

# Análisis económico de consumo eléctrico de un sistema solar fotovoltaico on-grid híbrido.

Economic analysis of electricity consumption of a hybrid on-grid photovoltaic solar system.

Presentación: 26/10/2023

## Agustín Muñoz

Facultad Regional Reconquista – UTN  
agustinmunoz116@gmail.com

### Resumen:

Este proyecto consiste en un estudio de rentabilidad económica, en lo que respecta a la facturación de energía eléctrica de consumo como usuario residencial, entre; disponer de una instalación de generación fotovoltaica híbrida conectada a la red de distribución de la EPE (Empresa Provincial de Energía) con sistema de Backup (banco de baterías) y el costo en la compra de energía eléctrica a la empresa distribuidora en caso de no contar con banco de baterías. La instalación en estudio se encuentra enmarcado en el programa provincial ERA (Energía Renovable para el Ambiente) de la provincia de Santa Fe. De este estudio se concluye que es más rentable acumular la energía sobrante, en un banco de batería, para su posterior uso que inyectar la misma a la red de la EPE debido a la diferencia de costo entre la venta y la compra según el programa ERA.

**Palabras clave:** Energía Solar Fotovoltaica, Generación eléctrica solar Híbrida.

### Abstract:

This project consists in an economic profitability study, regarding the billing of electrical energy consumption as a residential user, between; have a hybrid photovoltaic generation installation connected to the distribution network of the EPE (Provincial Energy Company) with a Backup system (battery bank) and the cost of purchasing electrical energy from the distribution company if it does not have with battery bank. The facility under study is part of the provincial program ERA (Renewable Energy for the Environment) of the province of Santa Fe. From this study it is concluded that it is more profitable to accumulate excess energy in a battery bank for later use, than to inject it into the EPE network (injection) due to the difference in cost between the sale and the purchase according to the ERA program.

**Keywords:** Photovoltaic Solar Energy, Hybrid Solar Power Generation.

## Introducción

El Decreto 1098/2020 implementó el programa Energía Renovable para el Ambiente (ERA) cuyo objetivo es incentivar el uso de energías renovables para generación de energía eléctrica distribuida, impulsar el desarrollo de redes inteligentes, y el uso eficiente de las mismas. A partir de una única instalación de generación eléctrica renovable, se puede abastecer a varios usuarios ampliando el derecho de acceso a las energías renovables.

Los beneficios en que se basa este programa se encuentran enmarcados en los tres pilares fundamentales de la sostenibilidad y son:

1. Ambientales:

- Reducción emisión de GEIs (Gases Efecto Invernadero)
- Bajo impacto ambiental
- Acción climática

2. Sociales:

- Empleos verdes
- Articulación con otros programas, mayor acceso a los renovables
- Fortalecimiento de la infraestructura energética provincial

3. Económicos:

- Ahorro del usuario por autoconsumo
- Bonificación a la inyección de energía
- Programación de consumos
- Menores pérdida de energía eléctrica en la red de distribución de energía eléctrica convencional al disminuir la demanda de los usuarios.
- Mayor autonomía energética

Los objetivos del programa ERA se alinean con 3 de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) fijados para el año 2.030, en la cumbre del milenio realizado por Naciones Unidas en el año 2010, y de los que participan 193 países. Estos son:



Figura 1. Tres de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que abarca el Programa ERA.

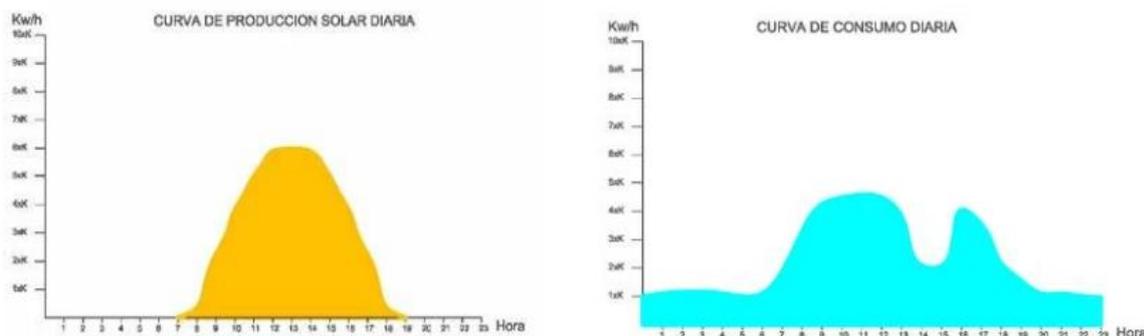
- Objetivo 7: Energía asequible y no contaminante: el mundo está avanzando hacia la consecución de dicho objetivo con indicios alentadores de que la energía se está volviendo más sostenible y ampliamente disponible. El acceso a la electricidad en los países más pobres ha comenzado a acelerarse, la eficiencia energética continúa mejorando y la energía renovable está logrando resultados excelentes en el sector eléctrico.
- Objetivo 12: Producción y Consumo responsables: el consumo y la producción sostenibles consisten en hacer más y mejor con menos. También se trata de desvincular el crecimiento económico de la degradación medioambiental, aumentar la eficiencia de recursos y promover estilos de vida sostenibles.
- Objetivo 13: Acción por el clima: el cambio climático está afectando a todos los países de todos los continentes. Está alterando las economías nacionales y afectando a distintas vidas. Los sistemas

meteorológicos están cambiando, los niveles del mar están subiendo y los fenómenos meteorológicos son cada vez más extremos.

## Desarrollo

### Balance Neto Facturación, sin ahorro por autoconsumo:

- i. Curva de generación de energía solar fotovoltaica, figura 2 siguiente, donde toda la generación se reconoce al precio correspondiente a la inyección a la red, se puede observar que la curva de generación de energía eléctrica por un panel fotovoltaico se corresponde a la curva de captación de Irradiancia solar diaria en un día claro, donde a las 7hs amanece iniciando la curva, llegando a su pico entre las 12 y 14 hs., para finalizar a las 19hs en el oeste.
- ii. Curva de consumo diario (Figura 3), donde el mismo se factura según tarifas de energía eléctrica vigentes. En dicha figura se observa de manera conceptual la curva de consumo diario según hábitos de sus residentes, con picos bajos y altos por actividad en la residencia en función de las horas.



Figuras 2 y 3, curva de producción solar diaria y curva de consumo diaria por hábito respectivamente.

### Esquema de balance neto de facturación + incentivo a la inyección:

**Reconocimiento inyección: 26,24 \$/kWh**  
(Res. NI)

**Ahorro autoconsumo: 53,42 \$/kWh**  
(banda consumo + 300 kWh/mes)

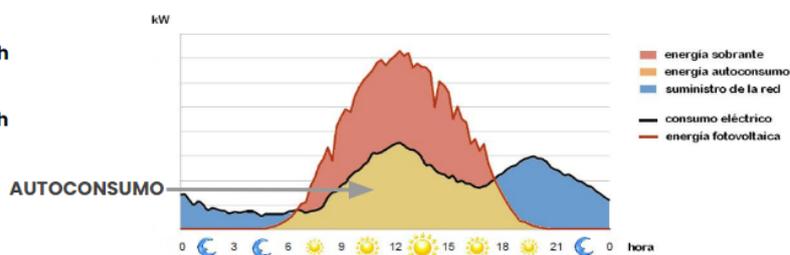


Figura 4. Gráfica de autoconsumo más incentivo a la inyección.

La figura 4 anterior muestra la superposición de las figuras 2 y 3, al realizar esto se puede explicar lo siguiente:

Área de Autoconsumo (color amarillo): la energía asignada a cada Usuario-Generador Colaborativo Asociado destinada a su autoconsumo es un ahorro o costo evitado, ya que es el generado por el grupo de paneles FV deja de tomarse de la red como se aprecia en la figura 4.

Área de energía generada sobrante (color naranja): hace referencia a la energía excedente en la generación por parte de los paneles FV y que se inyecta a la red de la EPE y tiene un reconocimiento de 26,24\$/kW-h.

La suma de estas dos áreas representa la gráfica de la figura 2, es decir, la cantidad de energía generada por el panel FV en función a la Irradiancia captada según la hora solar.

Área de suministro de la Red (color azul): representa la energía comprada a la EPE en horas en que no hay generación por parte de los paneles FV (energía solar).

### Facturación

Inyección: la energía asignada a cada Usuario-Generador Colaborativo Asociado destinada a inyección a la red recibe un reconocimiento monetario por medio de un aporte de la Distribuidora (precio mayorista) + Aporte Gobierno de Santa Fe (durante los primeros 4 años de funcionamiento). Este aporte se obtiene de aplicar la fórmula<sup>2</sup> siguiente:

Aporte GSF =  $1,5 \times$  (Promedio semestral precio monómico generación mensual - Precio mayorista de energía).

Demanda de red: es la energía tomada de la red por cada Usuario-Generador Colaborativo Asociado y que es facturada por la Distribuidora según tarifario vigente. Estos dos conceptos explicados sobre la figura 4 se vuelve a ejemplificar en la figura 5 siguiente:

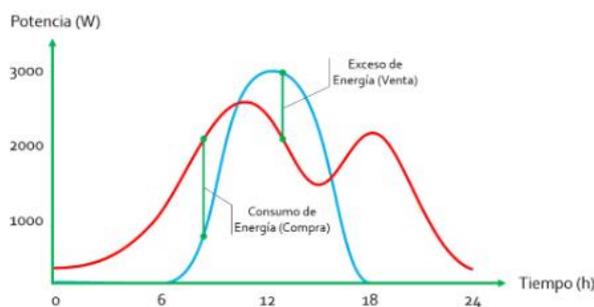


Figura 5. Concepto de inyección y de demanda de la Red.

### Simulación de facturas, ejemplo<sup>2</sup>:

Usuario-Generador cuyas facturas sin programa ERA y con programa ERA se muestran en las figuras 6 y 7 respectivamente:

#### Residencial N1:

- Energía renovable generada (EG) = 176 kWh
- Energía entregada por EPESF(EE) = 590 kWh
- Energía recibida por EPESF(ER) = 45 kWh
- Energía total consumida:  $EG + EE - ER = 721$  kWh

Detalle de Facturación SIN PROGRAMA				Importe
<b>Se facturan 721 kWh de consumo bimestral</b>				
Cuota de servicio:	343.36 \$/Mes	\$	686.72	
Primeros kWh	150	36.61 \$/KWh	\$	5,491.30
Siguientes kWh	150	38.60 \$/KWh	\$	5,790.59
Siguientes kWh	300	46.98 \$/KWh	\$	14,094.81
Exedente	121	53.42 \$/KWh	\$	6,464.31
<b>Importe Básico</b>				<b>\$ 32,527.73</b>
Ley N° 6604-FER:	1.5%	\$	487.92	
Ley N° 7797:	6.0%	\$	1,951.66	
Cuota de Alumbrado Público (C.A.P.):		\$	3,775.66	
<b>CONSUMIDOR FINAL</b>				
IVA (21% de básico + CAP):	21%	\$	7,623.71	
Ley N° 12692 Energías Renovables:	18.75 \$/mes	\$	37.50	
<b>Subtotal General:</b>				<b>\$ 46,404.17</b>
<b>TOTAL:</b>				<b>\$46,404.17</b>

Detalle de Facturación con PROGRAMA ERA				Importe
<b>Se facturan 590 kWh bimestrales, correspondientes a la energía entregada por la Distribuidora al Usuario-Generador. Autoconsumo (o costo evitado porque dejó de ser demandado a la red de EPESF): 131 kWh</b>				
Cuota de servicio:	343.36 \$/Mes	\$	686.72	
Primeros kWh	150	36.61 \$/KWh	\$	5,491.30
Siguientes kWh	150	38.60 \$/KWh	\$	5,790.59
Siguientes kWh	290	46.98 \$/KWh	\$	13,824.98
<b>Subtotal Básico:</b>				<b>\$ 25,993.59</b>
Reconocimiento EPESF aplicado a la energía inyectada a la red:	26.24 \$/KWh	-\$	1,181.00	
<b>Importe Básico:</b>				<b>\$ 24,412.59</b>
Ley N° 6604-FER:	1.5%	\$	366.19	
Ley N° 7797:	6.0%	\$	1,464.78	
Cuota de Alumbrado Público (C.A.P.):		\$	2,788.80	
<b>CONSUMIDOR FINAL</b>				
IVA (21% de básico + CAP):	21%	\$	5,712.25	
Ley N° 12692 Energías Renovables:	18.75 \$/mes	\$	37.50	
<b>Subtotal General:</b>				<b>\$ 34,781.88</b>
Rec. Gob. de Santa Fe (Res. 130/2021), aplicado a la energía inyectada a la red:		\$/KWh	\$	-
Reintegro Monetario (período anterior):		\$	\$	-
<b>TOTAL:</b>				<b>\$ 34,781.88</b>

**Ahorro por contar con Programa ERA: \$ 11,622.29**

Figura 6 y 7. Facturas bimestral sin Programa ERA y con Programa ERA respectivamente.

### Facturación: Sistema Fotovoltaico Híbrido de un usuario de la EPE de la ciudad de Avellaneda – Provincia de Santa Fé, y que consta de;

- 1) Seis paneles FV MONO PERC MEDIA CELDA (72x2) HiKu CS6W-545MS 72/144 de 545Wp.
  - 2) Un banco de baterías INMALCA estacionarias de ciclo profundo en una cantidad de 4 de 12V y 120Ah conectadas en serie para dar un voltaje del banco de 48V. La capacidad del banco especificado resulta de  $E_b = 48V \times 120Ah = 5,760kWh/día$ , resultando en el bimestre (60 días) y con un 70% de profundidad de descarga<sup>1</sup> del banco de baterías en 241,92kWh de energía disponible.
  - 3) Un Inversor 3 en 1 Híbrido con Backup de 3kW - 48V de marca Enertik.
- Las facturas correspondientes al Mes de Junio del año 2023, sin el Programa ERA y con el Programa ERA, se ven en las figuras 8 y 9 siguientes:

Detalle de Facturación SIN PROGRAMA				Importe
<b>Se facturan 503 kWh de consumo mensual</b>				
Cuota de servicio:	319.40 \$/Mes	\$	319.40	
Primeros 75 kWh:	32.2771 \$/KWh	\$	2,420.78	
Siguientes 75 kWh:	34.1331 \$/KWh	\$	2,559.98	
Siguientes 150 kWh:	41.9273 \$/KWh	\$	6,289.10	
Ultimos 203 kWh:	47.9193 \$/KWh	\$	9,727.62	
<b>Importe Básico</b>				<b>\$ 21,316.88</b>
Ley N° 12692 Energía renovable	\$/mes	\$	18.75	
Capitalización	10.0%	\$	2,131.69	
Gravamen municipal	3.0%	\$	639.51	
IVA (21% de básico + CAP):	21.0%	\$	4,476.55	
<b>CONSUMIDOR FINAL</b>				
<b>Subtotal General:</b>				<b>\$ 28,583.37</b>
<b>TOTAL:</b>				<b>\$ 28,583.37</b>

Detalle de Facturación con PROGRAMA ERA				Importe
<b>Se facturan 241 kWh de consumo mensual. Autoconsumo: 262 kWh</b>				
Cuota de servicio:	319.40 \$/Mes	\$	319.40	
Primeros 75 kWh:	32.28 \$/KWh	\$	2,420.78	
Siguientes 75 kWh:	34.13 \$/KWh	\$	2,559.98	
Siguientes 91 kWh:	41.93 \$/KWh	\$	3,815.38	
Ultimos 0 kWh:	47.92 \$/KWh	\$	-	
<b>Subtotal Básico:</b>				<b>\$ 9,115.55</b>
Reconocimiento EPESF (se aplica sobre la energía recibida por EPE):	25.240 \$/KWh	-\$	2,953.08	
<b>Importe Básico:</b>				<b>\$ 6,162.47</b>
Ley N° 12692 Energía renovable	\$/mes	\$	18.75	
Capitalización	10.0%	\$	616.25	
Gravamen municipal	3.0%	\$	184.87	
IVA (21% de básico + CAP):	21.0%	\$	1,294.12	
<b>CONSUMIDOR FINAL</b>				
<b>Subtotal General:</b>				<b>\$ 8,276.46</b>
Res. 130/21, se aplica sobre la energía recibida por EPE):	0.000 \$/KWh	\$	-	
Reintegro Monetario (período anterior):		\$	-	
<b>TOTAL:</b>				<b>\$ 8,276.46</b>

**Ahorro por tener el programa ERA: \$ 20,306.91**

Figuras 8 y 9, Facturas sin Programa ERA y con Programa ERA respectivamente del usuario de Avellaneda.

- Las facturas correspondientes al Mes de Julio del año 2023, sin el Programa ERA y con el Programa ERA, se ven en las figuras 11 y 12 siguientes:

Detalle de Facturación SIN PROGRAMA		Importe
Se facturan 317 kWh de consumo mensual		
Cuota de servicio:	319.40 \$/Mes	\$ 319.40
Primeros 75 kWh:	32.2771 \$/kWh	\$ 2,420.78
Siguientes 75 kWh:	34.1331 \$/kWh	\$ 2,559.98
Siguientes 150 kWh:	41.9273 \$/kWh	\$ 6,289.10
Ultimos 17 kWh:	47.9193 \$/kWh	\$ 814.63
<b>Importe Básico</b>		<b>\$ 12,403.89</b>
Ley N° 12692 Energía renovable	\$/mes	\$ 9.42
Capitalización	10.0%	\$ 1,240.39
Gravamen municipal	3.0%	\$ 372.12
IVA (21% de básico + CAP):	21.0%	\$ 2,604.82
CONSUMIDOR FINAL		
<b>Subtotal General:</b>		<b>\$ 16,630.64</b>
<b>TOTAL:</b>		<b>\$ 16,630.64</b>

Detalle de Facturación con PROGRAMA ERA		Importe
Se facturan 280 kWh de consumo mensual. Autoconsumo: 37 kWh		
Cuota de servicio:	319.40 \$/Mes	\$ 319.40
Primeros 75 kWh:	32.28 \$/kWh	\$ 2,420.78
Siguientes 75 kWh:	34.13 \$/kWh	\$ 2,559.98
Siguientes 130 kWh:	41.93 \$/kWh	\$ 5,450.55
Ultimos 0 kWh:	47.92 \$/kWh	\$ -
<b>Subtotal Básico:</b>		<b>\$ 10,750.72</b>
Ento EPESF (se aplica sobre la energía recibida por EPE):	25.240 \$/kWh	-\$ 8,253.48
<b>Importe Básico:</b>		<b>\$ 2,497.24</b>
Ley N° 12692 Energía renovable	\$/mes	\$ 18.75
Capitalización	10.0%	\$ 249.72
Gravamen municipal	3.0%	\$ 74.92
IVA (21% de básico + CAP):	21.0%	\$ 524.42
CONSUMIDOR FINAL		
<b>Subtotal General:</b>		<b>\$ 3,365.05</b>
Res. 130/21, se aplica sobre la energía recibida por EPE):	0.000 \$/kWh	\$ -
Reintegro Monetario (periodo anterior):		\$ -
<b>TOTAL:</b>		<b>\$ 3,365.05</b>

**Ahorro por tener el programa ERA: \$ 13,265.59**

Figuras 10 y 11, Facturas sin Programa ERA y con Programa ERA respectivamente.

De esta forma y en base a las dos facturas mensuales se tiene los siguientes valores bimestrales:

- Energía renovable generada (EG) = 743,39 kWh
  - Energía entregada por EPESF(EE) = 521 kWh
  - Energía recibida por EPESF(ER) = 444,39 kWh
  - Energía total consumida: EG + EE - ER = 820 kWh
- Residencial N1.

La energía por autoconsumo bimestral resulto de 262kWh+37kWh = 299kWh, dentro de este valor se encuentra incluida la carga del banco de batería para su utilización en horas de nula radiación solar, que se consideró para un 70% de descarga un valor de 241,92kWh. A la vez se debe contemplar que el bimestre de estudio es el de menor radiación solar, con 2,65HSP para junio<sup>3</sup> y 3,04 HSP para Julio<sup>3</sup> y con alto porcentaje de días de baja radiación solar por nubosidad, podemos considerar un 65% de días de excelente radiación solar, para tener así un valor de energía disponible del banco de baterías de 157,248kWh en el bimestre.

## Conclusiones

En caso de no disponer de banco de baterías y se inyecta dicha cantidad de energía, en lugar de almacenarla, a la red de la EPE se tiene:

- Reconocimiento por Inyección a 25,24\$/kWh: 157,248kWh x 25,24\$/kWh = \$3.968,94

De esta manera, si se tuviera que comprar esa cantidad de energía a la EPE, se tiene:

- Energía comprada en los últimos kWh a 47,92\$/kWh: 157,248kWh x 47,92\$/kWh = \$7.535,32

Esto da un ahorro en el bimestre de estudio, en lugar de vender dicha cantidad de energía para luego volverla a comprar, gracias a su acumulación en un banco de baterías de; 7.535,32\$ - 3.968,94\$ = **\$3.566,38**

## Referencias

- [1] Alvarado Vallejo, A., & Rodríguez Bautista, I. I. Ahorro energético mediante un Sistema de Energía Solar Fotovoltaico Interconectado a la Red en una empresa agrícola.
- [2] Ministerio de ambiente y cambio climático. ERA (energía renovable para el ambiente). Provincia de Santa Fe.
- [3] Informe Técnico de Avance. ESTADO DE LA RED SOLARIMÉTRICA DE LA PROVINCIA DE SANTA FE. Grupo de Energías No-Convencionales (GENOC), Facultad de Ingeniería Química (UNL). Instituto de Física del Litoral (CONICET-UNL), año 2015.

## Agradecimientos

A Axel Hurt y Martin Villalba, estudiantes de la carrera de Tecnicatura en Programación de la Facultad Regional Reconquista, por su colaboración en este trabajo.