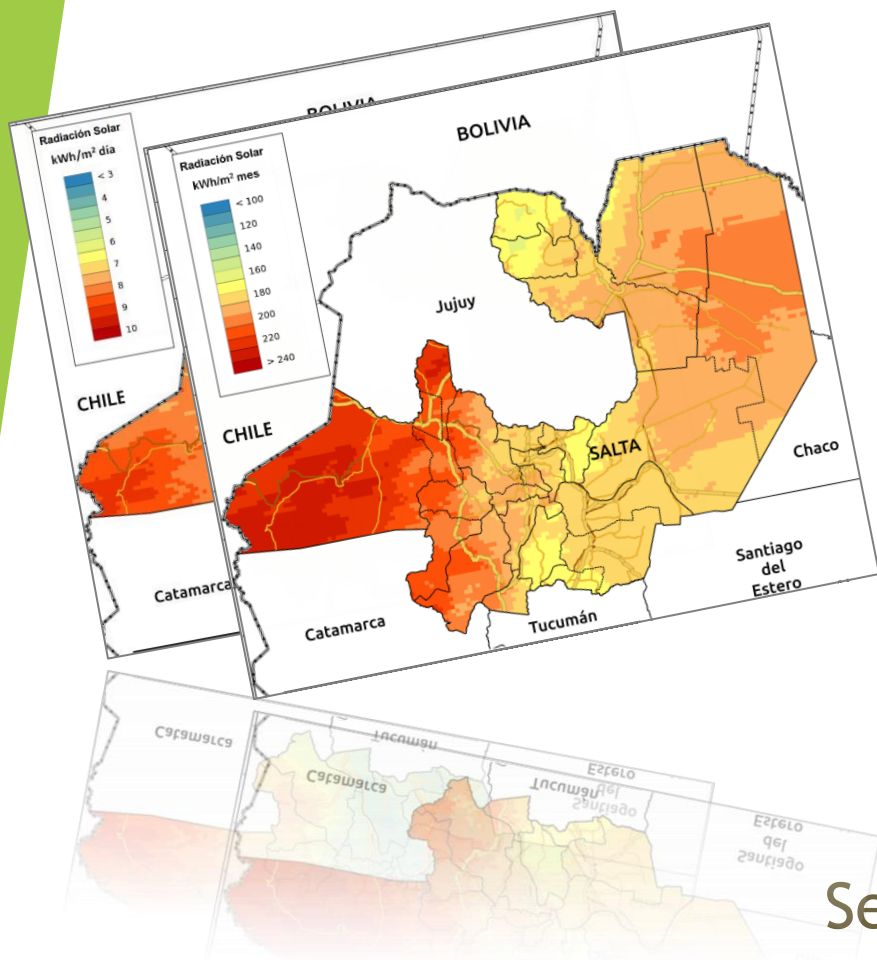


# SISTEMA SOPORTE A LAS DECISIONES EN ENERGÍAS RENOVABLES.

## Mapeo de radiación solar de la provincia de Salta.

Judith Franco, Silvina Belmonte,  
Nilsa Sarmiento, Pablo Dellicompagni



Seminario INENCO - Junio 2017

Proyecto de Investigación Plurianual  
CONICET N° 035  
2017-2019

## SISTEMA DE SOPORTE PARA LA TOMA DE DECISIONES EN ENERGÍAS RENOVABLES (SALTA - ARGENTINA)

### Objetivo General

Desarrollar un sistema de apoyo para la toma de decisiones en el ámbito de las energías renovables, que pueda ser aplicado en la planificación energética y gestión territorial particularmente de la región NOA de Argentina, provincia de Salta.

# CONVENIO CONICET con SECRETARÍA DE ENERGÍA - MINISTERIO DE AMBIENTE Y PRODUCCIÓN SUSTENTABLE DE LA PROV. DE SALTA

"2016 - Año del Bicentenario de la declaración de la independencia nacional"



Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

3157

ANEXO

## CONVENIO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Entre el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, denominado en adelante "CONICET", representado en este acto por su Presidente, el Dr. Hermenegildo Alejandro Ramón CECCATTO (DNI: 10.864.925), con domicilio legal en Godoy Cruz 2290 de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, por una parte; y por la otra, la Secretaría de Energía de la Provincia de Salta, en adelante "LA SECRETARIA", representada en este acto por el Sr. Secretario, Dr. Marcelo Alejandro JURI, con DNI N° 28.616.665, con domicilio legal en la calle Santiago del Estero 2291, 3° piso, oficina 15, de la Ciudad de Salta, acuerdan celebrar el presente Convenio sujeto a los siguientes cláusulas:

### ANTECEDENTES:

Desde hace algunos años se generaron vínculos entre el grupo de investigación de Planificación Energética y Gestión Territorial Instituto PEyGeT (INENCO) y la Secretaría de Energía de la Provincia, en el marco de la elaboración del Plan Provincial de Energía Renovables de Salta, habiendo existido entre el Instituto en general y el grupo en particular, interacción constante sobre la aplicación y utilización de energías renovables. Este trabajo conjunto se enmarcó en diferentes actividades, como la organización de Workshops. Por ello, resulta necesario formalizar mediante un convenio general la actividad que se lleva a cabo conjuntamente.

### PRIMERA. OBJETO:

El presente Convenio tiene por objeto participar de manera activa en la realización de un sistema de soporte para la toma de decisiones en energías renovables, de conformidad con el plan de trabajo que se adjunta como ANEXO I.

### SEGUNDA. UNIDAD EJECUTORA:

El CONICET designa como unidad ejecutora de las tareas emergentes de este convenio al Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO), con domicilio en la Avenida Bolivia 5150, Provincia de Salta.

"2016 - Año del Bicentenario de la declaración de la independencia nacional"



Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

BUENOS AIRES, 14 SEP 2016

VISTO el Expediente N° 4541/16 del Registro de este Consejo Nacional; y

### CONSIDERANDO

Que en el citado expediente tramita la aprobación de un Convenio de Investigación y Desarrollo entre este Consejo Nacional y la Secretaría de Energía de la Provincia de Salta.

Que el objeto del Convenio consiste en participar de manera activa en la realización de un sistema de soporte para la toma de decisiones en energías renovables.

Que la Gerencia de Asuntos Legales, la Dirección de Vinculación Tecnológica, la Dirección del Servicio Jurídico y la Gerencia de Recursos Humanos han tomado la intervención que les compete.

Que la presente decisión fue acordada en la reunión de Directorio de fecha 10 y 11 de agosto de 2016.

Que el dictado de la presente medida se efectúa en uso de las atribuciones conferidas por los Decretos: N° 1661/96, N° 310/07, N° 1939/12, N° 263/13, N° 1136/14, N° 409/15, N° 2349/15 y N° 162/15 y las Resoluciones D. N° 346/02, N° 2358/14, N° 4985/14 en su parte pertinente y N° 1904/15.

Por ello,

2016

## TRABAJO COORDINADO CON IDESA (Infraestructura de Datos Espaciales de la provincia de Salta)



IDESA constituye un “conjunto de políticas, estándares, procedimientos, y recursos tecnológicos que facilitan la producción, obtención, uso y acceso de información geográficamente referenciada de cobertura provincial”.

Es la plataforma oficial de publicación de datos espaciales de la provincia.

**IDESA**  
Infraestructura de Datos Espaciales de Salta

INSTITUCIONAL ▾ GRUPOS ▾ SERVICIOS ▾ RECURSOS ▾ DIFUSION ▾ CONTACTO

# GEOPORTAL IDESA

Infraestructura de datos espaciales de la Provincia de Salta.  
Plataforma de información geoespacial.

**Nuevas capas**  
Acceda a datos geospaciales publicados

Mas Información

**159 Capas**

- VISOR DE MAPAS**  
Mapas navegables que permite ver y consultar las capas provenientes de todos los nodos que conforman IDESA
- GEOSERVICIOS**  
Para incorporar capas a tus propias aplicaciones
- METADATOS**  
Busqueda de información georeferenciada
- DOCUMENTOS**  
Documentación IDESA

<http://www.idesa.gob.ar/>

2016

# Etapas del Proyecto PIP

1- Elaboración de un Sistema de Información Geográfica Energético a escala provincial (Salta) con software libre.

2- Desarrollo participativo de los modelos instrumentales para la toma de decisiones (alternativas tecnológicas, localizaciones, demandas, potencialidades de energías renovables).

3- Difusión y aplicación del sistema de soporte en diversos ámbitos.



# Sistemas de información geográfica

## Tesis de grado y doctorales

Silvina Belmonte (2009) *“Evaluación multicriterio para el uso alternativo de energías renovables en la Ordenación Territorial del Valle de Lerma.”*

Silvina Manrique (2011) *“Posibilidades de recuperación y aprovechamiento energético de la biomasa generada en un sector del Valle de Lerma -Salta”.*

## Beca CONICET y tesis doctorales en realización

Nilsa Sarmiento *“Software Libre de Soporte a la Toma de Decisiones en Energías Renovables”.* Inicio 2014.

Franco Zaneck *“Simulación de la demanda eléctrica y optimización de la demanda, utilizando Energías Renovables: Análisis para Salta Capital.”*

## Sistema de información de agua (Chaco) PIP CONICET N°00708

*“Desarrollo de tecnología solar de desalinización de agua con alta producción para la mejora de condiciones de vida y sistemas productivos.”* (2013-2016)

## Formación en software libre - QGIS - Cursos

Curso de postgrado (2015) *Introducción a los Sistemas de Información Geográfica (SIG) con software libre.*

Capacitación en el uso del software libre QGIS (2016).

## Programa Cooperación Científico-Tecnológica con Alemania

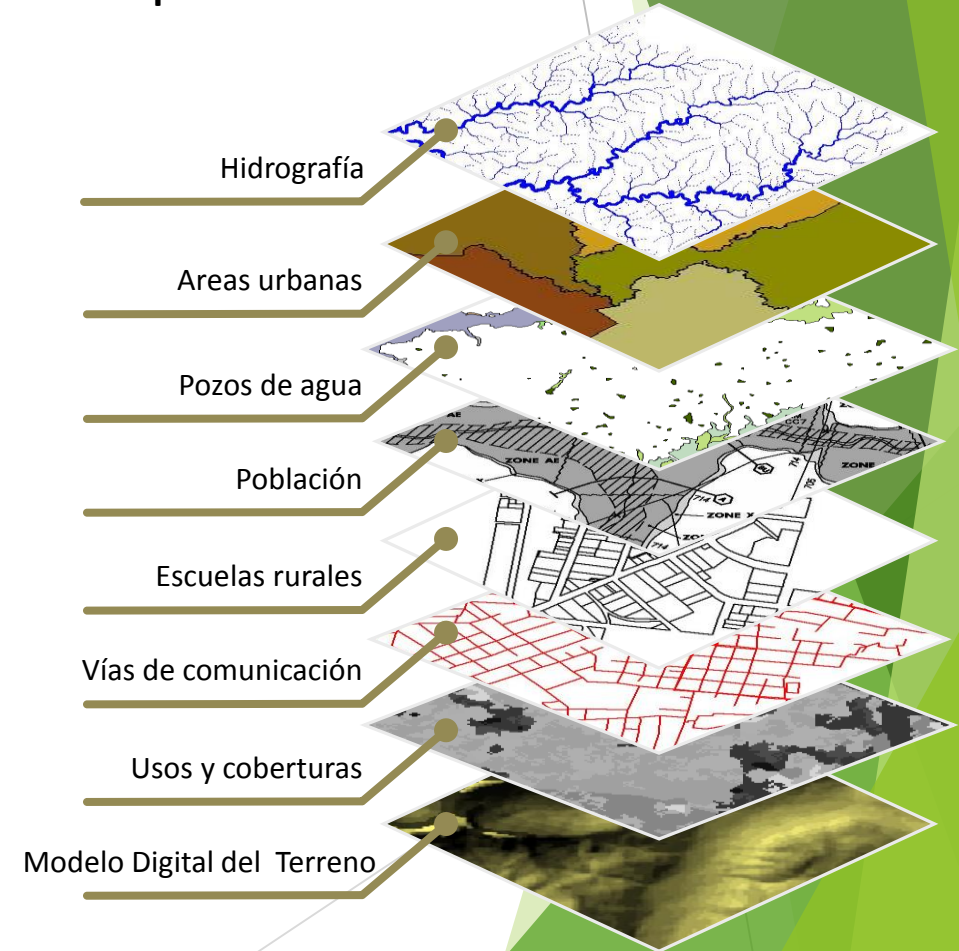
*“Planificación Energética Territorial con Fuentes Renovables de Energía en los casos Argentino y Alemán.”* (2014-2015)

## STAN Jujuy

*“Elaboración de mapa solar de la provincia de Jujuy”.* Responsables: Belmonte y Franco. ST 2865 INENCO-CONICET. Secretaría de Energía de Jujuy. (2016)

Experiencias de trabajo en el grupo

### Capas de datos

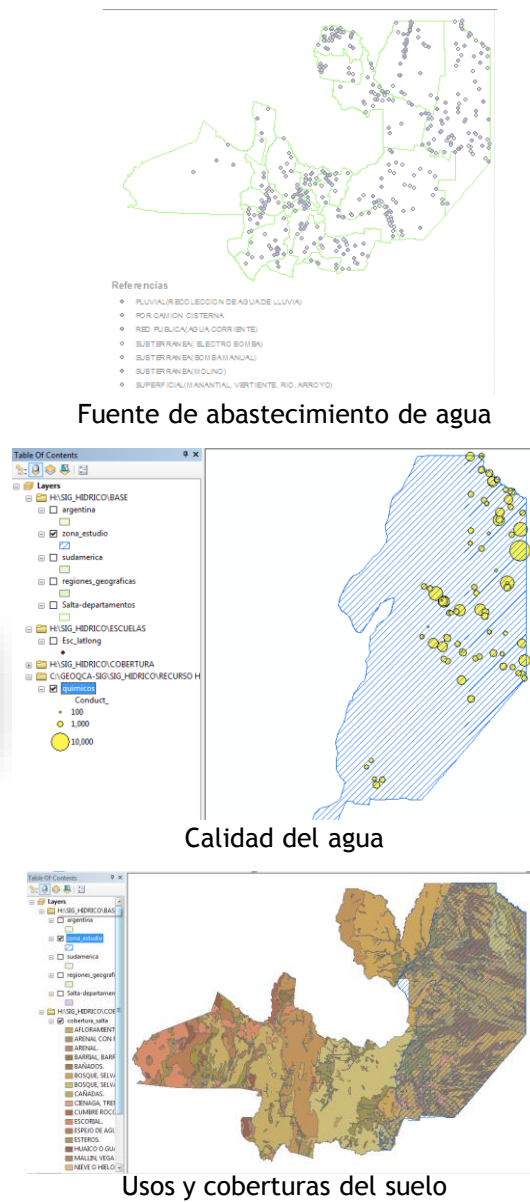
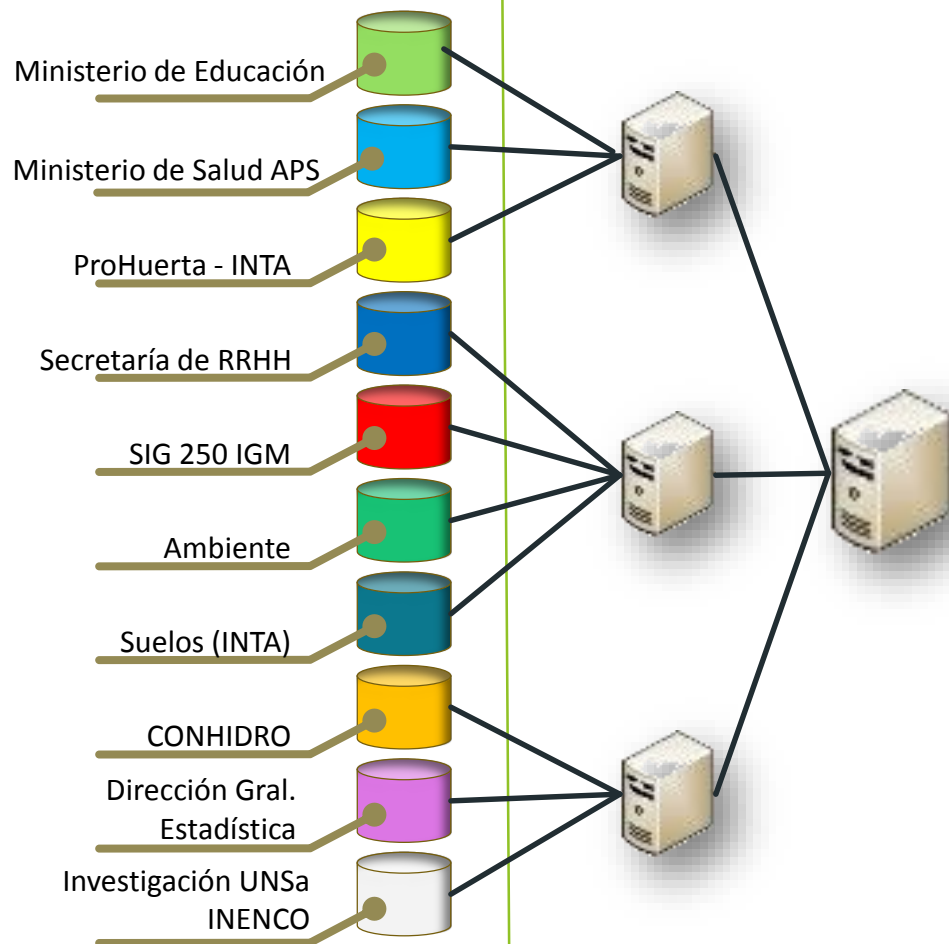


## Fuentes de Información

## Base de Datos

## Utilidades

## Accesibilidad



## Usuarios

### Proyecto de Agua



### Otras instituciones que lo requieran



2014

# WORKSHOP

“Información de base para  
modelos energéticos con SIG”

## SIG energético

### TIPO DE INFORMACIÓN

### CAPAS TEMÁTICAS

#### MAPA BASE

Información catastral - Red eléctrica - Áreas protegidas - Coberturas y usos del suelo - Modelo Digital de Elevación (MDE), Altitud, Pendiente - Rutas y vías de acceso - Datos poblacionales Recursos Hídricos - Minería, gas y petróleo - Información climatológica

#### OFERTA ENERGÉTICA

Producción de energía, Centrales, Redes de distribución - Fuentes energéticas actuales y potenciales convencionales (reservas) - Fuentes energéticas actuales y potenciales no convencionales (Biomasa - Biogás; Geotermia, **Solar** Minihidro, Eólica) - Matriz energética

#### DEMANDA ENERGÉTICA

Industria - Turismo - Urbano, consumo domiciliario, Infraestructura - Rural con servicios - Rural disperso - Sector agropecuario - Agua para consumo (Usuarios, fuentes de agua, consumo, redes)

#### PROSPECTIVA ENERGÉTICA

Proyecciones

*Tabla 1: Información de base necesaria para la planificación energética*

## POLITICO (decisional)

Institución que  
motorice la  
planificación

Mesa Inter-  
institucional de  
articulación

## TECNICO (inter-institucional)

Mesas técnicas

Poner a disposición  
información existente

Generar información  
nueva

## OPERATIVO

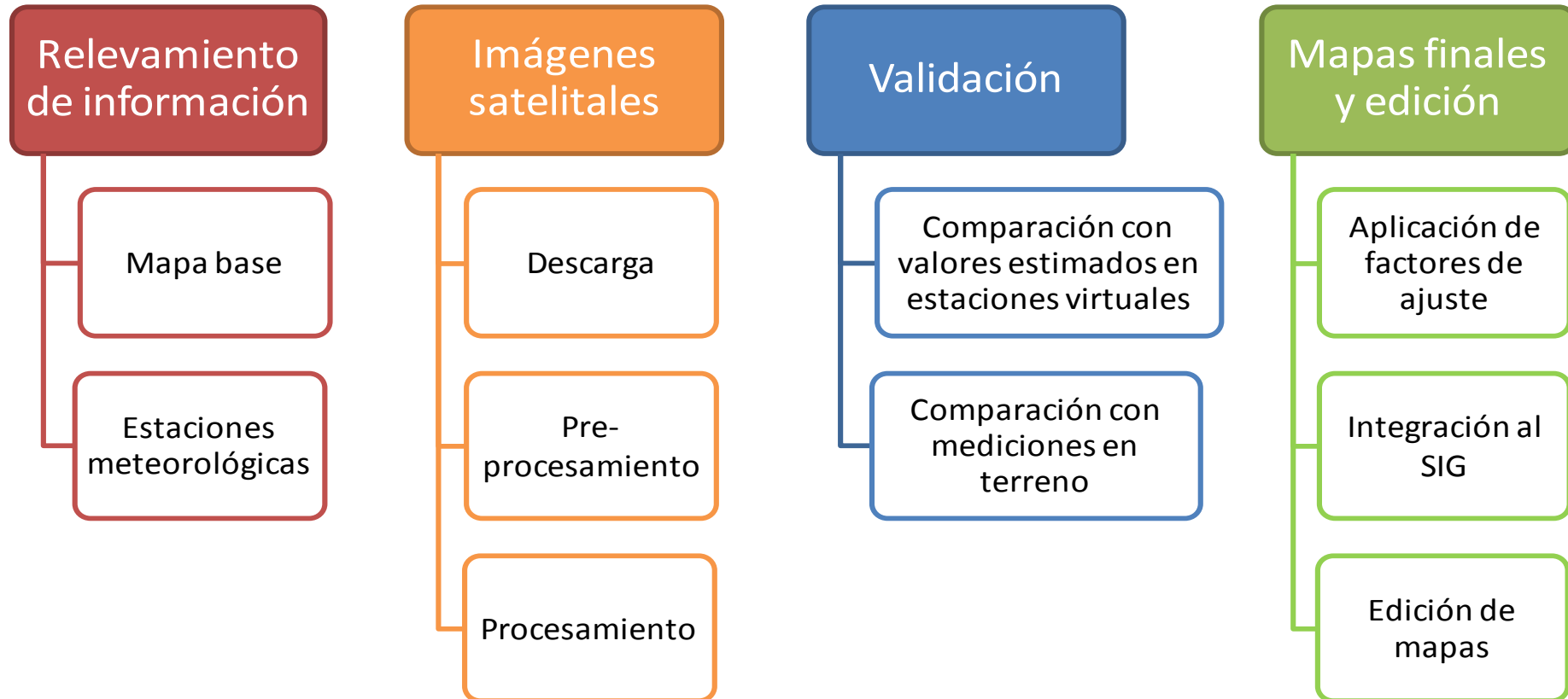
RRHH

\$\$\$

## Estrategia propuesta



# Mapeo de radiación solar

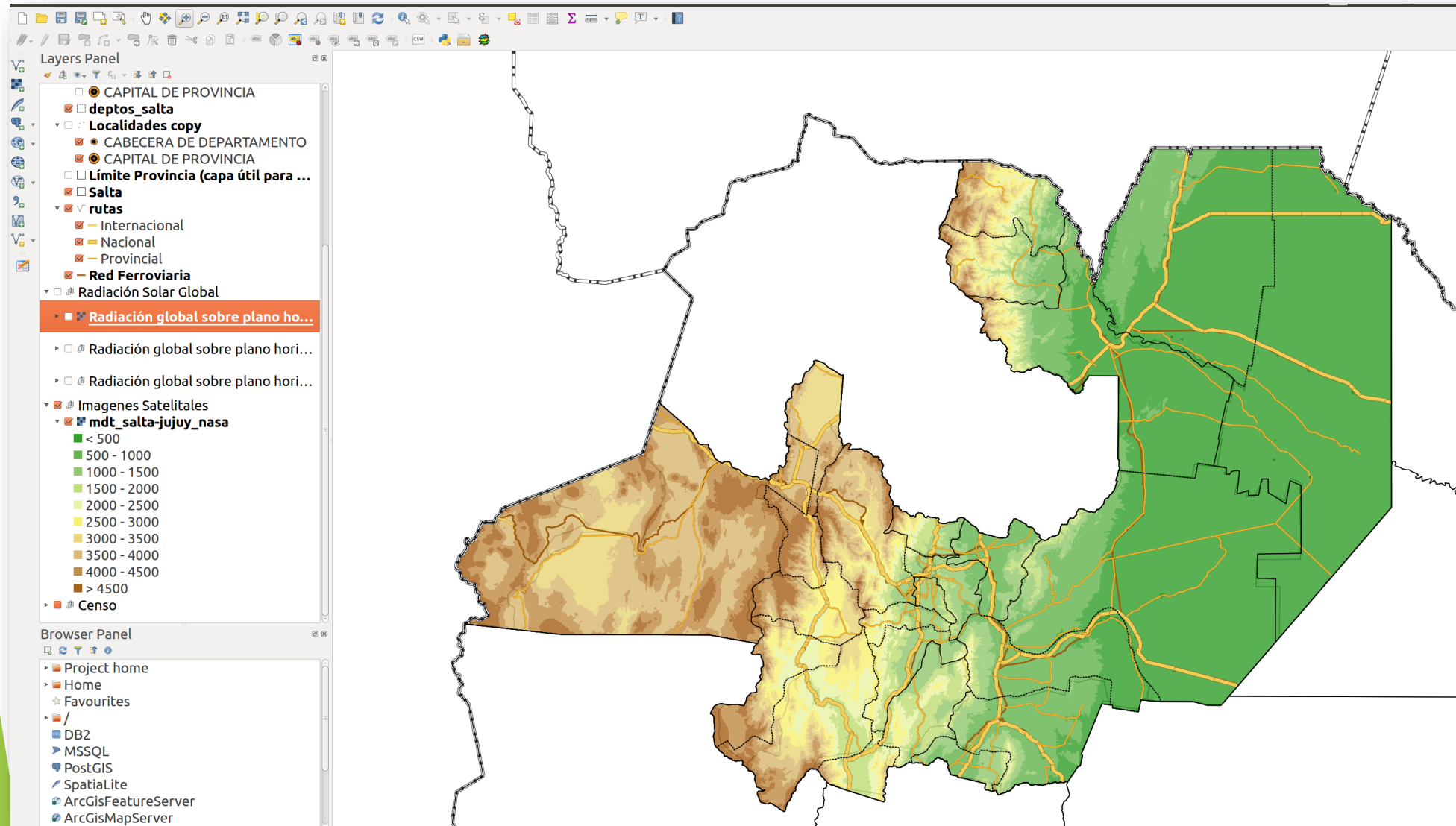




## Programas utilizados

Programa	Aplicaciones para el mapeo solar
GRASS-GIS	Descarga y pre-procesamiento de imágenes satelitales. Modelado raster.
R	Funciones matemáticas de agregación de valores diarios y mensuales. Análisis estadísticos. Comparaciones y correlaciones.
Q GIS	Organización del Sistema de Información, visualización de capas temáticas y edición de mapas.
Software propio desarrollado por PeyGeT	<p>Programa desarrollado por el grupo de trabajo para la estimación de la radiación solar global de día claro por los métodos de Hottel (Duffie y Beckman, 2005) y Salazar (2010).</p> <p>Desarrollado en lenguaje de programación C, bajo licencia GNU-GPL.</p> <p>Solicitar a <a href="mailto:peyget.inenco@gmail.com">peyget.inenco@gmail.com</a></p>

# Mapa base



Relevamiento  
de información

Mapa base

Estaciones  
meteorológicas

## Datos de radiación solar en terreno

### Estaciones meteorológicas

Estación	Latitud Sur	Longitud Oeste	Altitud (msnm)	Pertenencia	Entidad Provisora	Escala temporal	Frecuencia
La Viña	25°18'21"	65°31'05"	1198	-	SIGA	MAY06-MAR16	60 MIN
Cafayate	26°06'00"	65°58'26"	1620	Bodega Etchart	SIGA	SET08-MAY16	30-60 MIN
Abra Pampa	22°47'56.4"	65°49'33.6"	3463	INTA AER Abrapampa	SIGA	OCT11-ENE16	5-15 MIN
El Pongo	24°22'55.2"	65°8'31.2"	979	Finca La Posta	Secretaria Energía de Jujuy	SET06-FEB16	15 MIN
El Rincón	24°01'12.9"	67°02'22.6"	3800	Enirgi Group	Enirgi Group	JUN09-DIC16	15 MIN

SIGA: Sistema de Información y Gestión Agrometeorológico de INTA



Relevamiento de información

Mapa base

Estaciones meteorológicas



## Fuente de datos satelitales

- ▶ Red Land Surface Analysis Satellite Applications Facility (LSA SAF)

Sitio web: <http://landsaf.meteo.pt/>

- ▶ Las imágenes proveen valores de Down-welling Surface Shortwave Flux (DSSF), se refiere a la energía radiativa en el intervalo de longitudes de onda corta que llega a la superficie de la Tierra, por unidad de tiempo y unidad de superficie.  
**Radiación solar global sobre plano horizontal.**
- ▶ Depende esencialmente del ángulo cenital solar, la cobertura de nubes y, en menor medida, de la absorción atmosférica y albedo de la superficie.
- ▶ Los algoritmos se aplican por separado para el cielo claro y situaciones de cielo nublado.



**Organización Europea para la Explotación (aprovechamiento)  
de Satélites Meteorológicos**



Imágenes  
satelitales

Descarga

Pre-  
procesamiento

Procesamiento

# Etapas de trabajo con los datos satelitales

## Descarga

- Resolución temporal: 30 minutos
- Resolución espacial:  $0,04^\circ = 4,5$  km de lado
- Descarga en paquetes de 1.000 mapas (formato HDF5) - Sudamérica
- Aproximadamente 17.500 imágenes por año.
- Período: 2009-2015 (6 años). Requerimiento: Workstation

## Pre-procesamiento

- Transformación de formatos HDF5 a Geotiff.
- Recorte de las imágenes para el área de trabajo (NOA).
- Georreferenciación a "POSGAR 94 / Argentina 3".
- Descarte de imágenes con datos faltantes.
- Todos los mapas se importan en GRASS GIS y se registran en bases de datos espacio-temporales independientes.

## Procesamiento

- Operaciones matemáticas con mapas raster (GRASS GIS en combinación con el lenguaje y entorno libre de programación R).
- Se obtienen los mapas de radiación global sobre plano horizontal diarios y, a partir de ellos, los valores mensuales y anuales.
- Se calculan los promedios diarios, mensuales y anuales para el periodo de 6 años.



Imágenes satelitales

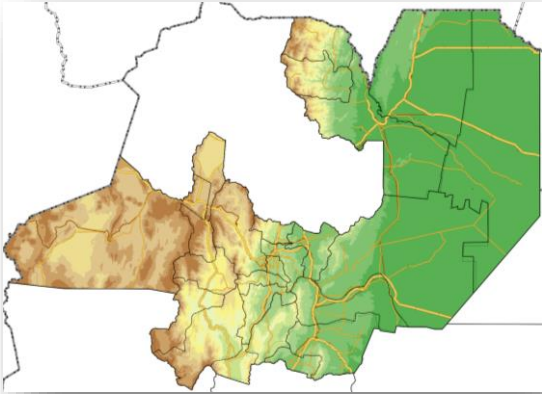
Descarga

Pre-procesamiento

Procesamiento

## Estaciones virtuales

Muestreo estratificado  
por altitud en base a MDE



1879 puntos (Salta - Jujuy)

Referencia para la evaluación del  
comportamiento de los datos satelitales  
en zonas bajas y altas de la región.



Comparación de estimaciones de  
radiación solar con valores de los  
datos satelitales para la misma  
posición y día característico.

## Modelos matemáticos de radiación solar de día claro

Menor a 2.500 m.s.n.m.

Método de Hottel (Duffie y Beckman, 2005)

Considera el ángulo cenital del sol  $\theta_z$ .

Mayor a 2.500 m.s.n.m.

Modelo ARG-P (Salazar et al., 2010)

Considera la atenuación atmosférica que se produce por efectos de absorción y dispersión de la atmósfera.

Se desarrolló en base a mediciones experimentales de los índices de claridad en Tolar Grande, Salar El Rincón y Huacalera, entre otros.

Los datos satelitales de radiación provistos por LSA SAF  
incorporan los efectos de nubosidad  
y otras dispersiones de la atmósfera.

En invierno, la correlación es mayor a 0.85 por la baja nubosidad.



Validación

Comparación con  
valores estimados en  
estaciones virtuales

Comparación con  
mediciones en  
terreno

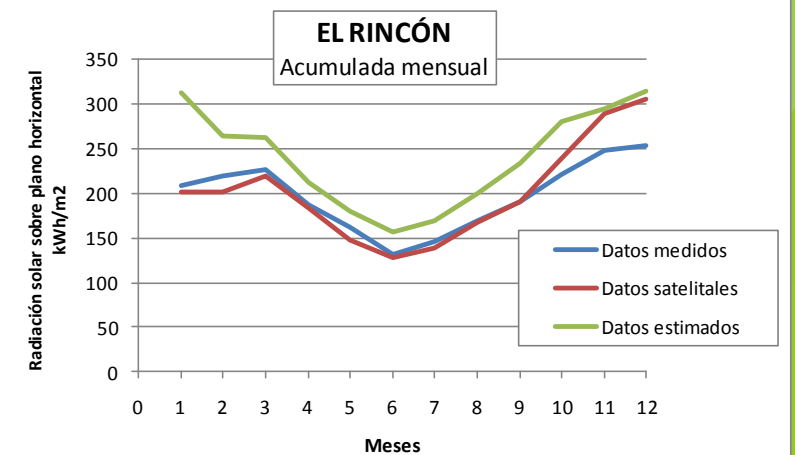
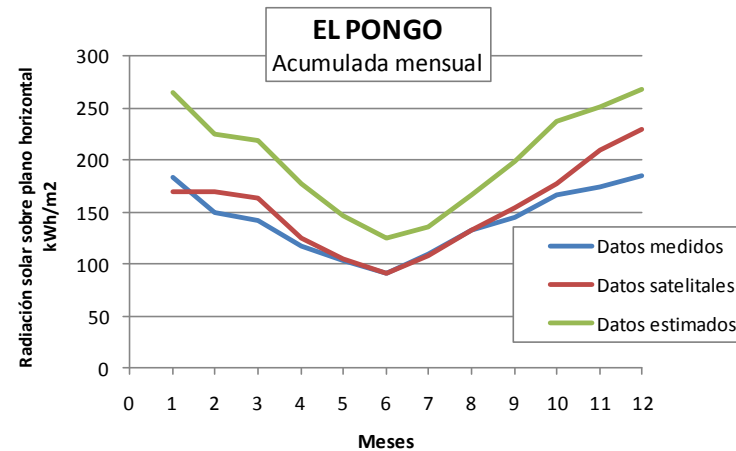
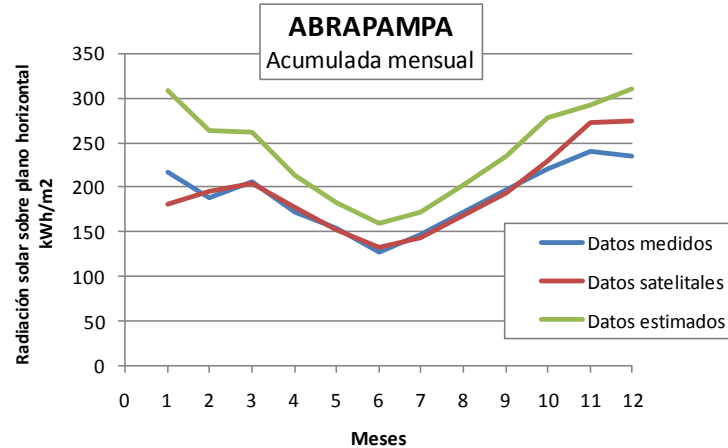
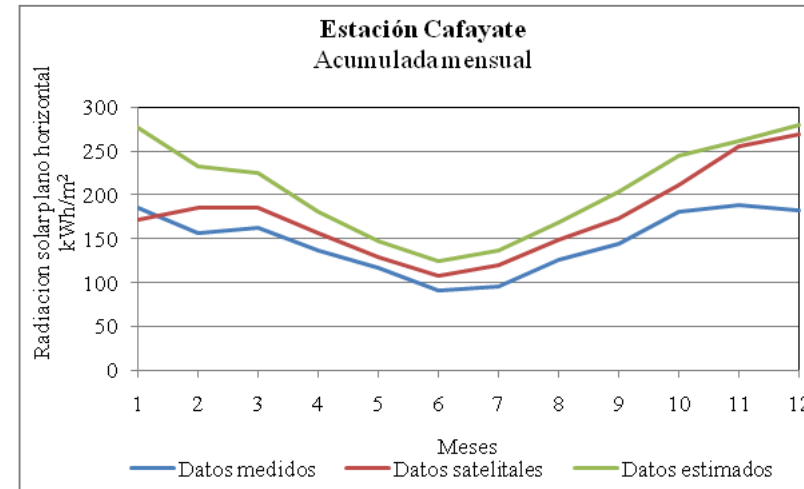
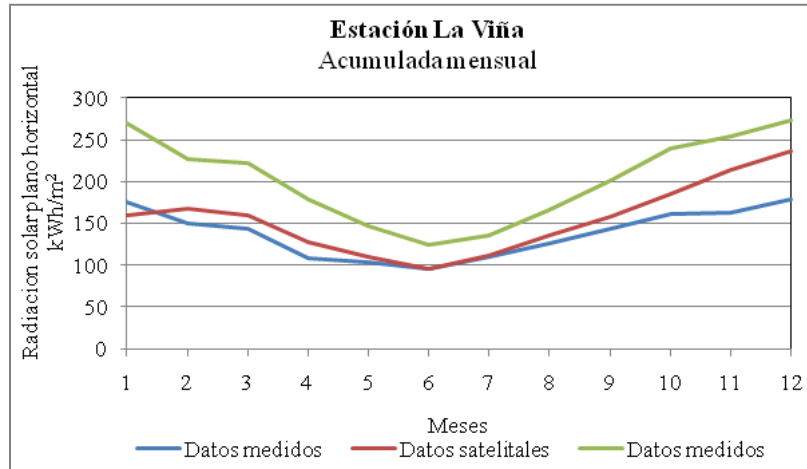
# Análisis comparativo - Validación



## Validación

Comparación con valores estimados en estaciones virtuales

Comparación con mediciones en terreno





# Aplicación de factores de ajuste para el mapeo de la radiación solar acumulada mensual

## Datos satelitales: SUBESTIMA

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Fc *	<b>1.107</b>	0.96	0.95	0.95	1.01	0.99	1.02	0.99	0.97	<b>0.93</b>	<b>0.833</b>	<b>0.811</b>

\*Fc: Este factor representa el promedio de las diferencias entre datos satelitales y medidos para las estaciones con datos.

## Datos satelitales: SOBREESTIMA

- ▶ Estos factores de ajuste se aplican a las imágenes de radiación solar acumulada mensual correspondientes y se traduce en un ajuste de la radiación solar acumulada anual.
- ▶ El error asociado al método de estimación de la radiación solar utilizado en el mapeo con imágenes satelitales se reduce al 5%.
- ▶ No obstante, dado que la variabilidad interanual contemplada se reduce a 6 años y que se disponen de pocas estaciones con mediciones terrestres, se sugiere considerar una dispersión del 10%.
- ▶ No fue posible aplicar un factor de ajuste en el cálculo de radiación solar de día característico por la escasa cantidad de datos disponibles (sólo 6 años con datos diarios satelitales y medidos por punto de control).



Mapas finales  
y edición

Aplicación de  
factores de  
ajuste

Integración al  
SIG

Edición de  
mapas

# Edición de SIG y mapas de radiación solar para la provincia de Salta



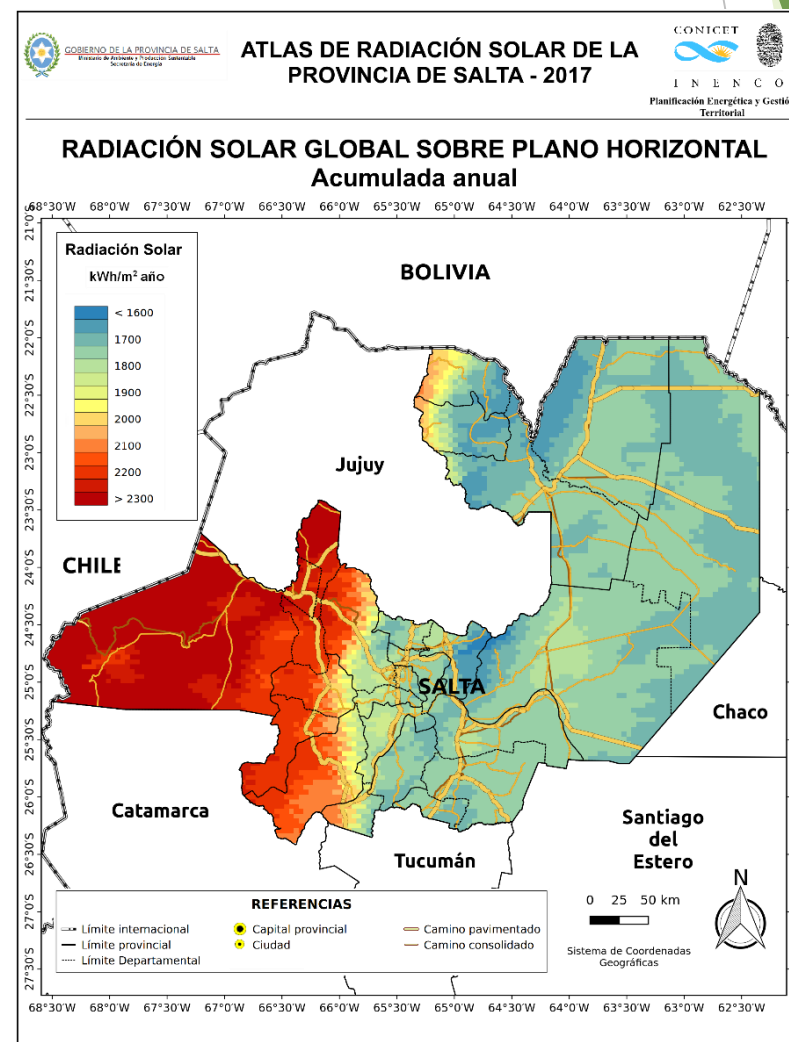
Mapas finales  
y edición

Aplicación de  
factores de  
ajuste

Integración al  
SIG

Edición de  
mapas

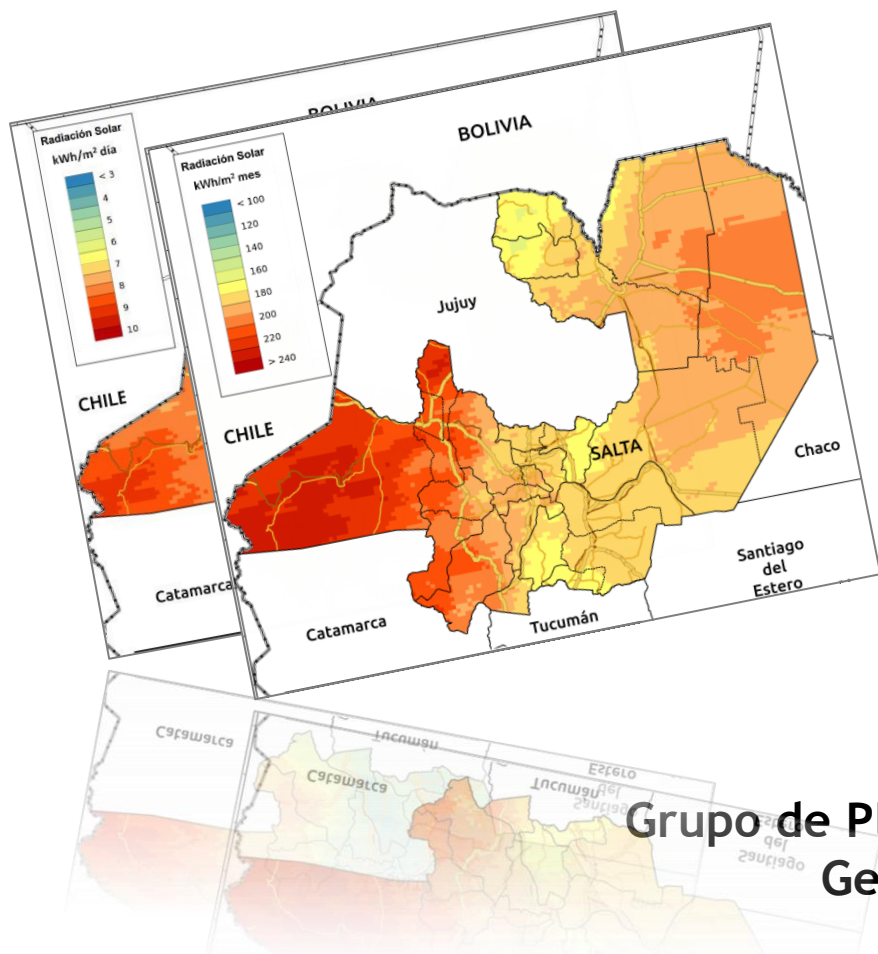
Formato / Soporte	Contenido	Aplicaciones y usos	Material complementario
<b>Proyecto QGIS</b> (digital)	Capas temáticas de mapa base y radiación solar.	Visualización del SIG, prendido y apagado de capas. Consulta espacial de datos de radiación. Acceso a la información de base. Posibilidad de procesamiento SIG.	Instructivo de uso Instalador QGIS. Manual QGIS.
<b>Proyecto .kmz</b> (digital)	Capas temáticas de radiación solar (.kmz)	Visualización de las capas en Google Earth. Consulta interactiva de la radiación diaria, mensual y anual por pixel.	Instructivo de uso
<b>Atlas de Radiación Solar</b> (impreso y digital)	Mapas de radiación solar: diarios, mensuales y anual.	Visualización general de la provincia. Consulta general de datos de radiación.	



# Comunicación de resultados

- ▶ Acerca de la metodología y las aplicaciones desarrolladas: **artículos en revistas nacionales e internacionales** con referato.
  - Sarmiento Barbieri Nilsa M.; Silvina Belmonte; Judith Franco; Pablo R. Dellicompagni; Joaquín Sarmiento -2017- “*Towards a Support Decision System: a Solar Radiation Atlas for the Province of Salta*”. Journal: Renewable & Sustainable Energy Reviews. Fecha de submission: 22/02/2017. En evaluación.
  - Ramirez Camargo L., J. Franco, N. Sarmiento Barbieri, S. Belmonte, K. Escalante, R. Pagany, and W. Dorner - 2016- “*Technical, Economical and Social Assessment of Photovoltaics in the Frame of the Net-Metering Law for the Province of Salta, Argentina*”. Energies 2016, 9: 133; 21 p.; doi: 10.3390/en9030133. [www.mdpi.com/journal/energies](http://www.mdpi.com/journal/energies). ISSN 1996-1073.
  - Belmonte S., Sarmiento N., Escalante K., Franco J., Ramírez Camargo L., Dorner W. - 2015 - “*Aportes a la planificación energética en Salta. Información de base, marco legal y desafíos al corto plazo*”. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 19, pp.12.23-12.34, 2015. ISSN 0329-5184.
  - Ramirez Camargo L., Altamirano M., Belmonte S., Dorner W. - 2015 - “*Comparación de fuentes satelitales, de re-análisis y métodos estadísticos para el mapeo de la radiación solar en el Valle de Lerma (Salta-Argentina)*”. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 19, pp11.19-11.30, 2015. ISSN 0329-5184.
  - López E., Belmonte S., Franco J. - 2014 - “*Potenciales aplicaciones de tecnología solar para tratamientos desalinizadores. Elaboración de un sistema de información geográfico hídrico*”. ERA SOLAR Edición América 10 (Julio/agosto 2014) 28-40. [http://www.erasolar.es/EDICION\\_AMERICA/EdicionAmerica-10/](http://www.erasolar.es/EDICION_AMERICA/EdicionAmerica-10/)
  - Belmonte, S.; Núñez, V.; Viramonte, J.; Franco, J. - 2009 - “*Potential renewable energy resources of the Lerma Valley, Salta, Argentina for its strategic territorial planning*”. Renewable and Sustainable Energy Review 13 (2009): 1475-1484. ISSN: 1364-0321. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/>
- ▶ **Informes técnicos:** STAN Jujuy, proyectos de investigación e intercambio.
- ▶ **Presentaciones en eventos científicos-técnicos:**
  - Primeras Jornadas de Energía Solar Aplicada, San Salvador de Jujuy, 8 y 9 de setiembre 2016, Facultad de Ingeniería UNJu.
- ▶ Estrategia de difusión en **nuevos formatos** comunicacionales (plataforma web oficial de la provincia, IDESA).

**Desafío: Disponibilidad y acceso a la información.**



¡Gracias!!!

**Grupo de Planificación Energética y  
Gestión Territorial**

INENCO - Salta - Argentina

[peyget.inenco@gmail.com](mailto:peyget.inenco@gmail.com)