

**Norberto Coppari**  
**Santiago Jensen**  
**Mariela Iglesias**  
**Valeria Cañadas**  
(editores)

# ENERGÍA

**SERIE**



**FUTUROS**



HERNANDEZ ROS

## **SERIE FUTUROS**

**Alberto Pochettino**

Director

**Miguel Blesa**

Responsable científico

**Sebastián Savino**

Coordinador

## **ENERGÍA**

### **COMITÉ EDITOR**

**Norberto Coppari**

**Santiago Jensen**

**Mariela Iglesia**

**Valeria Cañadas**

### **COMITÉ REVISOR CIENTÍFICO**

**Fabián Gaioli**

**Valeria Cañadas**

**Pablo Rlmancus**

**Humbero Baroni**

**Leonidas Girardin**

**Estela Santalla**

**Victoria Matarazzo**

**María Fernanda Monserrat**

**Santiago Jensen**

Energía / Ismael Concha Perdomo... [et al.]; prólogo de Valeria Cañadas; Norberto Ruben Coppari.  
- 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires:  
Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias;  
Fundación UNSAM Innovación y Tecnología, 2022.  
Libro digital, PDF - (Futuros)  
Archivo Digital: descarga y online  
ISBN 978-987-48617-1-9  
1. Energía. 2. Recursos Energéticos. 3. Política Energética.  
I. Perdomo, Ismael Concha. II. Coppari, Norberto Ruben,  
prolog. III. Cañadas, Valeria, prolog.  
CDD 333.001

1ª edición digital julio 2022

© 2022 de la edición Norberto Coppari

© 2022 de la edición Santiago Jensen

© 2022 de la edición Mariela Iglesia

© 2022 de la edición Valeria Cañadas

© 2022 ASOCIACIÓN ARGENTINA PARA EL PROGRESO DE LA CIENCIAS Y FUNDACIÓN UNSAM

INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

<http://www.aargentinapciencias.org/>

<https://www.funintec.org.ar>

Corrección: María Laura Petz

Diseño de interior y tapa: Ángel Vega

Maquetado: FUNDACIÓN UNSAM INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA y Gabriel Gil

Los lectores de este libro tienen, en forma gratuita, la libertad de utilizar, estudiar, aplicar y compartir su información, siempre que se mencione la obra y el autor original. El material de este libro puede ser utilizado citando la procedencia de esta manera: Coppari, Norberto; Jensen, Santiago; Iglesia, Mariela y Cañadas, Valeria (eds.), *Energía*. Buenos Aires: ASOCIACIÓN ARGENTINA PARA EL PROGRESO DE LA CIENCIAS Y FUNDACIÓN UNSAM INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA.

El contenido y la originalidad de los artículos de esta publicación son responsabilidad exclusiva de sus autores. Las opiniones y puntos de vista expresados en este libro no necesariamente reflejan los de los editores.

Editado en la Argentina

## **PRÓLOGO**

Matriz energética  
global y regional

7

**Norberto Ruben Coppari y  
Valeria Cañadas**

11

**Ismael Concha Perdomo**

Evolución de la matriz  
energética argentina

41

**Norberto Ruben Coppari**

Vision y principios  
fundamentales de la actividad  
de planificación energética

72

**Francisco Carlos Rey**

Energía y cambio climático

92

**Gabriel Blanco y Daniela  
Keesler**

Energy and Climate Change -  
Pathway for the global Energy  
Transformation and related  
Innovation needs

120

**International Renewable  
Energy Agency (IRENA)**

Anatomía del consumo  
residencial argentino.  
Uso racional y eficiente del  
acondicionamiento térmico de  
viviendas

144

**Raúl Zavalía Lagos, Leila  
Mora Iannelli y Salvador Gil**

Hidroelectricidad: energía  
renovable a gran escala y  
complemento ideal para el  
desarrollo de otras fuentes  
renovables

173

**Daniel Perczyk, Alfredo  
Mascimo, Fabiana Caroff y  
Sergio Mogliati.**

Energía nuclear, desafíos globales  
y regionales

205

**Ismael Concha Perdomo**

Energía solar fotovoltaica. Generación distribuida en áreas urbanas	228	<b>Juan Plá, Claudio Bolzi, Mónica Martínez Bogado y Julio C. Durán</b>
En la tierra y en el cielo. Energía solar fotovoltaica	261	<b>Mónica Martínez Bogado</b>
Bioenergía y biorefinerías. Una visión sistémica	276	<b>Jorge Antonio Hilbert</b>
La biomasa y la bioenergía distribuida para el agregado de valor en origen	312	<b>Diego Mathier, José María Méndez, Marcos Bragachini, Nicolás Sosa</b>
La transformación de la matriz energética en Uruguay	335	<b>Eliana Melogno</b>
<b>ENTREVISTA</b> Evolución reciente y perspecti- vas futuras del Sector Eléctrico	355	<b>Sabino Mastrangelo</b>
<b>SOBRE LOS EDITORES</b>	363	

**Martínez Bogado, M.G.** (2021). En la tierra y en el cielo. Energía solar fotovoltaica. En N. Coppari, S. Jensen, M. Iglesia y V. Cañadas (eds.), *Energía*, (pp.271-284). Buenos Aires: Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias y Fundación UNSAM Innovación y Tecnología.

## **RESUMEN**

En los últimos años, se registró en el país un renovado interés en el desarrollo de las denominadas fuentes renovables de energía, como consecuencia de una creciente conciencia de la necesidad del cuidado del medio ambiente y de la diversificación en la generación de electricidad.

En el presente artículo se introducen los conceptos básicos de energía solar, de la disponibilidad del recurso y las aplicaciones de este tipo de energía. Por otra parte, se presentan las actividades de investigación y desarrollo que lleva adelante el Departamento Energía Solar de la Comisión Nacional de Energía Atómica en lo referente a las aplicaciones terrestres y espaciales de la energía solar fotovoltaica.

**Palabras clave:** *Energía Solar Fotovoltaica, Radiación solar, Proyectos espaciales, Proyectos terrestres.*

## **ABSTRACT**

In recent years, there has been a renewed interest in the development of so-called renewable energy sources in the country, as a result of an increasing awareness of the need for environmental care and diversification in electricity generation. This article introduces the basic concepts of solar energy, resource availability and applications of this type of energy. On the other hand, the research and development activities carried out by the Solar Energy Department of the National Atomic Energy Commission are presented, both in terms of terrestrial and space applications of photovoltaic solar energy.

**Keywords:** *Photovoltaic Solar Energy, Solar radiation, Space projects, Terrestrial projects*

# En la tierra y en el cielo. Energía solar fotovoltaica

Mónica Martínez Bogado<sup>1,2</sup>

## Introducción

La energía solar es la energía que llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética procedente del Sol, donde ha sido generada por un proceso de fusión nuclear. Es una fuente de energía abundante, esencialmente no contaminante, disponible en todo el territorio, inagotable, pero intermitente y de relativa baja intensidad.

El aprovechamiento de la energía solar se puede realizar principalmente de dos maneras: por conversión térmica (también denominada fototérmica), o conversión eléctrica fotovoltaica. En el presente artículo se tratará la conversión directa de energía solar en electricidad.

## El recurso solar

Teniendo en cuenta que en los últimos años ha habido un fuerte incremento en los proyectos de aprovechamiento de la energía solar tanto para la obtención de agua caliente sanitaria como para la generación fotovoltaica, es necesario conocer el recurso solar disponible y su variabilidad temporal y espacial, que permita realizar un diseño óptimo de los sistemas (Grossi Gallegos H. et al 2018).

En Argentina, las primeras cartas con la distribución de

---

1 Departamento Energía Solar, Gerencia Investigación y Aplicaciones, CAC-CNEA

1 CONICET.

2 Escuela de Ciencia y Tecnología - UNSAM



radiación solar global fueron elaboradas en el año 1972 (Crivelli E. et al 1972), y a partir de la instalación de la Red Solarimétrica en el año 1978 se logró obtener cartas más precisas.

En la figura 1 se observa una carta con la distribución anual del promedio de la irradiación solar global acumulada, sobre

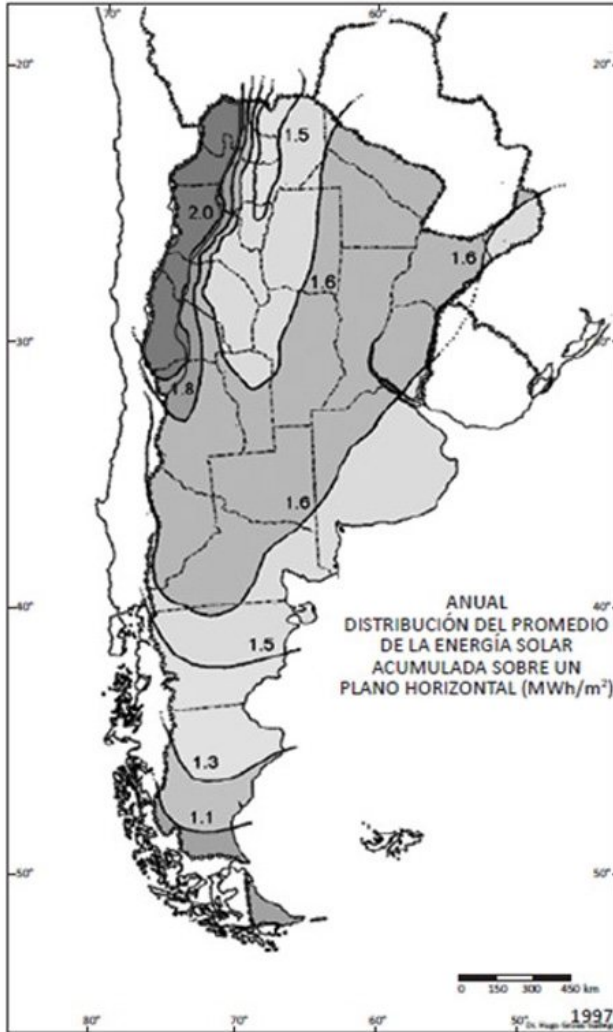


Figura 1. Distribución del promedio de energía solar acumulada anualmente sobre un plano horizontal en MWh/m<sup>2</sup>. Fuente: Grossi Gallegos H. 1998.

una superficie horizontal para la Argentina (Grossi Gallegos H. et al 2018).

Se puede calcular que la radiación promedio al norte del río Colorado es de 4,5 kWh/(m<sup>2</sup>día) y que de esa energía, un 15% es convertida en energía eléctrica.

### Conversión fotovoltaica de la energía solar

Desde finales de los años 50' y hasta mediados de los años 70', el aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica se enfocó en las aplicaciones espaciales y militares. Luego, las sucesivas crisis del petróleo impulsaron el crecimiento de la tecnología fotovoltaica para aplicaciones terrestres.

La conversión fotovoltaica consiste en la transformación de la energía del Sol en electricidad mediante dispositivos denominados celdas solares fotovoltaicas. Estas celdas están fabricadas a partir de un material semiconductor, que se conectan eléctricamente entre sí para formar un módulo o panel fotovoltaico.

La generación eléctrica mediante sistemas fotovoltaicos se clasifica en dos grandes grupos: (a) instalaciones fotovoltaicas aisladas, ubicadas en zonas rurales (Figura 2), y (b) instalaciones conectadas a la red (Figura 3a y 3b). Las primeras pueden ser sistemas instalados en zonas rurales de comunidades pequeñas, pero también se incluyen a zonas remotas sin acceso a la red de energía convencional. Entre las segundas, se pueden



Figura 2. Escuela albergue. Tolar Grande, Salta, Argentina. Fuente: Departamento Energía Solar, Gerencia Investigación y Aplicaciones, CAC-CNEA.



Figura 3a. Planta fotovoltaica de 200 kW. Armstrong, Santa Fe, Argentina. Fuente: Departamento Energía Solar, Gerencia Investigación y Aplicaciones, CAC-CNEA.



Figura 3b. Instalación domiciliar de 2,8 kW. El Chañar, Neuquén. Fuente: Departamento Energía Solar, Gerencia Investigación y Aplicaciones, CAC-CNEA.

diferenciar las instalaciones domiciliarias, comerciales y las centrales de potencia.

Los componentes de los sistemas fotovoltaicos (FV) aislados son: estructuras de montaje, módulos fotovoltaicos (también llamados paneles solares), banco de baterías, regulador de carga, cargador de batería e inversor de corriente continua (CC) a corriente alterna (CA).

Las aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos aislados son muy variadas, entre las que se encuentran: espaciales, en electrificación rural, bombeo de agua, estaciones repetidoras de comunicaciones, monitoreo remoto del clima y de sismos, boyas para navegación, protección catódica para oleoductos y

gasoductos, productos de consumo como relojes, calculadoras y juguetes, y autos y aviones solares prototipos, entre otros.

Los componentes de los sistemas FV conectados a la red urbana son: estructuras de montaje, módulos fotovoltaicos, caja de conexión de los módulos, inversor, contador bidireccional de consumo e inyección, conexión a la red y punto de consumo.

Por otra parte, los componentes de una planta fotovoltaica son: módulos FV, inversores, interruptores automáticos, seguidores solares, transformadores, celdas de protección de media tensión, tablero eléctrico principal y estación meteorológica.

### **Actividades del Departamento Energía Solar**

Las actividades del actual Departamento Energía Solar (DES) en el área de la conversión fotovoltaica comenzaron a mediados de la década del 80. En 1986, asociado con la empresa INVAP S.E., inició el montaje de un laboratorio para la producción de obleas de silicio para uso fotovoltaico y electrónico y se instaló un horno Czochralski, alcanzándose un buen control del proceso de crecimiento de lingotes de silicio monocristalino.

En 1992 se adquirió e instaló un horno de difusión/oxidación, y se elaboraron celdas solares sobre obleas provenientes de lingotes crecidos en la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y comerciales de la industria electrónica. Los desarrollos realizados permitieron diseñar, elaborar y caracterizar, por primera vez en el país, celdas fotovoltaicas de silicio cristalino, alcanzándose durante 1997 eficiencias de alrededor del 17% con radiación AM1.5. Esta eficiencia corresponde a aproximadamente un 15% para iluminación AM0.

A mediados de la década del 90', las actividades del DES se diversificaron en investigación y desarrollo de la energía solar para aplicaciones terrestres y espaciales.

### **Aplicaciones terrestres de la energía solar**

En el año 1998 se inició en la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) el desarrollo de radiómetros fotovoltaicos de bajo costo, utilizando como elemento sensor celdas fotovoltaicas de silicio cristalino fabricadas en el Laboratorio Fotovoltaico del DES. Se diseñaron, fabricaron y fueron calibrados por

personal de la Red Solarimétrica del Servicio Meteorológico Nacional, distintos prototipos para analizar el comportamiento de estos sensores de radiación global y evaluar sus limitaciones.

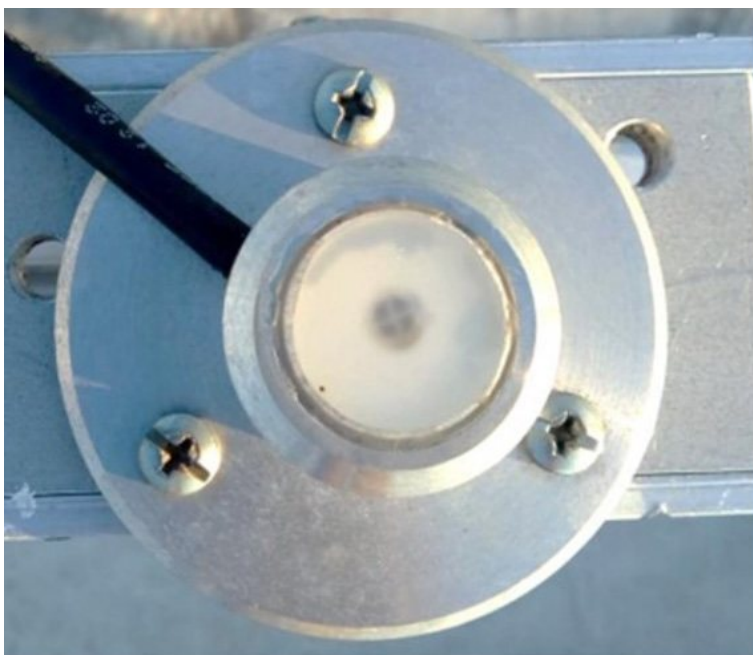


Figura 4. Radiómetro fotovoltaico. Fuente: Departamento Energía Solar, Gerencia Investigación y Aplicaciones, CAC-CNEA.

En años posteriores, se desarrollaron instrumentos para medir la radiación fotosintéticamente activa (PAR) y se completó el desarrollo de los instrumentos de radiación global (Figura 4).

Actualmente, cientos de los radiómetros de radiación global y radiación PAR desarrollados se encuentran distribuidos en distintos laboratorios del país, instalaciones fotovoltaicas, entidades educativas y empresas privadas.

En el año 2010, el DES obtiene un subsidio del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (MINCyT) a través del Fondo Argentino Sectorial (FONARSEC) de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT). El proyecto “Interconexión de sistemas fotovoltaicos a la red eléctrica en ambientes urbanos”, en adelante Proyecto IRESUD, tuvo

por objeto introducir en el país tecnologías asociadas con la interconexión a la red eléctrica, en áreas urbanas, de sistemas fotovoltaicos distribuidos, contemplando para ello cuestiones técnicas, económicas, legales y regulatorias. La repercusión del proyecto IRESUD ha sido tal que hoy en día es conocido en ámbitos vinculados al sector eléctrico en numerosas partes del país. Como consecuencia de ello, aún después de finalizado formalmente el proyecto, se siguen recibiendo propuestas de colaboración de universidades y organismos interesados en instalar sistemas piloto, formar recursos humanos y promover la generación fotovoltaica distribuida en sus regiones de incumbencia ([iresud.com.ar](http://iresud.com.ar)).

A fines del 2015 se obtiene un nuevo financiamiento de FONARSEC del MINCyT. El proyecto “Generación fotovoltaica distribuida y redes inteligentes en la localidad de Centenario, Provincia del Neuquén.”, establece un nuevo convenio asociativo público-privado (CAPP) IRESUD-RI conformado por algunos miembros del Departamento Energía Solar de la CNEA, la Universidad Nacional de San Martín (UNSAM), el Ente Provincial de Energía del Neuquén (EPEN) y la empresa Aldar S.A. Su objetivo principal es contribuir al desarrollo en el país de una nueva arquitectura y tecnología de redes de energía modernas y flexibles, que contemplen el uso de generación eléctrica distribuida a partir de energías renovables, en especial energía solar fotovoltaica, incorporando la infraestructura de comunicación, gestión de datos y elementos de control y seguridad a las redes de distribución existentes (Durán J.C. et al, 2017).

Por otra parte, el DES cuenta con una división de investigación y desarrollo (I+D) donde se llevan adelante las siguientes líneas de trabajo:

- ▶ Celdas solares basadas en perovskitas. Se estudian celdas solares que utilizan semiconductores tipo perovskitas en una estructura del tipo n-i-p, combinando una capa de un  $\text{TiO}_2$  nanoporosa y una capa del semiconductor inorgánico/orgánico perovskita.

- ▶ Celdas solares y sensores basados en semiconductores III-V. Se estudian dispositivos basados en semiconductores III-V, monolíticos y estructurados. Estos presentan la ventaja de aprovechar una fracción importante del espectro solar espacial y presentan una resistencia superior al daño por radiación respecto de otras tecnologías, y por lo tanto son ideales para aplicaciones espaciales. Este tipo de sensores tiene una interesante

aplicación en el área de la bio y agro industria, procesos de validación industrial o medicina.

► Sensores de silicio. Se están desarrollando sensores de Si para medir en la región ultravioleta (UV), sumergibles y agronómicos.

### Aplicaciones espaciales de la energía solar

A fines de 1995, la CNEA y la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), suscribieron un acuerdo para la realización del primer “Experimento de celdas solares argentinas en el espacio”. En 1998, a bordo del satélite SAC-A se incluyó un conjunto de dispositivos solares fabricados íntegramente por el DES (Figura 5).



Figura 5. Satélite SAC-A. Fuente: Departamento Energía Solar, Gerencia Investigación y Aplicaciones, CAC-CNEA.

La experiencia adquirida permitió que desde el año 2001, la CNEA haya firmado sucesivos convenios de cooperación con la CONAE en el marco de Ley N° 23.877 de Innovación Tecnológica. El objetivo principal de estos acuerdos es proveer los paneles y sensores solares para uso satelital y satisfacer los requerimientos de las misiones satelitales previstas en el Plan Espacial

Nacional, que incluye el diseño, fabricación, caracterización y ensayo de los mismos. El DES ha participado intensamente en desarrollos tecnológicos, en particular en el desarrollo, fabricación y ensayos eléctricos de los sensores solares gruesos (CSS) y los paneles de ingeniería y de vuelo de las misiones Aquarius/SAC-D, VS-30, Amazonia-1, SAOCOM 1A y SAOCOM 1B y en misiones de nanosatélites de la empresa de base tecnológica Satellogic.



Figura 6. Aquarius/SAC-D Fuente: Departamento Energía Solar, Gerencia Investigación y Aplicaciones, CAC-CNEA.

La división (I+D) del DES también realiza tareas en el área espacial:

- ▶ Desarrollo de sensores solares finos. FSS (de las siglas en inglés de *Fine Sun Sensor*). Éstos últimos se diferencian de los CSS en la resolución con la que determinan la posición del satélite con respecto al Sol.
- ▶ Ensayos de ambiente espacial. El DES cuenta con una línea externa del acelerador Tandem denominada línea EDRA para realizar ensayos de daño por radiación de protones para emular el ambiente espacial sobre los dispositivos de vuelo. Además, se cuenta con la posibilidad de realizar mediciones eléctricas in-situ y cuantificar los efectos de la radiación sobre los mismos.





Figura 7. Cofia del cohete VS-30. Arriba de la faja amarilla se observan dos de los cinco soportes de sensores apareados. Fuente: Departamento Energía Solar, Gerencia Investigación y Aplicaciones, CAC-CNEA.

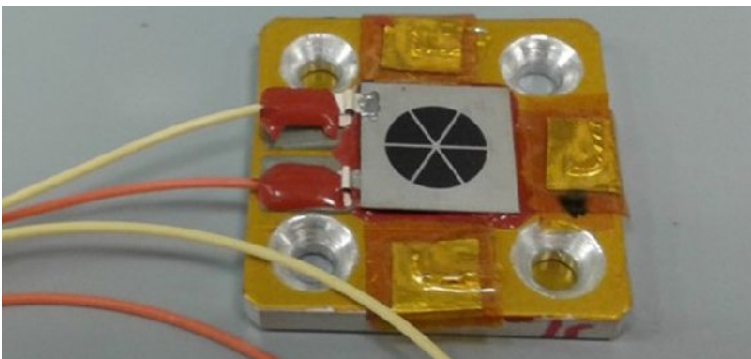


Figura 8. Sensores solares gruesos del proyecto Amazonia-1 Fuente: Departamento Energía Solar, Gerencia Investigación y Aplicaciones, CAC-CNEA.



Figura 9. SAOCOM 1<sup>a</sup>. Fuente: Departamento Energía Solar, Gerencia Investigación y Aplicaciones, CAC-CNEA.



Figura 10. SAOCOM 1B. Fuente: Departamento Energía Solar, Gerencia Investigación y Aplicaciones, CAC-CNEA.

### Conclusiones<sup>3</sup>

El trabajo presentado pretende mostrar algunas de las actividades llevadas adelante por el Departamento Energía Solar de

---

<sup>3</sup> La autora agradece a los integrantes del Departamento Energía Solar por los aportes en el presente artículo.

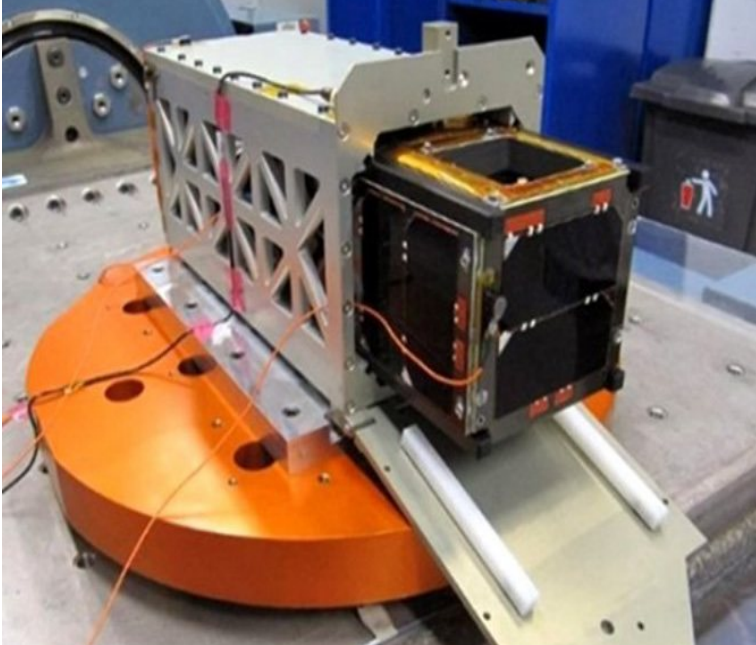


Figura 11. Nano satélite Ñusat III. Fuente: Departamento Energía Solar, Gerencia Investigación y Aplicaciones, CAC-CNEA.



Figura 12. Línea EDRA. Fuente: Departamento Energía Solar, Gerencia Investigación y Aplicaciones, CAC-CNEA.

la Gerencia de Investigaciones y Aplicaciones No Nucleares de la Comisión Nacional de Energía Atómica.

A lo largo de los años se ha logrado formar un grupo interdisciplinario de alrededor de 30 personas con formación en las áreas de la ingeniería mecánica, aeronáutica, electrónica, química, ambiental, y de la energía y en el área científica como física, química y matemática.

Se trabaja intensamente en la formación de recursos humanos en las carreras de grado y posgrado a través de trabajos finales y tesis doctorales. En esta misma línea, se brindan capacitaciones a profesionales de áreas vinculadas con la energía solar del sector público y privado.

En resumen, en área de las energías renovables y en particular de la energía solar fotovoltaica, el DES se ha posicionado como un grupo referente en la temática tanto para las aplicaciones terrestres como las espaciales.

## Referencias

- CRIVELLI E. Y PEDERGA M.A:** (1972). Cartas de radiación solar global de la República Argentina. Meteorológica vol III, N° 1, 2, 3, pp. 80-97.
- DURÁN J.C., J.C. DURÁN, C. ARGANARAZ, G. PEDRO, I.H. EYRAS, E.M. GODFRIN, A. RUÓTOLO, R. PEDACE, J.C. BENVENUTTO, J. DI SANTO, S. MUÑOZ, C.A. RINALDI** (2017). Generación fotovoltaica distribuida y redes inteligentes en la localidad de centenario, provincia del Neuquén. Primeras etapas del proyecto. AVERMA Vol. 5, pp. 13.45-13.56.
- GROSSI GALLEGOS, HUGO Y RAICHIJK, CARLOS** (2018). Radiación solar. Medición y modelado. edUTecNe-Asades, Buenos Aires, Argentina. ISBN 978-987-1896-88-2
- GROSSI GALLEGOS H.** (1998). Distribución de la radiación solar global en la República Argentina. II. Cartas de radiación. Energías Renovables y Medio Ambiente vol. 5, pp. 33-42. <http://www.iresud.com.ar>.