonces, poner límites a las emisiones, y por ende, al uso de los combustibles fósiles de manera tal de mantener el cambio climático dentro de ciertos límites "tolerables". Estos límites señalan que debemos reducir el uso de estos combustibles urgentemente. A diferencia de

la obtención de energía mediante la quema de combustibles fósiles, las energías renovables no generan GEI durante la etapa de operación. Para el análisis de la disminución de generación de GEI, se tomaron en cuenta los indicadores de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo sustentable de la Nación en relación con los factores de emisión de CO₂ de la red argentina de energía eléctrica. Tomando en cuenta las mediciones históricas del Indicador CO₂/kWh, se calcula que el promedio de emisiones es de 0,319 kg/kWh.

El consumo de energía eléctrica promedio residencial de la ciudad de Concordia es de 370 kWh por mes, y suponiendo que en los próximos años es factible que los usuarios puedan suplir el 40 % de la demanda residencial con energía solar fotovoltaica, la disminución de emisiones de CO₂ se describe en la Tabla 2.

Tabla 2: Disminución de emisiones de CO₂

	Consumo Promedio mensual	40 %	Energía aportada por la red
	370 kWh	148 kWh	222 kWh
Emisiones	118 kg CO ₂	47 kg CO ₂	71 kg CO ₂

Dados los resultados de la Tabla 2 se puede observar que cada usuario residencial puede reducir emisiones de CO₂ en 47 kg.

El cálculo del consumo promedio residencial de Concordia se realizó en base a datos de 26.777 conexiones, suponiendo que solo el 15 % del total de conexiones residenciales harán uso de energía solar fotovoltaica, se podría llegar a reducir en 188.778 kg las emisiones de CO₂.

3. MODELO DE SIMULACIÓN DEVS.

Discrete Event System Specification (DEVS) es un formalismo que permite describir modelos para simulación de sistemas de eventos discretos, en tiempo continuo. Las componentes del modelo DEVS se pueden clasificar en atómicas y acopladas. Cada componente individual es una atómica y la interrelación entre componentes atómicas es una acoplado. De este modo, dicho formalismo tiene la capacidad de representar complejidad mediante la integración de modelos atómicos y acoplados, lo cual es ventajoso para el caso en estudio, ya que los componentes tales como resistencias, inductancias y capacitores son modelos atómicos y sus relaciones son acoplamientos. Otra ventaja de este formalismo es que el simulador es independiente del modelo, por lo cual el modelo es abierto y su construcción no está sujeta a los requerimientos del simulador.

3.1. Modelo Base.

Para el diseño del modelo base se plantea un sistema eléctrico con el consumo de energía eléctrica, generación con fuente solar y aportes de la red eléctrica, de modo que se pueda satisfacer dicho consumo con la energía de red y la generación propia con fuente solar.

El modelo DEVS base se presenta en la Figura 1, el cual se organiza en dos componentes acopladas: (i) el modelo del sistema eléctrico, identificado como “Modelo de Consumo Energético” y (ii) el de experimentación y cómputo de métricas de salida, llamado “Marco Experimental”.

El marco experimental consta dos modelos atómicos. El “Generador de nivel de insolación” que produce los niveles de radiación solar y el “Transductor” que recibe los datos de salida y los procesa para presentar las métricas globales del sistema.

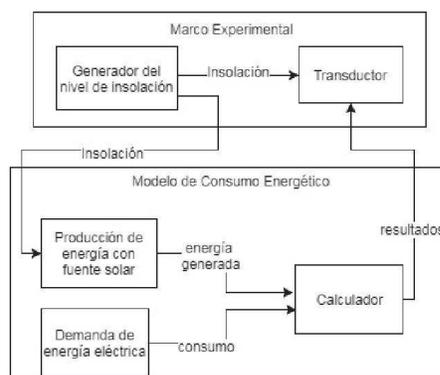


Figura 1: Modelo base del sistema de consumo de energía eléctrica con aporte solar

Por otro lado, el modelo de consumo energético formado por el acoplamiento de los modelos atómicos “Producción de energía con fuente solar”, que a partir de los niveles de insolación recibidos calcula la producción de energía eléctrica con fuente solar.

El modelo atómico “Demanda de energía eléctrica” genera los consumos de energía eléctrica requeridos por la vivienda y el modelo atómico “Calculador” que computa los consumos para cada unidad de tiempo, la generación solar y la cantidad inyectada a la red en el caso de un excedente de energía generada con fuente solar.

3.2. Modelo DEVS.

El framework DEVS puede ser implementado en DEVSJAVA, el cual es un entorno de simulación DEVS que utiliza el lenguaje Java. DEVSJAVA [8] es una herramienta de simulación cuya principal ventaja es la flexibilidad para la construcción de modelos personalizados de acuerdo a requerimientos específicos de cada problema. Por sus capacidades de programación orientada a objetos, posibilita un entorno de diseño escalable y reusable del código de programa.

El modelo DEVS propuesto consta de dos modelos acoplados formados por el marco experimental y el modelo de sistema eléctrico, el cual se presenta en la Figura 2.

El modelo acoplado “Marco Experimental” está compuesto por los modelos atómicos:

- “Generador del Nivel de Insolación”: es un modelo generador que contiene la distribución de probabilidad de los niveles de radiación solar, producidos en una unidad de tiempo diaria.
- “Transductor”: recibe los datos del calculador para computar los resultados de las salidas.

El modelo acoplado “Modelo de Consumo Energético” está formado por los modelos atómicos:

- “Demanda de la energía eléctrica”: es un modelo atómico generador que contiene la distribución de probabilidad de los consumos de energía eléctrica, producidos en una unidad de tiempo diaria.
- “Producción de energía con fuente solar”: sobre la base del nivel de radiación recibido, calcula la energía eléctrica generada con fuente solar. La unidad es kW/día.
- “Calculador”: recibe los datos de consumo y generación. Con dichos datos calcula la energía solar utilizada, la energía solar inyectada a la red y los consumos desde la red eléctrica.

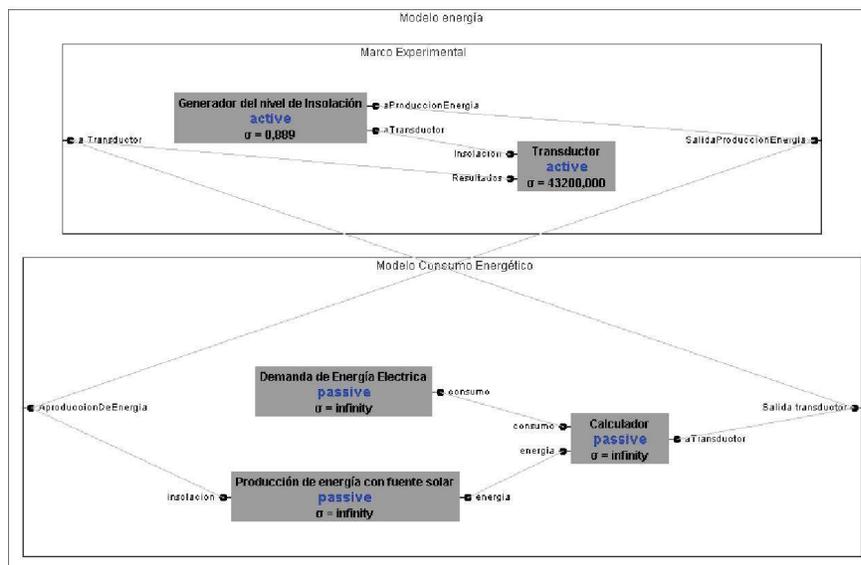


Figura 2: Modelo DEVS del sistema eléctrico con aporte solar

Durante la ejecución de la simulación los datos de salida se guardan en un archivo de log con el consumo requerido y el aporte con energía de fuente solar por día.

De la simulación se obtienen las métricas de salidas, de las cuales se destacan los porcentajes de consumo y de aportes energéticos.

4. Caso de Estudio.

4.1.- Datos del caso de estudio

Para este caso de estudio se considera una industria de la ciudad dedicada a la elaboración de productos alimenticios, que trabaja en forma regular en un proceso continuo las 24 horas, con las características en su consumo detalladas en la Tabla 3.

Tabla 3: Características y consumos

Consumo mensual	27.000 kWh
Consumo diario promedio	900 kWh
8 % del consumo mensual	2.160 kWh
8 % del consumo diario	72 kWh

Del consumo mensual de 27.000 kWh se debe obtener del cronograma (Tabla 1) el 8 % del valor mencionado antes del 31 de diciembre de 2017. Dicho valor se corresponde con 2.160 kWh por mes. Por lo tanto, la hipótesis de simulación es ¿Cuál sería la cantidad de paneles solares necesarios para abastecer 2.160 kWh promedio por mes?

4.2.- Parámetros del modelo de simulación

Para configurar el modelo de simulación se requieren dos parámetros: (i) demanda energética y (ii) generación fotovoltaica.

4.3.1. Distribución de probabilidad del consumo de electricidad.

Se considera un valor promedio por día de consumo de 900 kWh, por lo tanto se trabaja con una distribución constante, con argumento igual a 900.

4.3.2. Obtención de la distribución de probabilidad de la generación con fuente solar.

Para la obtención de la distribución de la generación solar se requiere de los datos de los niveles de radiación local. Para ello se toma como fuente de información los niveles de insolación provistos por la Estación Meteorológica Automática "Galileo Galilei" de la Facultad Regional Concordia de la UTN (<http://www.frcon.utn.edu.ar/galileo/mb3.htm>). De este modo se cuenta con los niveles de radiación medidos en W/m².

Los kW/m² por día generados con fuente solar se calculan según la Ecuación 1, teniendo en cuenta que se divide sobre mil el nivel de insolación en W/m² para llevarlo a kW/m². Como el aprovechamiento solar no es del 100 %, se lo multiplica por un porcentaje de aprovechamiento (PorAprov). Se considera un porcentaje de aprovechamiento del 22 %. Este porcentaje se obtiene comparando los resultados de experimentación por simulación con datos reales de una estación fotovoltaica.

$$kW / m^2 = ((W / m^2) / 1000) * PorcAprov$$

Ecuación 1

En la Ecuación 1 se calcula los kW generados por m². Para obtener la generación total del equipo solar se aplica la Ecuación 2.

$$kW \text{ totales} = (kW / m^2) * m^2 \text{ panel}$$

Ecuación 2

De este modo se calcula el producto de los kW por m² por el total de m² del conjunto de paneles solares del kit. Para el caso de estudio se considera que cada panel ocupa 2 m².

Se toman los datos de niveles de insolación de la estación meteorológica para el mes de julio, mes de menor insolación en el año para esta región. Se obtiene el 22 % (Ecuación 1) y se aplica el test de bondad de ajuste, cuyo resultado se muestra en el Gráfico 2.

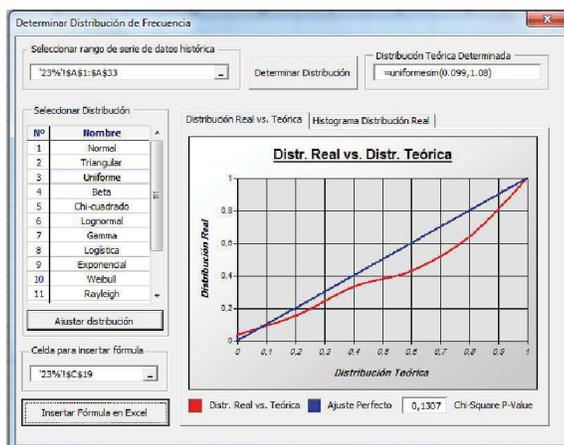


Gráfico 2: Test de bondad para la distribución del nivel de radiación

Del Gráfico 2 se concluye que la distribución de los niveles de radiación sigue una distribución de probabilidad uniforme con un valor mínimo de 0,099 kW/día y un valor máximo de 1,08 kW/día. Para completar el cálculo se debe multiplicar el valor de la generación por los metros cuadrados que miden la cantidad de los paneles del kit solar (Ecuación 2). Esta operación se realiza en el modelo atómico "Producción de energía con fuente solar" (Gráfico 2) del modelo DEVS del sistema eléctrico.

4.4. Simulación del Escenario 1.

Se simula sobre la base de los parámetros de las secciones 4.3.1 y 4.3.2 para el período de un mes. Como resultado se obtiene que son necesarios 100 paneles para lograr el 8 % de la generación, correspondiente a 2.200 kWh promedio por mes.

4.5. Descripción técnica del parque solar.

De la simulación se obtiene como resultado la necesidad de contar con cien paneles para cubrir el 8 % de la demanda. El parque solar está compuesto por un inversor (Figura 2) y paneles solares (Figura 3).



Figura 2: Inversor



Figura 3: Paneles

De la simulación se habían obtenido 100 paneles de 2 m² de superficie cada uno, que en el mercado se lo identifica como un panel de 310 Wp. Por lo tanto, para el funcionamiento del parque se requiere un inversor de 30.000 Wp.

Para lograr un funcionamiento óptimo del sistema, se debe tener en cuenta la tensión de entrada de operación del inversor. Para ello se requiere de 102 paneles cuya conexión es de 6 líneas en paralelo con 17 paneles en serie cada una.

Para validar el resultado obtenido de la simulación de 2.200 kWh en el mes de julio, se lo compara con los datos de generación aportados por un fabricante de un inversor de 30.000 Wp, que se observan en el Gráfico 3. Con la característica de nuestro parque solar tendremos una generación de 2.394 kWh en dicho mes, cubriendo la demanda mínima de 2.160 kWh.

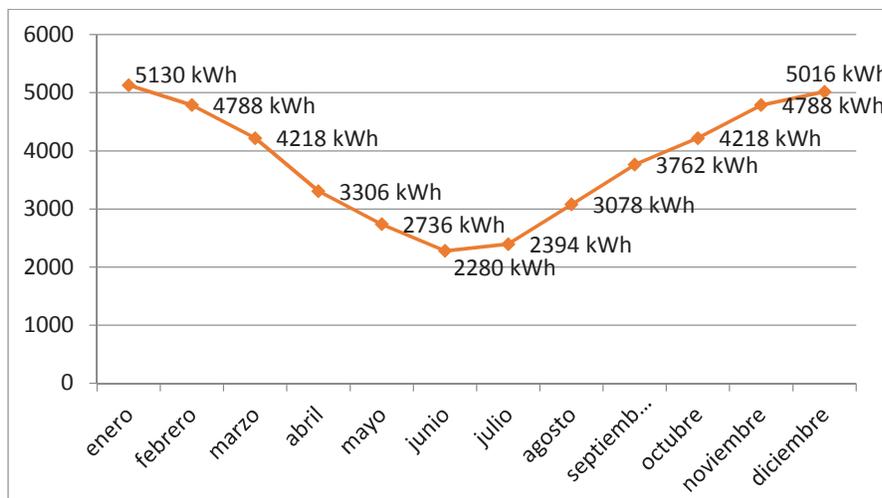


Gráfico 3: Generación mensual estimada por el fabricante.

4.6.- Evaluación económica

La solución propuesta tiene un costo de implementación de \$ 810.000.

Para realizar la evaluación económica se tiene en cuenta el precio de la energía eléctrica tomando los valores del cuadro tarifario que se encuentra en la página del Ente Provincial Regulador de Energía de Entre Ríos. (<http://epre.gov.ar/web/tarifario/>).

La empresa paga una tarifa para Grandes Usuarios – Vinculación Inferior en Baja Tensión (GU-VIBT), en la misma hay tres tipos de tarifas según el horario de consumo: (i) periodo horas restantes (de 5 a 18 h), (ii) periodo horas de valle nocturno (23 a 5 h) y (iii) periodo horas de punta (18 a 23 h). En nuestro caso se adopta la tarifa de periodo horas restantes ya que se corresponde con las horas diurnas de generación.

Se calcula la factura del servicio eléctrico para cada mes y se obtiene un monto de ahorro de \$ 86.000 anuales por la energía no consumida.

En la Tabla 4 y la Tabla 5 se encuentra el flujo de fondos económico con los valores.

Tabla 4: Flujo de fondos

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7
Inversión inicial	-\$ 810.000							
Ahorro de servicio eléctrico		\$ 86.000	\$ 86.000	\$ 86.000	\$ 86.000	\$ 86.000	\$ 86.000	\$ 86.000
Balance de cada período	-\$ 810.000	\$ 86.000	\$ 86.000	\$ 86.000	\$ 86.000	\$ 86.000	\$ 86.000	\$ 86.000

Tabla 5: Flujo de fondos

	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15
Inversión inicial								
Ahorro de servicio eléctrico	\$ 86.000	\$ 86.000	\$ 86.000	\$ 86.000	\$ 86.000	\$ 86.000	\$ 86.000	\$ 86.000
Balance de cada período	\$ 86.000	\$ 86.000	\$ 86.000	\$ 86.000	\$ 86.000	\$ 86.000	\$ 86.000	\$ 86.000

Se observa que el periodo de repago se logra en el año diez, con un Valor Actual Neto (VAN) de \$ 380.000 pesos y una Tasa Interna de Retorno de 6,5 %.

4.7.- Simulación para alcanzar porcentajes establecidos por la Ley N° 27.191.

Se realiza una nueva simulación para calcular el número de paneles necesarios para alcanzar la generación requerida por la Ley N° 27.191, en forma progresiva hasta el año 2025.

En la Tabla 6 se aprecian los resultados de simulación que consisten en la generación requerida de acuerdo al porcentaje para el año, la cantidad de paneles correspondientes y la generación lograda con esa configuración.

Tabla 6: Datos de cantidad de paneles y generación obtenida por año

Año	Porcentaje	Generación requerida (kWh por mes)	Cantidad de Paneles	Generación obtenida (kWh por mes)
2019	12 %	3.240	133	3.240
2021	16 %	4.320	179	4.361
2023	18 %	4.860	200	4.873
2025	20 %	5.400	224	5.457

5. CONCLUSIONES.

En este trabajo se propone un modelo de simulación de un sistema energético con el fin de lograr los objetivos propuestos por la Ley N° 27.191, de la misma se obtiene la cantidad de paneles necesarios para lograr la generación estipulada. En función del número de paneles obtenidos se selecciona el inversor adecuado y con ello se calculan los costos del parque solar.

Esta estrategia de encontrar el número de paneles en base a los niveles de radiación es significativa ya que de lo contrario se debería contar con diferentes tecnologías de sensores solares implementadas para captar sus datos de producción energética.

Del análisis económico se observa que la inversión no es atractiva, sin embargo se recupera el capital invertido a los diez años y se cumple con la normativa vigente. Además se obtiene una disminución de gases de efecto invernadero de 14,5 toneladas de CO₂ al año.

6. REFERENCIAS.

- [1] Morris, Adele C. Nivola, Pietro S. Schultze, Charles L. (2012) Clean energy: Revisiting the challenges of industrial policy. *Energy Economics*, vol. 34, pp. 534-542.
- [2] Ley Nacional Argentina N° 26190. "Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica". (2006). https://www.iea.org/media/pams/argentina/PAMS_Argentina_LawonREincentives.pdf
- [3] Ley Nacional Argentina N° 27191. "Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica. Modificación". (2015). <http://portalweb.cammesa.com/Documentos%20compartidos/Noticias/Ley%20N%C2%B0%2027191-2015.pdf>.
- [4] Kluczek, Aldona. Olszewski, Pawe. (2017). "Energy audits in industrial processes". *Journal of Cleaner Production*, vol 142, pp. 3437-3453.
- [5] Palaniappan, S., Sawhney, A. and Sarjoughian, H. S. (2006). "Application of the DEVS Framework in Construction Simulation". In Proc. of the 2006 Winter Simulation Conference, pp. 2077-2086. IEEE.
- [6] Jarrah , Moath. (2016). "Modeling and Simulation of Renewable Energy Sources in Smart Grid Using DEVS Formalism". *Procedia Computer Science*, vol 83, n° 1, pp. 642-647.
- [7] Zeigler, B.P. and Sarjoughian, H. S. (2003). "Introduction to DEVS Modelling and Simulation with JAVA: Developing Component-Based Simulation Models". University of Arizona.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer al Mg. Ing. Fabio Dri por su invaluable asesoramiento.