

Desarrollo de una interfaz gráfica para una calculadora de generación fotovoltaica en la Región Centro de Argentina

Development of a graphical interface for a photovoltaic generation calculator in the Central Region of Argentina

Presentación: 21/08/2024

Santiago V. César

Grupo I+D MulC, Facultad Regional San Francisco, Universidad Tecnológica Nacional, San Francisco (Córdoba), Argentina.
sceszar@facultad.sanfrancisco.utn.edu.ar

Gerardo D. Szwarc

Grupo I+D CIDEME, Facultad Regional San Francisco, Universidad Tecnológica Nacional, San Francisco (Córdoba), Argentina.
gszwarc@facultad.sanfrancisco.utn.edu.ar

Esteban Ceré

Grupo I+D CIDEME, Facultad Regional San Francisco, Universidad Tecnológica Nacional, San Francisco (Córdoba), Argentina.
esteban.cere@gmail.com

Hugo A. Pipino

Grupo I+D MulC, Facultad Regional San Francisco, Universidad Tecnológica Nacional, San Francisco (Córdoba), Argentina.
hpipino@sanfrancisco.utn.edu.ar

Resumen

Actualmente, el uso de las fuentes de energía renovables está en crecimiento en el hogar. Si bien en varias regiones de Argentina su utilización es la mejor o única opción para el consumo eléctrico, la generación distribuida está siendo fomentada en toda la extensión, más allá de terrenos montañosos, campos o zonas áridas. Sin embargo, la falta de información sobre estas alternativas dificulta el progreso. Sobre la base de esto, se considera necesaria una herramienta que asista a los usuarios en la elección de estos sistemas. Aprovechando las tecnologías web para facilitar la difusión por distintos medios, se desarrolla una calculadora técnica que permite predecir valores de generación de energía eléctrica de un sistema fotovoltaico. Los parámetros empleados son representativos de la Región Centro de Argentina, ya que para el desarrollo del modelo matemático los resultados fueron validados usando datos medidos en San Francisco y zona.

Palabras clave: Desarrollo web, Calculadora solar, Sustentabilidad, Energías renovables

Abstract

Currently, the use of renewable energy sources is growing in households. Although in several regions of Argentina its use is the best or only option for electricity consumption, distributed generation is being promoted throughout the whole country, beyond mountainous terrains, rural areas or arid zones. However, the lack of information about these alternatives hinders progress. Based on this, a tool is considered necessary to assist users in choosing these systems. By leveraging web technologies to facilitate dissemination through various channels, a technical calculator has been developed to predict electrical energy generation values from a photovoltaic system. The parameters used are representative of the Central Region of Argentina, as the results for the mathematical model were validated using data measured in San Francisco and the surrounding area.

Keywords: Web development, Solar calculator, Sustainability, Renewable energies

Introducción

Argentina está pujando por expandir la inserción de energías renovables en su matriz energética (Ministerio de Economía Argentina, 2022). Sin embargo, su penetración es aún incipiente en la modalidad de generación distribuida, la cual implica instalar unidades de generación relativamente pequeñas cerca de los puntos de consumo (Lagarrigue, 2018) (Kazimierski, 2020). Córdoba es una de las provincias mejor posicionadas en cuanto a potencia y cantidad de usuarios en esta modalidad (Comercio y Justicia, 2022), pero aún tiene potencial no explotado y el desarrollo no es homogéneo en la provincia. En particular, en el departamento San Justo hay localidades que no experimentaron un gran avance en la cantidad de implementaciones.

En este escenario, es cada vez más necesario disponer de herramientas de cálculo que permitan a los usuarios cuantificar los beneficios de las energías renovables en generación distribuida. Para ello, se pretende emular consumos domésticos según referencias regionales y cotejarlos con el potencial regional de generación mediante paneles fotovoltaicos (FV). Este trabajo se enmarca en un proyecto destinado a la confección de herramientas de cálculo y simulación, en adelante "calculadoras solares", que permita a los usuarios técnicos y al público en general, tener acceso a la información necesaria para proyectar una instalación fotovoltaica.

Estas herramientas deben proporcionar información que responda a las necesidades específicas de la región, implicando que tanto el modelo de irradiación solar como el de generación eléctrica deben predecir adecuadamente la energía generada para la zona objetivo (César et al., 2024), para este caso, el departamento San Justo, provincia de Córdoba.

En tal sentido, el presente trabajo introduce la interfaz gráfica de una calculadora solar destinada a personal que al menos tenga conocimientos básicos en conceptos de generación FV. Tal como se especifica en el Desarrollo, dicha interfaz integra tanto los modelos solares como eléctricos que el usuario puede ajustar, permitiendo así la obtención de datos sobre la energía generada en términos diarios y anuales. Finalmente, en la Conclusión, se resumen los principales aportes del trabajo.

Desarrollo

Inicialmente, el lenguaje de programación elegido para el desarrollo de la interfaz fue *JavaScript* (JS), debido a su compatibilidad nativa con los navegadores de internet. JS permite agregar elementos interactivos a las páginas web, efectuar cálculos directamente en el dispositivo del usuario y mostrar gráficos complejos. Al realizar los cálculos localmente, se evitan los costos asociados a la utilización de servidores externos y se elimina la latencia introducida por la distancia con el dispositivo del usuario. Esto garantiza una visualización de los resultados en tiempo real a medida que el usuario modifica los parámetros.

Sobre la base de (César et al., 2024), se comienza por convertir las ecuaciones en código utilizando el lenguaje de programación indicado. En paralelo, se desarrolla una implementación equivalente en *GNU Octave* a fin de generar gráficos y tablas de los resultados pronosticados por el código para su posterior análisis. Como se demuestra en dicho trabajo, la estimación del recurso solar ha sido validado a través de las mediciones del radiómetro instalado en la UTN Facultad Regional San Francisco (Cignetti et al., 2023). El proceso de comprobación de los resultados se realiza de acuerdo con (Szwarc, et al., 2021).

Durante el desarrollo de la implementación en JS, se advierten dificultades. Previo a la ejecución del código, un navegador de internet solo verifica que su sintaxis sea correcta. Ciertos casos que se consideran errores semánticos en otros lenguajes son válidos en JS, como llamar a una función con el número incorrecto de parámetros, realizar operaciones matemáticas sobre valores no numéricos o llamar a funciones con parámetros fuera de su dominio. Este comportamiento resulta inconveniente a la hora de corregir el programa, ya que falla silenciosamente en lugar de detener la ejecución. Esto se evidencia en los siguientes ejemplos:

```
const mes = 12;
const H = Hs[mes];
// ... Se calcula rt ...
const II = H * rt;
console.log(II) // Muestra "NaN"
```

En este caso, Hs es una lista con los 12 valores de irradiación mensual promedio. En JS cada valor se enumera a partir de 0, por lo que el último valor en este caso es el número 11. Al intentar obtener el valor número 12 de la lista, H toma un valor nulo denominado *undefined*. Cuando se opera sobre este valor para obtener la irradiación total en superficie horizontal (II), el resultado es “No es un número” (NaN, por sus siglas en inglés).

Otro caso similar ocurre por la falta de precisión al trabajar con números de coma flotante. El ángulo acimutal del sol γ_s se obtiene calculando primero su coseno para luego aplicar la función inversa. En ciertos casos, para un ángulo horario $\omega = 0$, el valor resultante del coseno se encuentra fuera del dominio $[-1; 1]$ por un error en el quinceavo decimal (Fig. 1). Al aplicar el arcocoseno, el resultado es NaN.

```

⚠ Problema de precisión, para  $\omega = 0 \Rightarrow \cos(\gamma_s) = -1.0000000000000002$ .
Ajustando valor a -1
⚠ Problema de precisión, para  $\omega = 0 \Rightarrow \cos(\gamma_s) = -1.0000000000000004$ .
Ajustando valor a -1
⚠ Problema de precisión, para  $\omega = 0 \Rightarrow \cos(\gamma_s) = -1.0000000000000001$ .
Ajustando valor a -1
⚠ Problema de precisión, para  $\omega = 0 \Rightarrow \cos(\gamma_s) = -1.0000000000000038$ .
Ajustando valor a -1
  
```

Figura 1. Error numérico para el coseno del acimut solar.

Por lo tanto, se decide entonces migrar el código al lenguaje de programación *TypeScript* (TS), una extensión de JS que agrega un sistema de tipado. Permite mitigar varios de estos problemas realizando una validación estricta del código durante su traducción a JS. Al ser una extensión del lenguaje, la mayor parte del código en JS es válido en TS, lo cual simplifica su migración.

Adicionalmente, se utiliza un *application framework*, es decir, un conjunto de librerías y herramientas para el desarrollo de aplicaciones, llamado *SvelteKit*. Este incluye la librería *Svelte* que provee mecanismos de encapsulamiento y reutilización de elementos interactivos, facilita la sincronización de los valores mostrados en la interfaz con las variables utilizadas en el programa y permite definir efectos que reaccionan a los cambios producidos en estos datos.

El uso de este *framework* reduce considerablemente la complejidad del código y se aprovecha mayormente en la actualización en tiempo real de los gráficos resultantes. Para ellos, desde las primeras etapas del desarrollo se utiliza la librería *chart.js* ya que resulta fácil de integrar al ser independiente de *frameworks*.

La interfaz consiste en dos funciones básicas, una de selección y ajuste de los parámetros de la instalación FV y una de visualización de la energía generada a lo largo de un día promedio del mes seleccionado y de la energía obtenida a lo largo del año (Fig. 2).

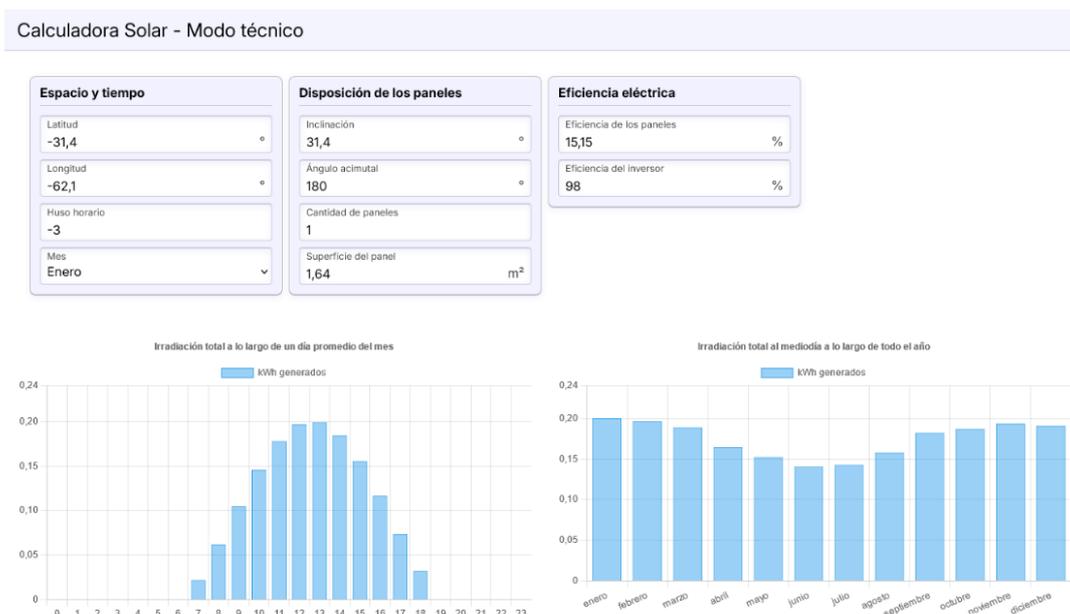


Figura 2. Interfaz Calculadora Solar – Modo técnico.

La función de entrada consta de una serie de parámetros agrupados en tres apartados. En el apartado “Espacio y tiempo” se cuenta con campos de entrada que permiten al usuario ingresar parámetros específicos sobre su ubicación geográfica y temporal. Estos campos incluyen opciones para establecer la latitud, longitud, el huso horario del hogar y el mes, lo que permite ajustar los cálculos de predicción de acuerdo con la posición del usuario en el espacio y el tiempo (Fig. 3a). Se destaca que la zona objetivo corresponde al departamento San Justo, de manera que los valores por defecto coinciden con los de la ciudad cabecera, San Francisco (Fig. 3b).

Espacio y tiempo

Latitud

-31,4

Longitud

-62,1

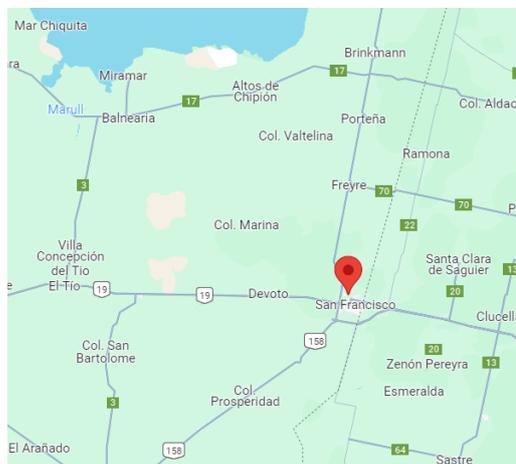
Huso horario

-3

Mes

Enero

a. Campos de entrada.



b. Ubicación por defecto. (Fuente: Google Maps)

Figura 3. Apartado “Espacio y tiempo”.

Por otro lado, en el apartado “Disposición de los paneles” (Fig. 4a), se permite al usuario especificar el valor de inclinación, es decir, el ángulo que forma el panel con el suelo, el cual por defecto toma el valor absoluto de latitud. Además, se pueden definir el ángulo acimutal, la cantidad de paneles y la superficie de cada uno. De esta manera, se permite dimensionar la instalación FV proyectada y definir las principales características.

En tanto que el tercer apartado corresponde a “Eficiencia eléctrica” (Fig. 4b), en el mismo se pueden definir tanto la eficiencia de los paneles como la del inversor propuestos para la instalación FV. Con ello, se definen los perfiles eléctricos fundamentales. Además, se fija un valor del 90% para la eficiencia de la instalación eléctrica necesaria, el cual incluye por ejemplo, las pérdidas por conducción en el cableado.

Disposición de los paneles

Inclinación

31,4

Ángulo acimutal

180

Cantidad de paneles

1

Superficie del panel

1,64 m²

a. Apartado “Disposición de los paneles”.

Eficiencia eléctrica

Eficiencia de los paneles

15,15 %

Eficiencia del inversor

98 %

b. Apartado “Eficiencia eléctrica”.

Figura 4. Parámetros de la instalación.

En cuanto a la funcionalidad de visualización, se pueden apreciar dos elementos fundamentales: una gráfica que presenta la energía generada a lo largo del día representativo del promedio correspondiente al mes seleccionado (Fig. 5) y otra gráfica que ilustra el valor máximo diario obtenido para cada mes del año (Fig. 6).

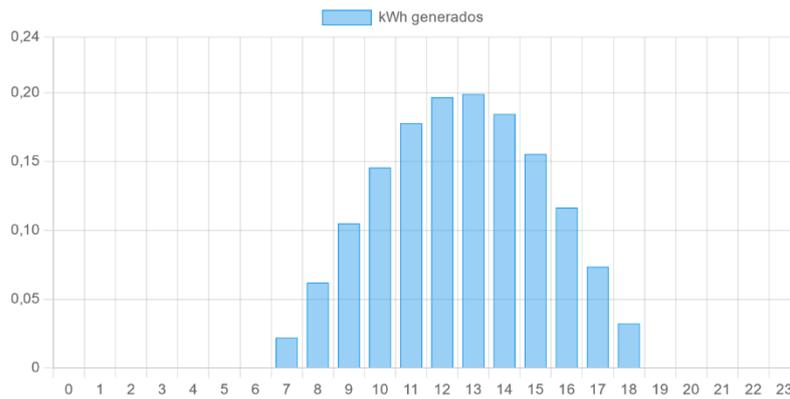


Figura 5. Energía generada en función de la hora de un día promedio.

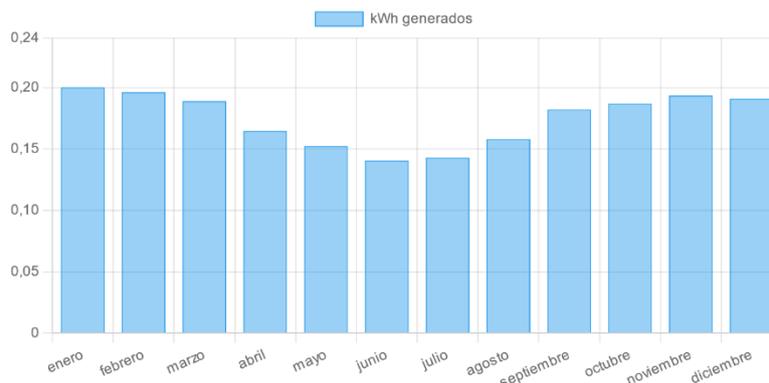


Figura 6. Energía generada en la hora pico del día promedio de cada mes.

Así, la primera gráfica permite observar la variación diaria de la generación de energía solar, desde el amanecer hasta el ocaso. Es importante destacar que los índices de claridad empleados en el modelo solar corresponden al promedio establecido para la zona objetivo, por lo tanto, las predicciones subestiman lo generado en un día soleado y exceden los de un día nublado.

Por otro lado, la segunda gráfica facilita el análisis de generación de energía a lo largo del año, mostrando los efectos estacionales. Esta información colabora en la toma de decisiones acerca del dimensionamiento y disposición de la instalación FV.

Finalmente, es importante destacar que la calculadora solar aún se encuentra en fase de pruebas y no ha sido lanzada al público. Antes de su publicación, se está trabajando en la incorporación de modelos de predicción de demanda para establecer los perfiles de consumo específicos de los usuarios en la Región Centro de Argentina.

Conclusiones

En este trabajo, se desarrolló una calculadora solar diseñada para facilitar la estimación de la energía generada mediante sistemas fotovoltaicos, considerando las características específicas del departamento San Justo, provincia de Córdoba. La elección de *TypeScript* como lenguaje de programación y la implementación paralela en *Octave* fueron clave para la corrección de errores en el proceso de cálculo. La interfaz gráfica implementada ofrece a los usuarios técnicos una herramienta intuitiva y eficiente para proyectar instalaciones solares, adaptando los resultados a las condiciones particulares de ubicación y tiempo. Si bien aún la calculadora se encuentra en etapa de pruebas y no ha sido lanzada al público, se prevé que esta iniciativa puede contribuir significativamente a la promoción y adopción de la generación distribuida en la región, fomentando un desarrollo energético más sustentable.

En trabajos futuros se espera extender los resultados obtenidos a una calculadora solar didáctica destinada al público en general, que permita visualizar de manera sencilla el potencial de la generación de energía solar y su aprovechamiento en el hogar, así como contemplar el efecto de la temperatura del sistema de recolección sobre la generación fotovoltaica. Asimismo, se proyecta replicar estos resultados para abarcar otras fuentes de energía renovable, como la biomasa.

Agradecimientos

Al Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Provincia de Córdoba (Argentina) y a la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) por financiar el proyecto “Divulgación y promoción de la generación distribuida con energías renovables entre estudiantes, usuarios y referentes de San Francisco y la región”, presentado en la convocatoria 2022/2023 del Programa Jóvenes en Ciencia del mencionado Ministerio, en cuyo contexto se enmarca el presente trabajo.

Referencias

Cézar, S., Szwarc, G., Ceré, E., y Pipino, H. (2024). “Modelo matemático para una calculadora solar regionalizada para la Región Centro de Argentina”, Actas del XXIV Encuentro Nacional y XVI Encuentro Internacional de Educación Matemática en Carreras de Ingeniería, EMCI 2024, San Francisco, Argentina, 15 al 17 de mayo (en prensa).

Cignetti, M.A., Ceré, E., Lazo, M., Szwarc, G.D., y Ferreyra, D.M. (2023). “Experiencia en instalación y adaptación de sistema de monitoreo para instalaciones fotovoltaicas”, Jornadas de Ciencia y Tecnología 2023 de la UTN San Francisco, San Francisco, Argentina, 13 al 14 de septiembre, 334-339.

Szwarc, G., Rocchia, N., Lardone, M., Ferreyra, D. (2021). “Autoconsumo de un usuario residencial de la Región Centro de Argentina según la potencia solar fotovoltaica instalada”. Congreso de Investigaciones y Desarrollos en Tecnología y Ciencia, IDETEC 2020, Villa María, Argentina, 21 al 25 de junio, 347-354.

Comercio y Justicia (31 de enero de 2022). “Córdoba encabeza el negocio de la generación distribuida de energía”. <https://comercioyjusticia.info/economia/cordoba-encabeza-el-negocio-de-la-generacion-distribuida-de-energia/>

Kazimierski, M. (2020). “La energía distribuida como modelo post-fósil en Argentina”. *Economía, Sociedad y Territorio*, vol. 20, no. 63, pp. 397-428.

Lagarrigue, E. (2018). “Descentralización y lo que esto significa”. Schneider Electric, pp. 12-14. https://www.editores-srl.com.ar/sites/default/files/ie335_schneider_descentralizacion.pdf

Ministerio de Economía Argentina (2022). Reporte Anual: Generación distribuida en Argentina. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/reporte_anual_202226012023.pdf