

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/317478062>

Atlas de Energía Solar de la República Argentina

Book · May 2007

CITATIONS

30

READS

1,823

2 authors:



[Hugo Grossi Gallegos](#)

Universidad Nacional de Luján

123 PUBLICATIONS 466 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[R. Righini](#)

Universidad Nacional de Luján

52 PUBLICATIONS 217 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



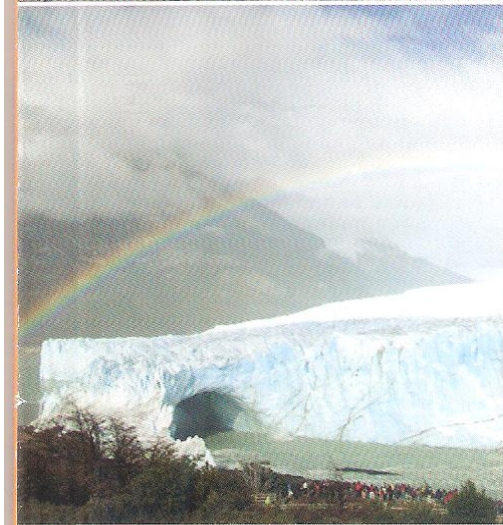
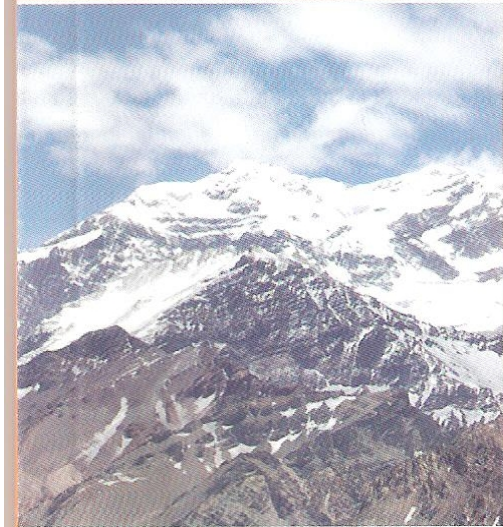
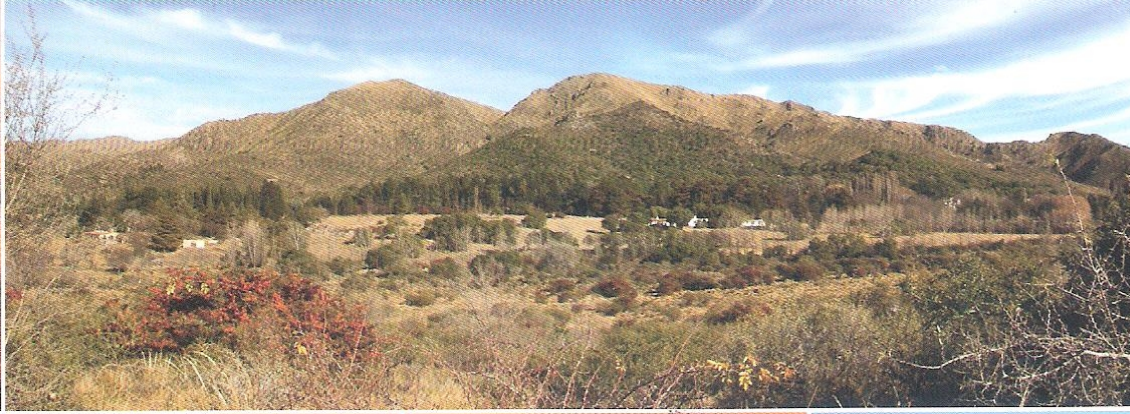
ENERGIZACIÓN DE CENTROS AISLADOS DE POBLACION [View project](#)



Desarrollo de sensores terrestres y espaciales [View project](#)

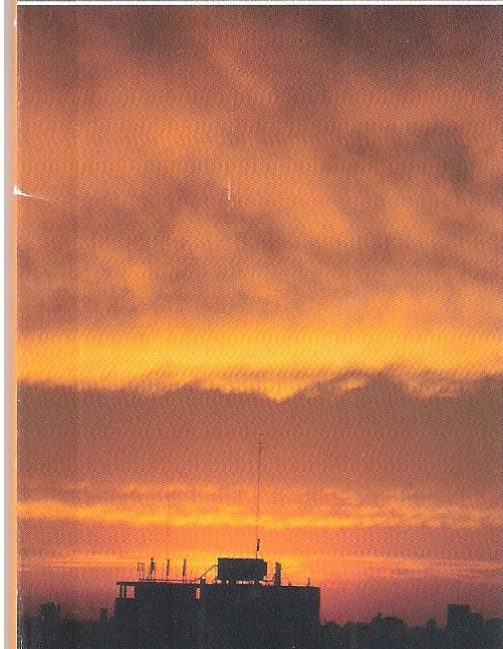
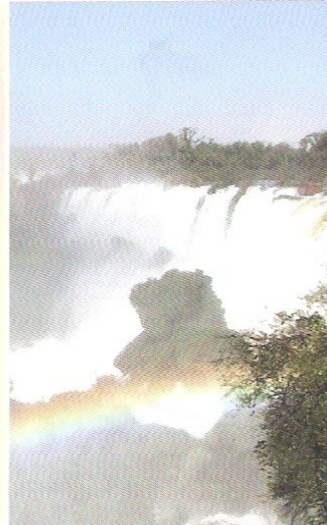
All content following this page was uploaded by [Hugo Grossi Gallegos](#) on 21 June 2017.

The user has requested enhancement of the downloaded file.



**ATLAS DE ENERGÍA SOLAR
DE LA REPÚBLICA ARGENTINA**

Hugo Grossi Gallegos
Raúl Righini



ATLAS DE ENERGÍA SOLAR DE LA REPÚBLICA ARGENTINA

H. Grossi Gallegos
Raúl Righini

Declarado de interés cultural y educativo por la Dirección General
de Cultura y Educación de la Provincia de Buenos Aires

Apoyado por la ASADES (Asociación Argentina
de Energías Renovables y Ambiente)



Diseño: APF suma

Primera edición: mayo de 2007

Queda hecho el depósito que establece la Ley 11.723

Impreso en la Argentina / *Printed in Argentina*

© Hugo Grossi Gallegos | Raúl Righini

ISBN: 978-987-9285-36-7

■ ÍNDICE

1. A manera de presentación	7
2. Instrumental de medición y errores asociados	9
3. Descripción de las cartas de irradiación solar global y de heliofanía efectiva (horas de brillo solar) de la República Argentina	15
Cartas de irradiación solar global global	15
Cartas de Heliofanía Efectiva (Horas de Brillo Solar)	16
4. Cartas de irradiación solar global	17
5. Cartas de heliofanía efectiva	43
6. Bibliografía de consulta	68

■ A MANERA DE PRESENTACIÓN

La preocupación por la degradación medio ambiental y la conveniencia de disminuir la dependencia de suministros convencionales son factores que influyen decididamente sobre las políticas energéticas a la hora de fomentar la investigación, el desarrollo y las aplicaciones de las energías renovables. Dentro de estas últimas, la utilización del Sol y del viento con fines energéticos en instalaciones de pequeña capacidad en zonas alejadas de las redes eléctrica, es posible mediante los diseños adecuados que mejor se adapten a las condiciones del lugar.

Pero no es ésta, sin embargo, la única razón. Medir la energía proveniente del Sol se considera necesario para: a) estudiar el impacto que los cambios en los niveles de radiación debido a las variaciones periódicas o anómalas tienen sobre las condiciones climáticas (variaciones en la nubosidad, en la cantidad de partículas en suspensión en la atmósfera y en el agua que se puede precipitar, se verían inmediatamente reflejadas en la radiación medida), b) determinar la influencia que la radiación solar a nivel de superficie tiene en el rendimiento de cosechas, c) evaluar la evapotranspiración potencial del suelo y determinar así su estado hídrico (agua disponible y necesidad de riego), y d) planificar el secado de productos vegetales con mayor eficiencia. En todos los casos conocer la distribución espacial y temporal de la radiación solar resulta indispensable y el presente trabajo apunta a esta finalidad.

Este Atlas de Energía Solar de la República Argentina, en el que se presenta un conjunto de cartas con la distribución mensual de los promedios diarios de la irradiación solar global y de las horas de brillo solar (heliofanía efectiva), busca hacer pública la existencia de trabajos académicamente ya concluidos y tal vez poco difundidos. Incluye además una descripción del instrumental de medición que se utiliza y sus errores, los datos empleados para el trazado de las cartas y un listado de referencias bibliográficas que se consideran de interés.

Esta edición fue financiada por el Programa de Energía y Transporte de la Dirección Nacional de Programas y Proyectos Especiales de la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, dentro del marco de sus proyectos emblemáticos con prioridad estratégica, y por el Departamento de Ciencias Básicas de la Universidad Nacional de Luján.

■ INSTRUMENTAL DE MEDICIÓN Y ERRORES ASOCIADOS

Los equipos instalados inicialmente con el fin de evaluar de alguna manera la radiación solar fueron en general heliógrafos de Campbell-Stokes (destinados a medir las horas diarias de brillo de sol, también conocidas como *heliofanía*), piranógrafos bimetálicos del tipo de Robitzsch o piranómetros esféricos de Bellani (también llamados lucímetros a destilación) a fin de registrar la radiación global incidente a diario (o semanalmente) sobre un plano horizontal.

Históricamente, dentro del campo de la Meteorología, se le dio relativamente poca importancia a la precisión de las mediciones de la radiación solar, las que resultaban así afectadas por errores importantes y variables a través del tiempo debido al indebido mantenimiento que se prestaba al instrumental (si bien el disponible hace más de tres décadas no permitía una muy buena calidad de la información), a los que deben agregarse los introducidos en el procesamiento de los registros de papel utilizados.

En esta sección se hará mención a los heliógrafos y a los piranómetros, que son los instrumentos que más se encuentran difundidos en la región para la medición de la heliofanía y de la radiación global.

Heliógrafos

Los *heliógrafos* (también conocidos como heliofanógrafos) tienen por objeto medir la duración del brillo solar (*heliofanía efectiva*). El instrumento hasta hace poco tiempo recomendado para la medición de esta duración es el heliógrafo del tipo Campbell-Stokes con las fajas especificadas por el Servicio Meteorológico de Francia, las que fueron diseñadas de conformidad con la Organización Meteorológica Mundial. Las mismas tienen impresa una escala con un paso de media hora, siendo posible apreciar por un observador experimentado hasta décimos de hora.



Figura 1. Heliógrafo de Campbell-Stokes

Este equipo (inventado por Campbell en 1853 y modificado por Stokes en 1879) consiste en una esfera sólida de vidrio pulido que se comporta como una lente convergente montada de tal manera que en su foco se aloja la faja de registro diario (Figura 1). Éstas, de acuerdo con el modelo de instrumento, pueden tener tres formatos: para los equinoccios, para el solsticio de verano y para el solsticio de invierno.

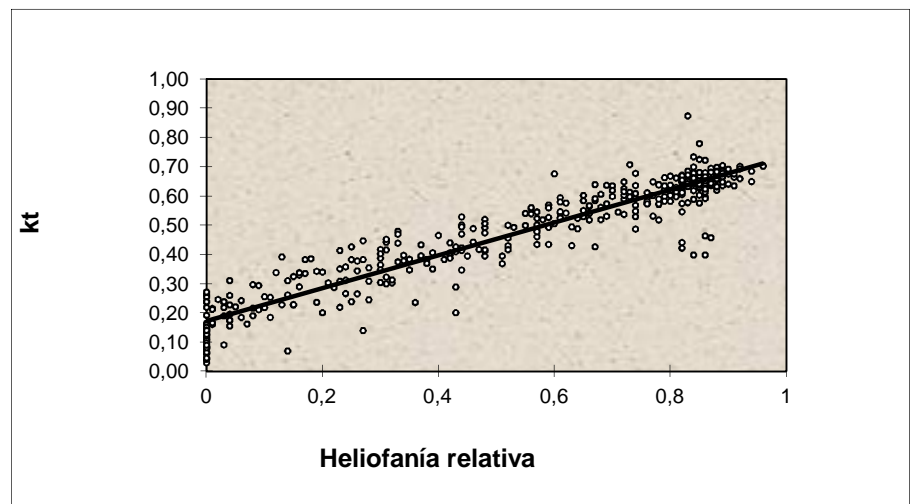
La Organización Meteorológica Mundial (O.M.M.) se encargó de estudiar el principio de funcionamiento de este equipo, esencialmente la convergencia de los rayos solares sobre una faja de papel que provoca que ésta se quemé. Se encontró que esto ocurre cuando los valores de la radiación solar directa superan un umbral que presenta cierta variabilidad, dependiendo de la ubicación geográfica del instrumento, del clima y del tipo de faja utilizada. En promedio, ese valor se encontró que variaba de 100 a 200 W/m², conviniéndose posteriormente en que el mismo fuera de 120 W/m² cuando se usan las fajas fabricadas a tal efecto; sin embargo, se han encontrado valores que van de 16 a 400 W/m².

En Argentina, un reciente estudio estadístico de la variabilidad espacial de los valores de heliofanía efectiva (medida con las fajas provistas por el Servicio Meteorológico Nacional) permitió estimar que el error de los promedios mensuales es de 7 %, si bien el umbral diario ha mostrado una amplia variabilidad. Los de Brasil, Paraguay y Uruguay son inferiores debido al tipo de faja que utilizan, lo cual debe tenerse en cuenta en el trazado de cartas en las zonas fronterizas.

Generalmente se utilizan las horas relativas de insolación (*heliofanía relativa*), para lo cual se dividen las horas registradas (n) por las horas teóricas de insolación (N), las que se calculan, conociendo la latitud de la estación (ϕ) y la declinación del día (δ).

La importancia de los valores de heliofanía relativa reside en las correlaciones establecidas entre sus promedios mensuales y los del *índice de claridad* k_t (cociente entre el promedio de la irradiación global medida en tierra sobre un plano horizontal y el promedio de la irradiación extraterrestre para el mismo lugar, la misma época del año y la misma orientación del plano). Sin embargo, sólo puede ser establecida con mucha dispersión cuando se trata de valores diarios dada la diversidad de factores que inciden sobre la respuesta gráfica del heliógrafo, como puede verse en la Figura 2.

Figura 2.
Correlación lineal
establecida entre
los valores diarios
del índice de
claridad y los de
la heliofanía
relativa.



Solarímetros

Los *solarímetros*, denominados algunas veces radiómetros, están destinados a la medición de la radiación global (o hemisférica) en diferentes planos y de la radiación difusa. Este instrumento tiene una serie de características sobre las cuales debe prestarse especial atención a efectos de determinar la calidad del mismo. De acuerdo a cómo se comporten frente a estas exigencias los piranómetros se clasifican como de primera o segunda clase. Por otra parte, teniendo en cuenta el principio activo del receptor los piranómetros pueden ser *termoeléctricos* o *fotovoltaicos* (*cuánticos*).

Los piranómetros deben ser calibrados como mínimo una vez al año y con una frecuencia mayor si existieran razones que hicieran sospechar que su constante se ha modificado. La misma puede hacerse enviando el equipo a algún centro de calibraciones que disponga de un pirheliómetro patrón o comparando estadísticamente a lo largo de unas dos semanas en el mismo lugar con algún patrón secundario disponible, tratando de incluir cielos cubiertos y claros.

Solarímetros termoelectrónicos (piranómetros)

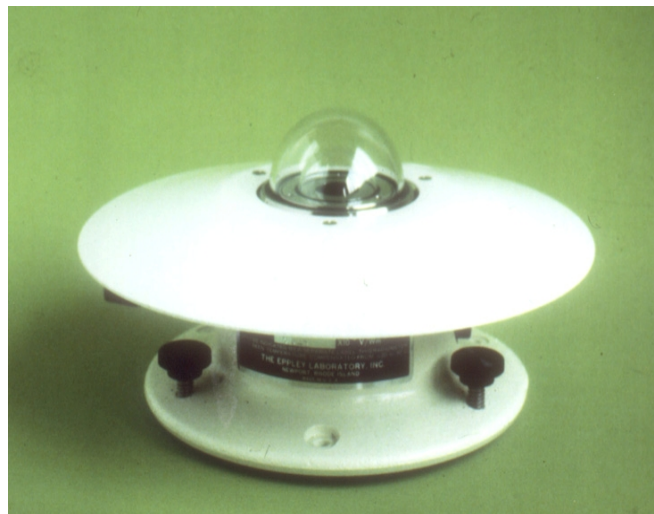
Los *piranómetros termoelectrónicos* tienen como elemento sensible una termopila de Möll, denominándose así a un conjunto de pares termoelectrónicos o termocuplas en serie. Vale la pena recordar que una termocupla es un par de metales determinados de manera tal que, al hallarse sus juntas a diferentes temperaturas, se genera una diferencia de potencial entre ellas que es proporcional al salto térmico.

Dentro de los piranómetros termoelectrónicos existen en uso esencialmente dos tipos. El primero de ellos presenta la superficie detectora totalmente ennegrecida, en contacto térmico con las juntas calientes, mientras que las soldaduras frías lo están con un bloque de metal de gran capacidad térmica, alojado internamente a resguardo de la radiación solar. Estos sensores se caracterizan por contar con dos cúpulas semiesféricas concéntricas y con un plato dispuesto a nivel del detector con el objeto de sombrear la parte inferior del sensor en la que se encuentra el sumidero de calor.

Los más difundidos de este tipo son los fabricados en los Estados Unidos de Norteamérica por la Eppley o en Holanda por la Kipp & Zonen. La estabilidad de ambos oscila dentro del 1 a 1.5% por año (lo que les permite ser utilizados como patrones secundarios) pero debe tenerse en cuenta que su constante de calibración puede variar en general con el ángulo de operación.

El Eppley *PSP (Precision Spectral Pyranometer)*, diseñado originalmente por H. Kimball y H. Hobb, posee una termopila de cobre plateado y constantán con sus juntas calientes pintadas con laca negra de uso óptico de Parson, protegida por dos hemisferios pulidos de precisión de vidrio Schott WG295 (figura 3). Se encuentra además compensado por temperatura para evitar errores por el corrimiento de la referencia fría motivado por la temperatura ambiente.

Figura 3.
Piranómetro Eppley
modelo PSP.



Uno de los modelos más difundidos de la firma holandesa es el *CMP-11*, que puede ser utilizado como piranómetro de precisión y cuya termopila está constituida por cien termocuplas impresas en un substrato cerámico (Figura 4); las juntas calientes están recubiertas con negro Velvet de 3M, siendo posible acoplarle un soplador/calentador de aire para impedir depósitos de hielo o nieve (los fabricantes aseguran que este modelo no muestra en su respuesta dependencia con el ángulo de operación).

El segundo tipo de piranómetros termoeléctricos presenta en la mayoría de los modelos el detector pintado de negro y blanco alternativamente, en superficies dispuestas como coronas circulares concéntricas o como estrella o damero. En este tipo de sensores las juntas calientes se encuentran solidarias a las superficies negras y las frías, a las blancas. Los piranómetros más difundidos dentro de este tipo son el modelo *8-48 "Black and White"* de la Eppley (Figura 5), el *CE-180* de la Cimel francesa y el "*Star*" *8101* de la Schenk austríaca.

Tanto el austríaco como el norteamericano poseen un diseño del tipo estrella, estando este último compensado por temperatura como también el francés, que presenta una configuración en coronas. La estabilidad es algo menor (3% en el año) y requieren en consecuencia mayor frecuencia de calibración.

Figura 4.
Piranómetro modelo
CMP-11
(foto cortesía
Kipp & Zonen)

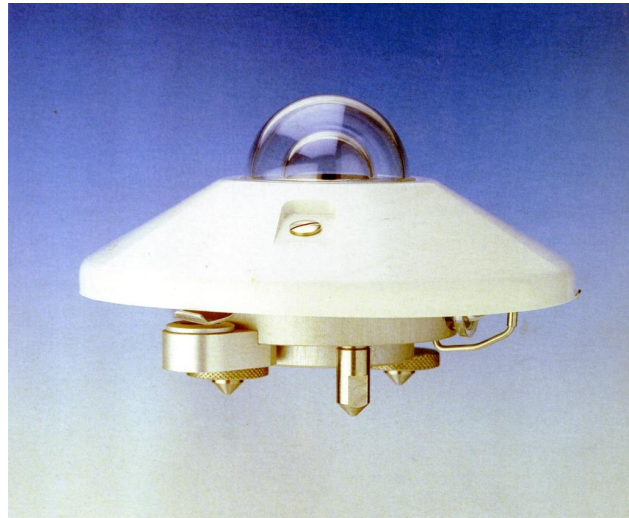


Figura 5 (izq).
Piranómetro
Eppley modelo
8-48 "Black
and White".



Figura 6 (der).
Piranómetro
modelo CM-3
(foto cortesía
Kipp & Zonen)



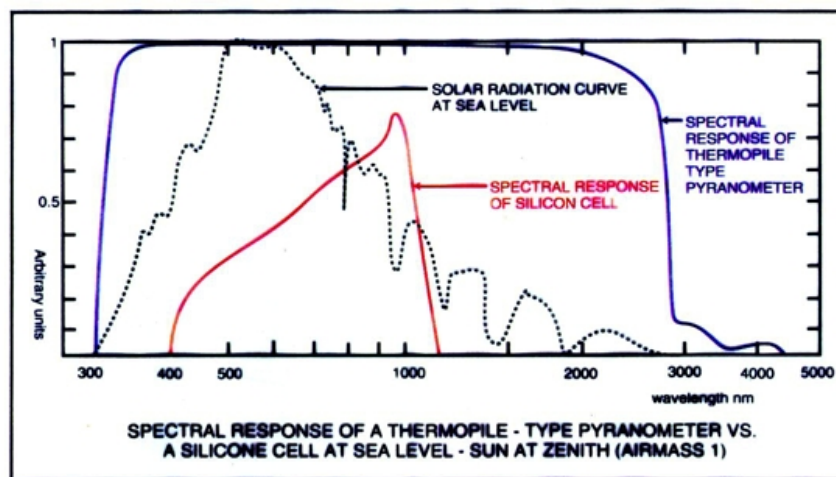
Existe en el mercado un nuevo piranómetro de segunda clase denominado CMP-3, ofrecido por Kipp & Zonen (cuya imagen puede verse en la Figura 6), que presenta un nuevo diseño con una superficie sensora sólo ennegrecida y que se ofrece a un precio bastante inferior a los otros. Aumentando el espesor de la cúpula de cuarzo se ha logrado bajar la dependencia con la temperatura ambiente.

Operando en una red acoplados a equipos electrónicos de integración, cumpliéndose con todos los recaudos de mantenimiento y con una calibración periódica, el error cuadrático medio de los valores diarios de los piranómetros de segunda clase difícilmente baja del 5%.

Solarímetros fotovoltaicos

Como consecuencia de los primeros trabajos llevados a cabo en 1962 en el Yellot Solar Energy Laboratory de los EEUU de Norteamérica con el fin de determinar la factibilidad de utilizar celdas comerciales fotovoltaicas de silicio en sensores de radiación se hicieron muchas experiencias con el fin de estudiar los efectos de la variación espectral de la radiación solar sobre la respuesta de los mismos. Los radiómetros fotovoltaicos poseen como elemento sensible un semiconductor, como por ejemplo un fotodiodo o una oblea de silicio (en general de tipo monocristalino), que al recibir un flujo radiante genera una corriente proporcional a la irradiancia recibida la que, al circular por una resistencia de carga, genera una diferencia de potencial; esta respuesta no es plana sino selectiva, dependiendo de la longitud de onda de la radiación, lo cual limita su uso a la determinación de valores diarios de la irradiancia global una vez que se ha comparado estadísticamente su comportamiento con el de un piranómetro termoelectrico y determinado su constante media. En la Figura 7 puede verse la respuesta de un piranómetro y la de un solarímetro fotovoltaico en función de la longitud de onda de la radiación.

Figura 7. Respuesta espectral de un piranómetro y de un solarímetro fotovoltaico en función de la longitud de onda; se incluye como referencia la irradiancia espectral a nivel del mar el Sol ubicado en el cenit.



En la Figura 8 puede verse el sensor fotovoltaico Rho-Sigma modelo 1008, fabricado en los EEUU y modificado por el grupo de la Red Solarimétrica de la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales (CNIE) de Argentina, que integró buena parte de sus estaciones de medición.

*Figura 8.
Solarímetro
fotovoltaico
Rho-Sigma
modelo 1008.*



La reflectividad de las obleas puede solucionarse mediante la oxidación de su superficie o la cobertura con un elemento difusor, lo que asemeja su comportamiento al de los piranómetros termoeléctricos en lo que se refiere a su respuesta a la ley del coseno. Otro de los inconvenientes de estos piranómetros es la dependencia con la temperatura que presenta la respuesta eléctrica del semiconductor que hace las veces de elemento sensible, pero este problema se soluciona mediante la utilización de un circuito eléctrico compensador (esencialmente, un termistor).

De todos modos su bajo costo, su salida eléctrica elevada (un orden superior a la de los termoeléctricos) y su respuesta casi instantánea los hace particularmente útiles para integrar una red de bajo costo como piranómetros secundarios para interpolar estaciones termoeléctricas o para la detección de pequeñas fluctuaciones rápidas.

Los errores determinados en las integrales diarias no serían menores al 5 o 6%, si bien su comportamiento a través del tiempo no ha sido suficientemente estudiado ni se ha establecido todavía ninguna dependencia del error con la época del año, el estado del cielo o algún otro parámetro.

■ DESCRIPCIÓN DE LAS CARTAS DE IRRADIACIÓN SOLAR GLOBAL Y DE HELIOFANÍA EFECTIVA (HORAS DE BRILLO SOLAR) DE LA REPUBLICA ARGENTINA

Cartas de irradiación solar global

El objetivo planteado para el presente trabajo fue actualizar la evaluación a nivel de superficie del campo de la radiación solar global en Argentina, procesando para ello toda la información disponible en el país hasta el año 1997, proveniente ya sea de mediciones directas del parámetro (28 estaciones piranométricas) o de estimaciones obtenidas a partir de información meteorológica terrestre (24 estaciones heliográficas) o satelital, complementada con la de los países vecinos, evaluándose la precisión y validez de los resultados obtenidos.

Para ello, se estudió la variabilidad espacial de los datos medidos por la Red Solarimétrica (equipada con piranómetros fotovoltaicos Rho Sigma Modelo 1008 y con piranómetros termoelectricos Eppley "Black and White"), tanto para una hipótesis de campo isotrópico cuanto anisotrópico, y la variabilidad espacial de los datos de heliofanía de la Red del Servicio Meteorológico Nacional (medida con heliógrafos de Campbell-Stokes).

Se analizó también la variabilidad temporal de los promedios mensuales de las series de radiación global diaria, evaluándose la cantidad de años necesarios para conocer su "valor verdadero" con un dado nivel de precisión y de significación estadística bajo diferentes supuestos; se determinaron las constantes de regresión de la correlación lineal existente entre los promedios de los dos parámetros antes mencionados para las zonas de escasa cobertura, teniendo en cuenta la posible importancia de su variabilidad de un mes a otro; se investigó la posible influencia del Cambio Climático Global (CCG) sobre los valores a utilizar, descartándose a un nivel de significación estadística del 5%, y se analizó la incerteza introducida por la instrumentación luego de 15 años sin calibración para así poder trazar las cartas mensuales del campo de radiación en el territorio nacional con un nivel de incerteza conocido.

Se actualizaron los valores mensuales de la radiación solar global diaria recibida sobre un plano horizontal, expresándose en unidades convenientes para el dimensionamiento de sistemas de conversión fotovoltaica, esto es, kWh/m²-día (vale la pena recordar que 1 kWh equivale a 3,6 MJ) y se volcaron en 12 mapas del país, trazándose las isóneas correspondientes a cada mes y al año espaciadas 0.5 kWh/m²-día para evitar que, con el nivel de incerteza fijado por las mediciones, extrapolaciones y correlaciones con la heliofanía (10%), ocurriera superposición en los meses de mayor radiación. Para hacerlo, se tuvieron en cuenta dichos valores medidos, los estimados en base a heliofanía, la diversidad fitogeográfica, el nivel de precipitaciones, los datos satelitales y los de los países vecinos.

Puede considerarse que las cartas mensuales de la distribución espacial del promedio de la irradiación solar global diaria recibida sobre un plano horizontal responden adecuadamente a los datos disponibles en Argentina, dentro de las condiciones que se impusieron en la metodología, siendo compatibles con el mejor nivel del estado del conocimiento del recurso en esta parte del continente, no superando una incerteza del 10%.

Cartas de heliofanía efectiva (horas de brillo solar)

El Servicio Meteorológico Nacional cuenta en su Banco de Datos con información proveniente de 197 estaciones en las cuales se ha medido la heliofanía diaria, número que supera en mucho al de aquéllas en las que alguna vez se midió la irradiación global. Cabe acotar que, para completar la base de datos con la que se elaboraron las cartas de Argentina a las que se hizo referencia en el párrafo anterior, se utilizó parte de esa información a fin de estimar los valores medios de la irradiación global a partir de correlaciones con la heliofanía relativa.

Con la intención de tratar de mejorar la resolución espacial de las cartas mencionadas se encaró el análisis de la distribución de la heliofanía, tanto efectiva cuanto relativa, utilizando técnicas geoestadísticas ("kriging") para interpolar sus valores medios mensuales. Para asegurar la representatividad de los promedios para la mayoría de las estaciones, dentro de la incerteza de la medición, se utilizaron series con más de 30 años de datos, descartándose la existencia de tendencias temporales con un nivel de significación del 5%, con unas pocas excepciones en la zona litoral norte de la Pampa Húmeda.

Esto llevó a que se emplearan valores históricos de 131 estaciones de Argentina, 16 de Brasil, 7 de Paraguay y 23 del sur de Chile; la información considerada de estos últimos países corresponde a ubicaciones confiables cercanas a la frontera del país, las que fueron seleccionadas para dar continuidad a las isóneas de heliofanía más allá de los límites políticos.

La zona del Noroeste Argentino fue analizada con especial cuidado, debido a que existen en ella mayormente registros de estaciones situadas a poca altura respecto al nivel del mar. Sin embargo esta región presenta altitudes importantes en vastas áreas, por lo que considerar solamente los datos de las estaciones disponibles puede generar una distorsión en los mapas que los aleje significativamente de la realidad, teniendo además en cuenta que presenta un número de días con bajos valores de nubosidad (menor o igual que 2/10 de cielo cubierto) en invierno (más de 30) y en verano (entre 5 y 20, fuera de la selva tucumano-oranense), menos de 10 mm de lluvia precipitada en julio y entre 50 y 100 mm en enero.

Para intentar salvar este inconveniente se estudió la dependencia de la heliofanía efectiva con la altura durante los meses de enero y julio en la zona; se encontró así que la misma es aproximadamente lineal, obteniéndose las pendientes y las ordenadas al origen de la recta de correlación para los meses analizados, mientras que el promedio anual indica un incremento de más de una hora cada mil metros. Con dichos valores se estimaron promedios de heliofanía efectiva para sitios ubicados a alturas representativas de vastas zonas de la Puna Argentina y Boliviana (para hacer válida su extrapolación, se seleccionaron en general ubicaciones correspondientes a salares de altura), valores que posteriormente fueron incorporados al análisis realizado empleando la metodología geoestadística ya mencionada. El proceso de kriging se realizó sobre los datos de heliofanía relativa con el objeto de remover las tendencias asociadas con la variación de la duración del día con la latitud y el mes, las que fueron luego adicionadas para obtener como resultado final los mapas de heliofanía efectiva.

La razonable correlación encontrada entre las cartas de heliofanía y las de irradiación global indicaría que las estaciones consideradas fueron las suficientes y su ubicación geográfica la adecuada como para representar la variabilidad geográfica y estacional que presenta las horas de brillo solar.

Los mapas obtenidos pueden considerarse como una adecuada representación de la distribución de la heliofanía efectiva en Argentina a lo largo de los meses analizados, representando una valiosa información debido a lo extenso de las series temporales analizadas.



**CARTAS MENSUALES CON LA
DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL
PROMEDIO DE LA IRRADIACIÓN
SOLAR GLOBAL DIARIA SOBRE
UN PLANO HORIZONTAL**

Hugo Grossi Gallegos



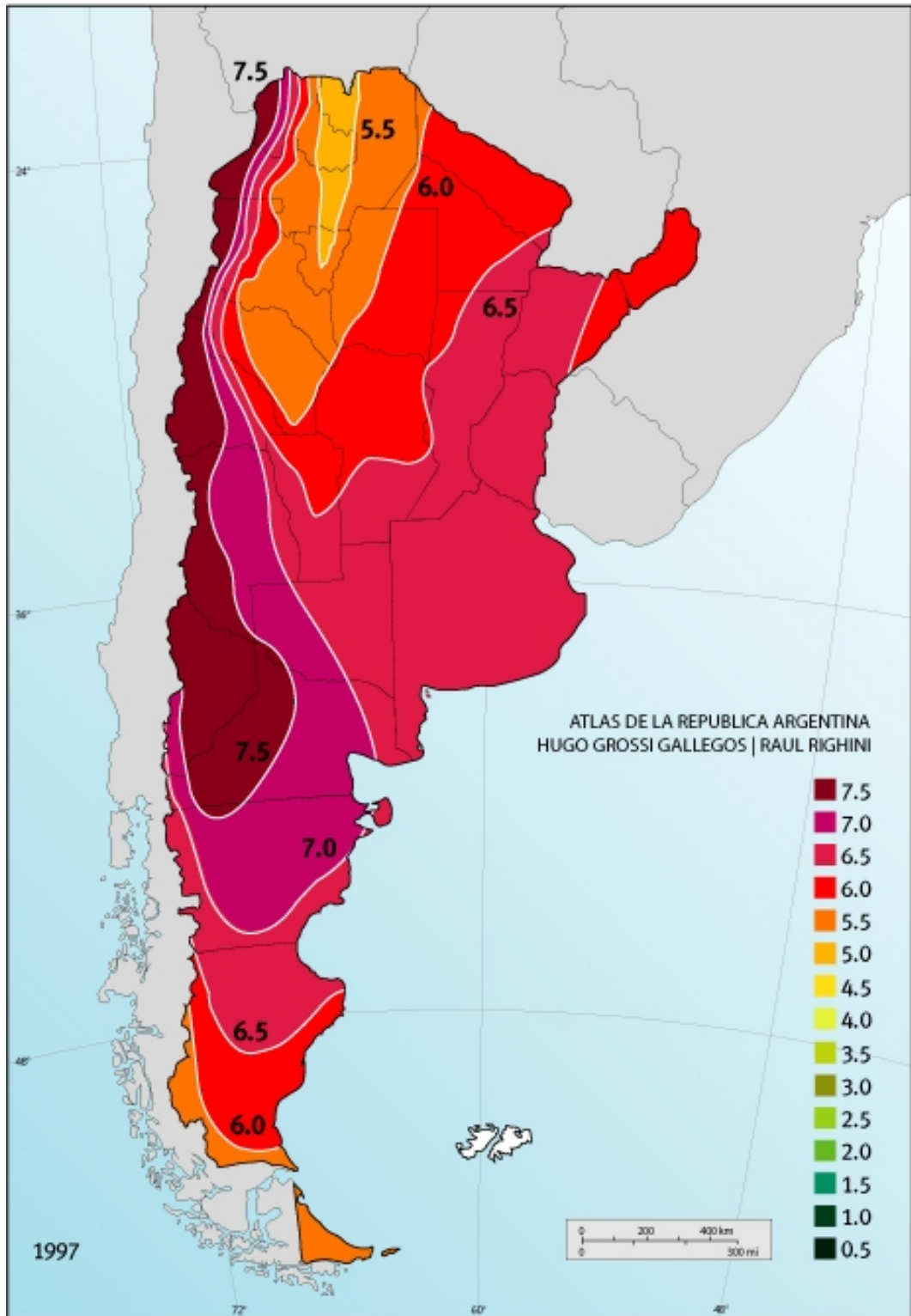


Figura 1. Distribución espacial del promedio de la irradiación solar global diaria (kWh/m^2) correspondiente al mes de enero.

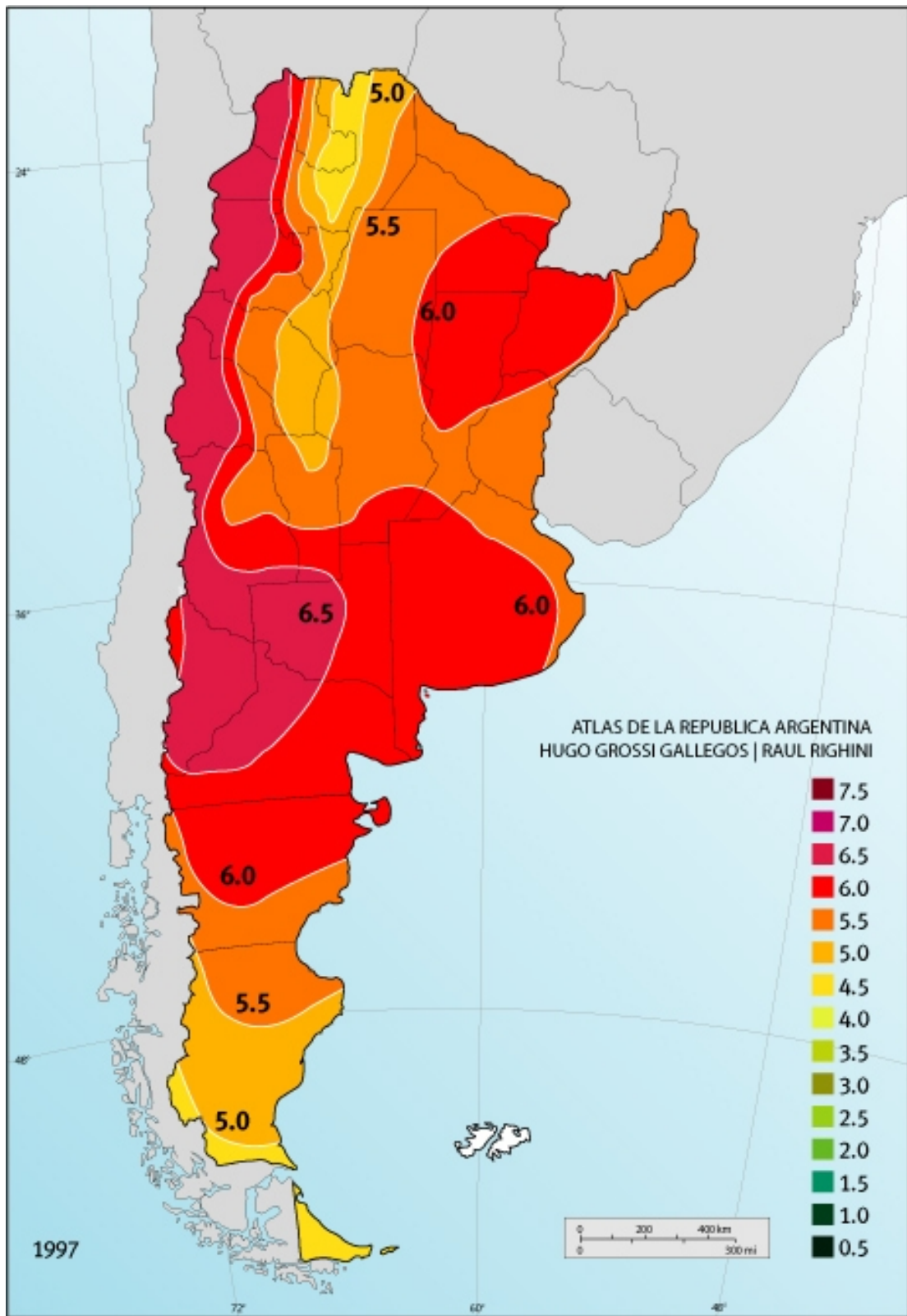


Figura 2. Distribución espacial del promedio de la irradiación solar global diaria (kWh/m^2) correspondiente al mes de febrero.

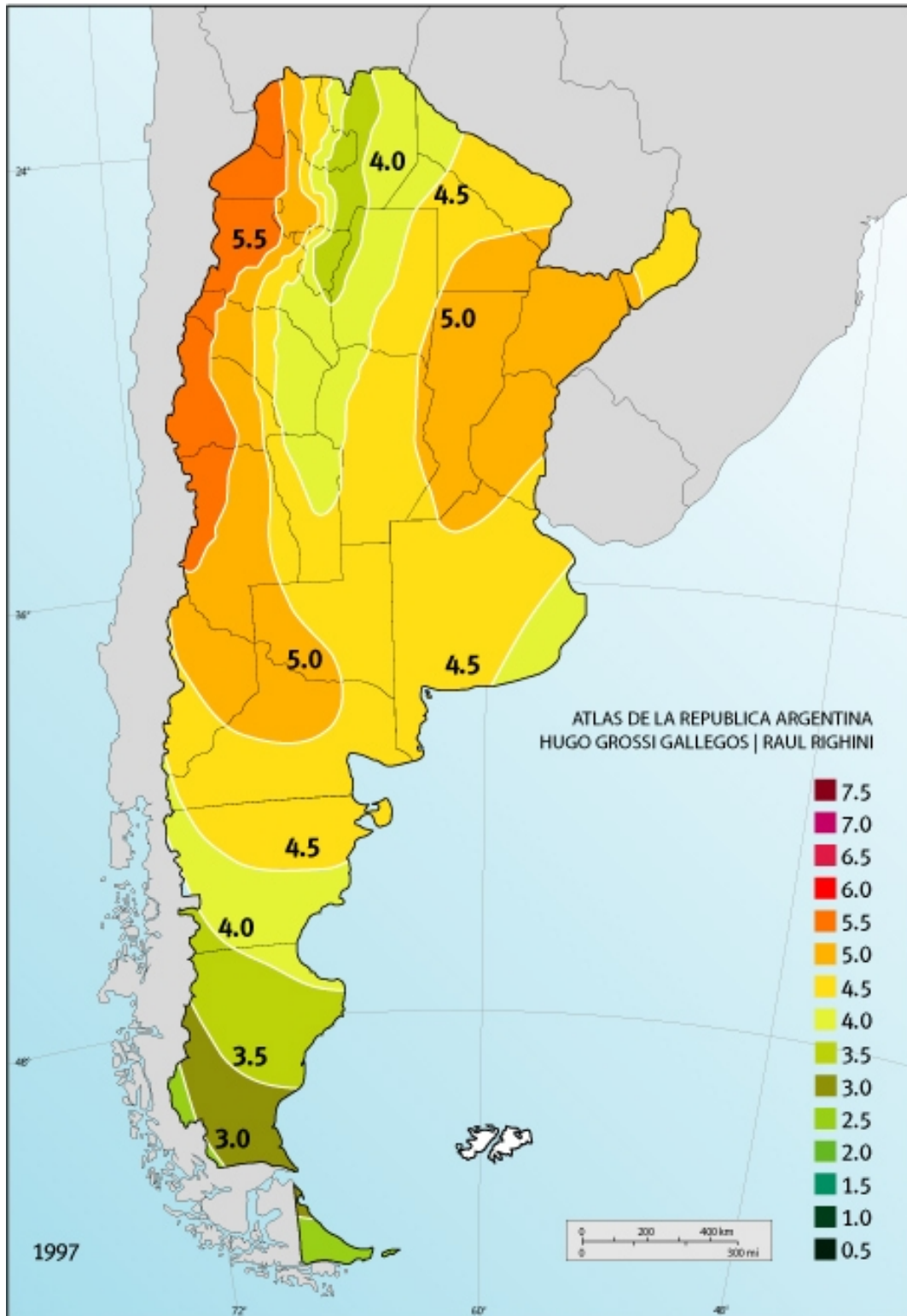


Figura 3. Distribución espacial del promedio de la irradiación solar global diaria (kWh/m^2) correspondiente al mes de marzo.

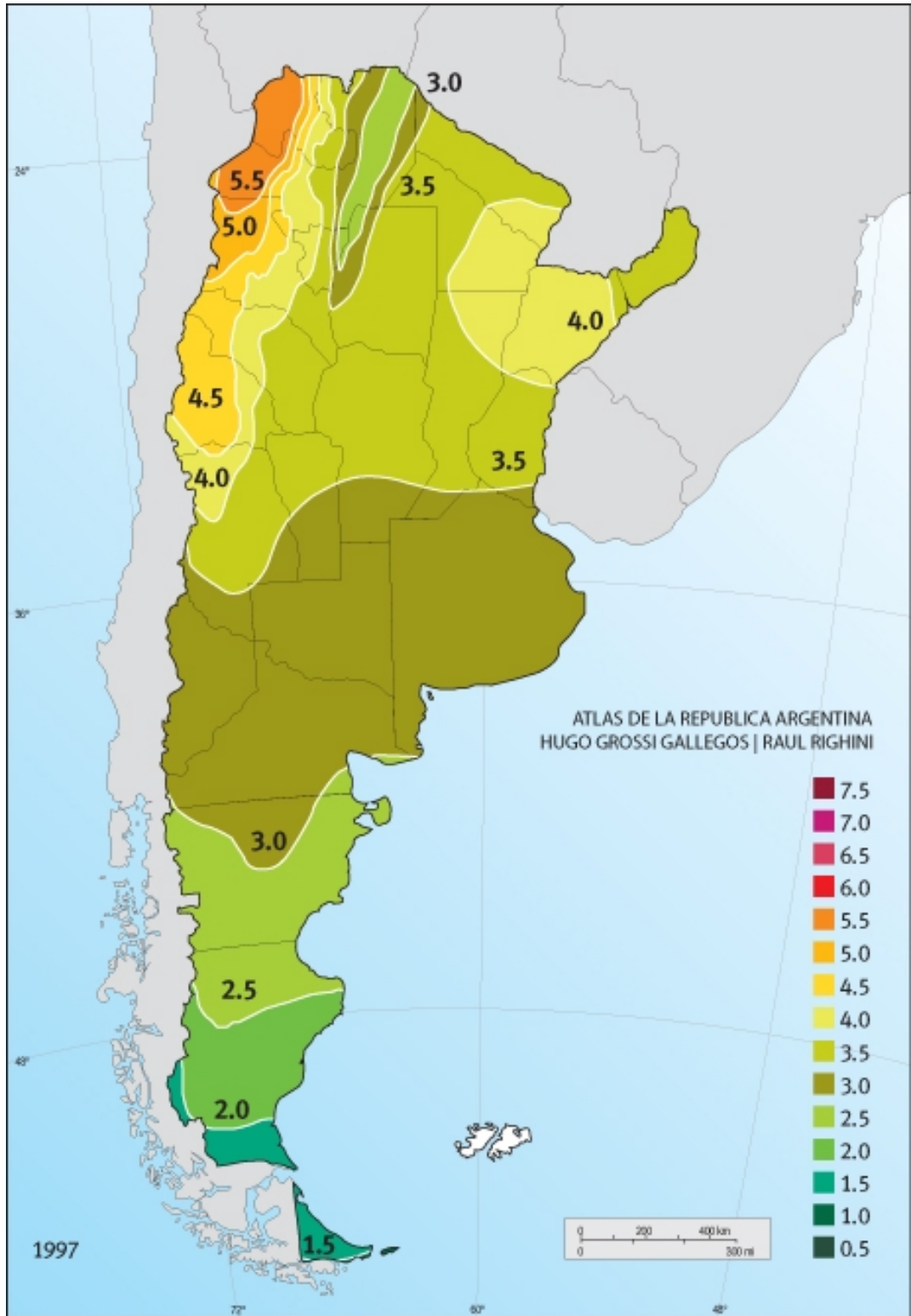


Figura 4. Distribución espacial del promedio de la irradiación solar global diaria (kWh/m²) correspondiente al mes de abril.

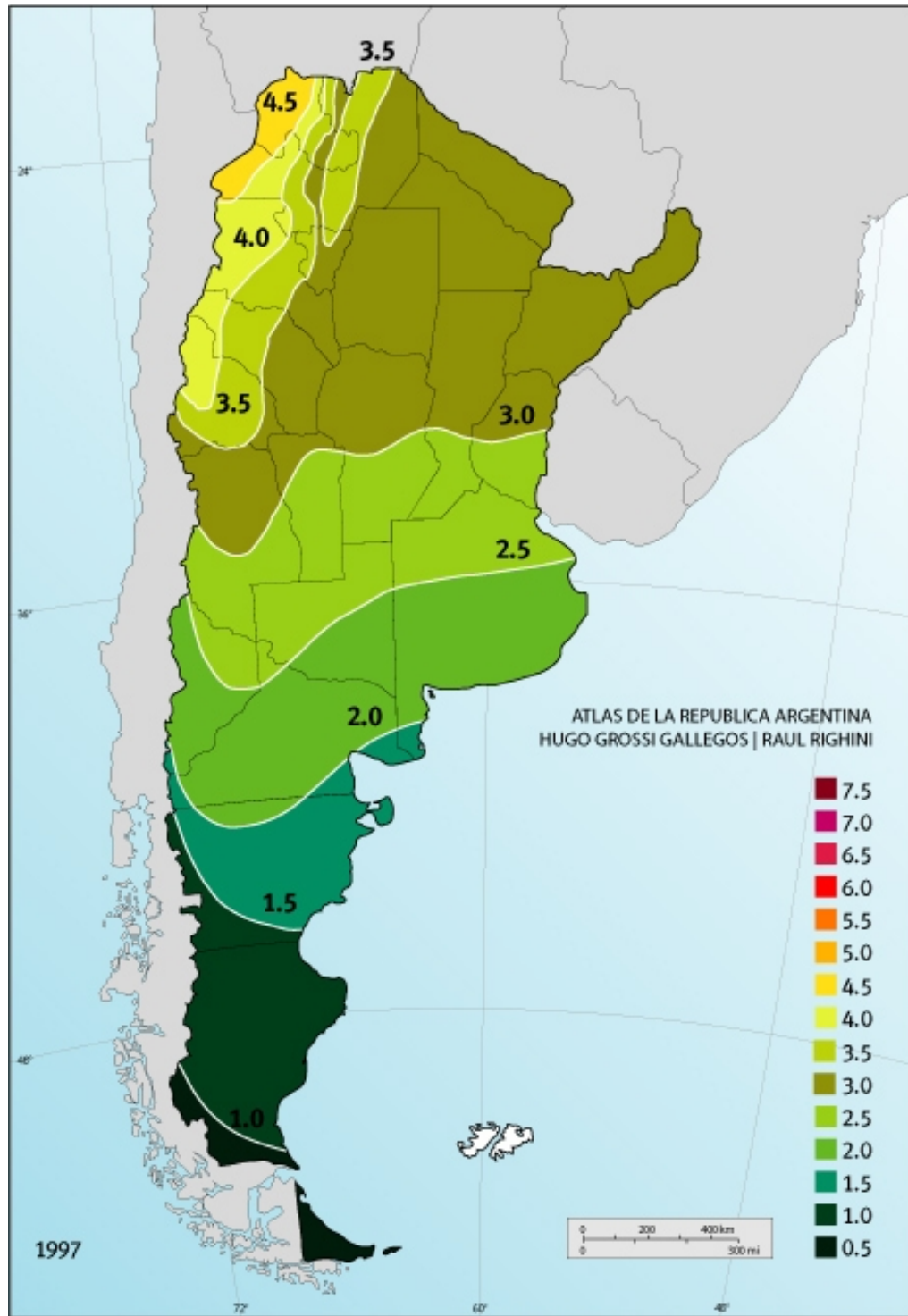


Figura 5. Distribución espacial del promedio de la irradiación solar global diaria (kWh/m^2) correspondiente al mes de mayo.

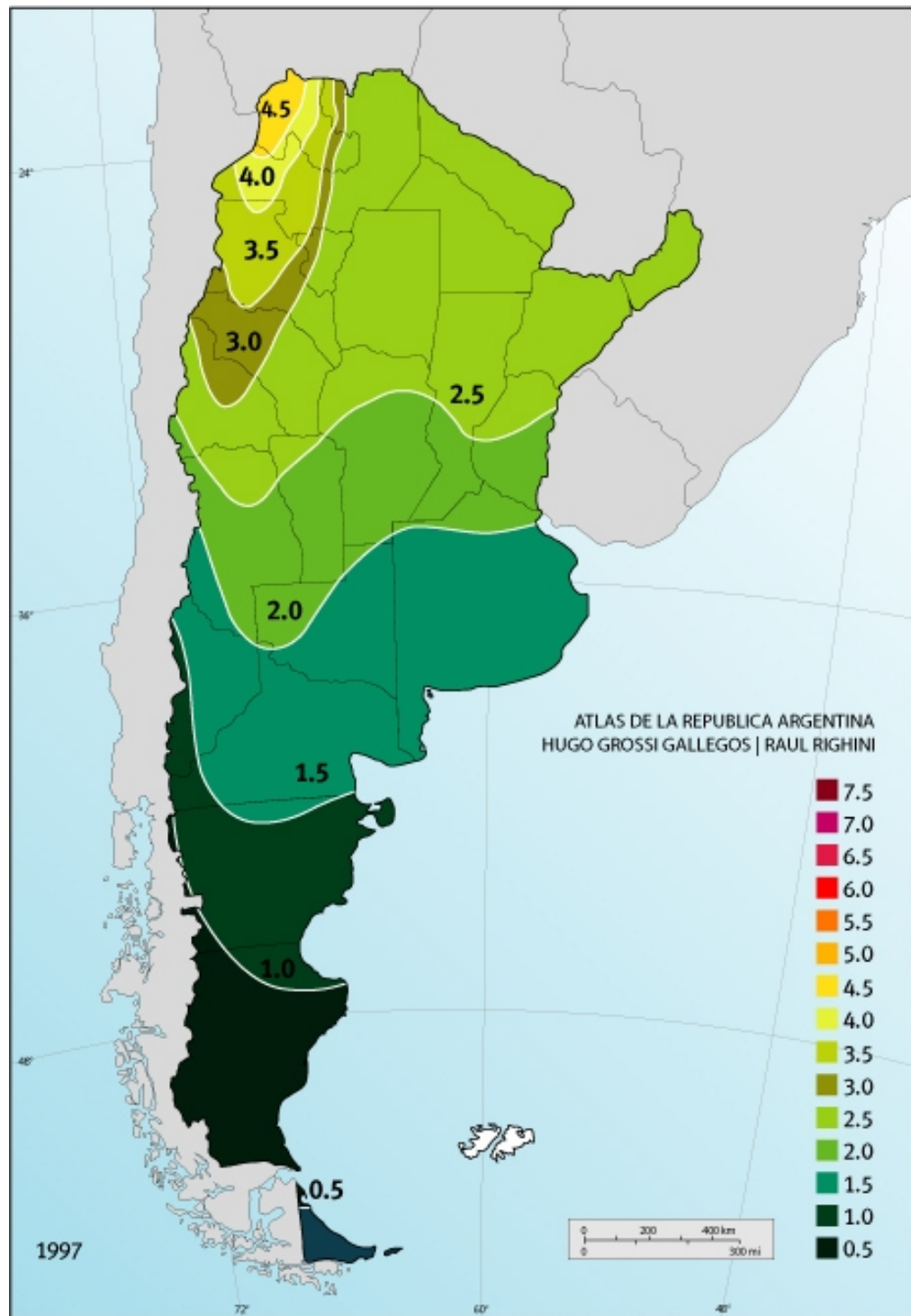


Figura 6. Distribución espacial del promedio de la irradiación solar global diaria (kWh/m^2) correspondiente al mes de junio.

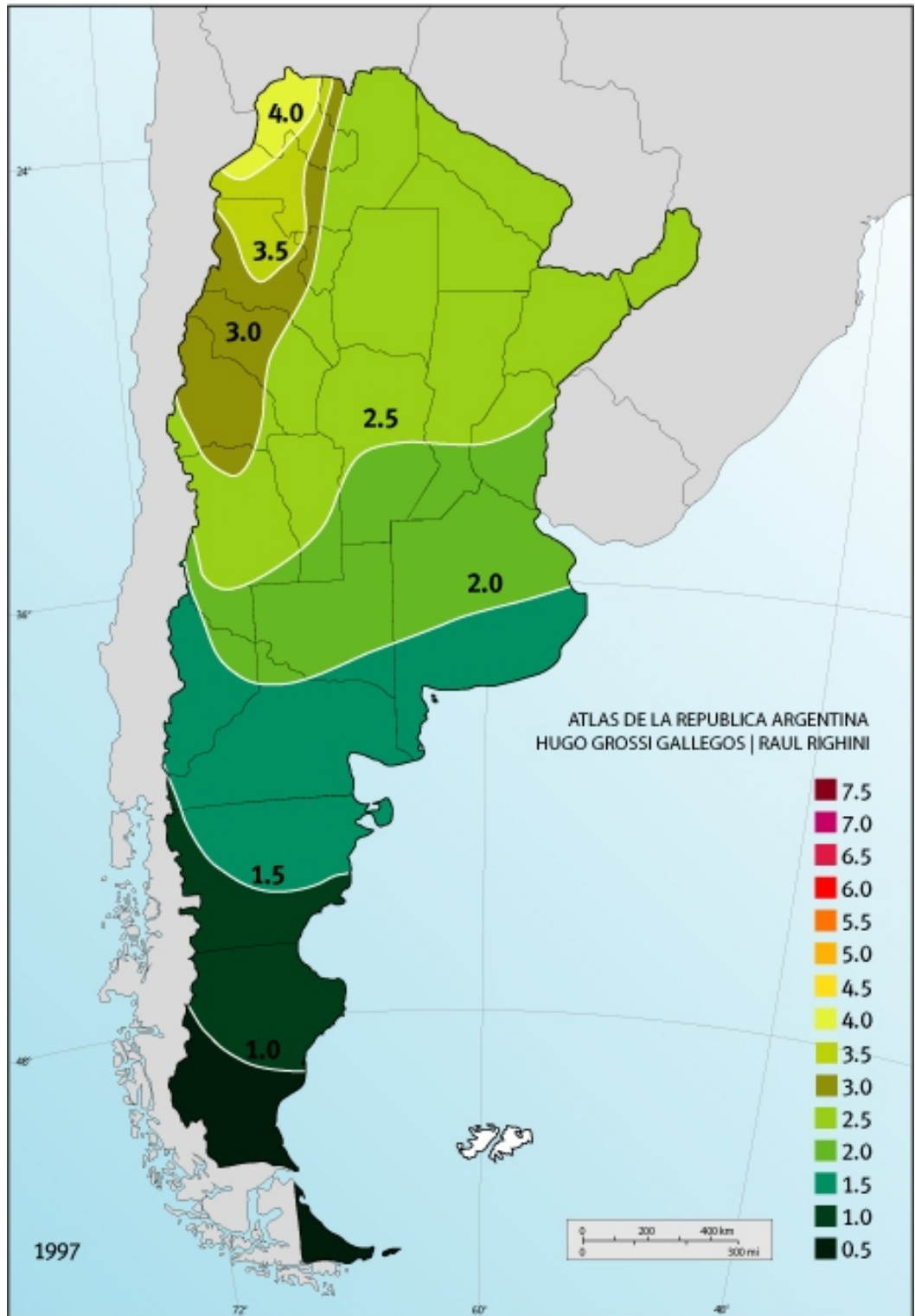


Figura 7. Distribución espacial del promedio de la irradiación solar global diaria (kWh/m^2) correspondiente al mes de julio.

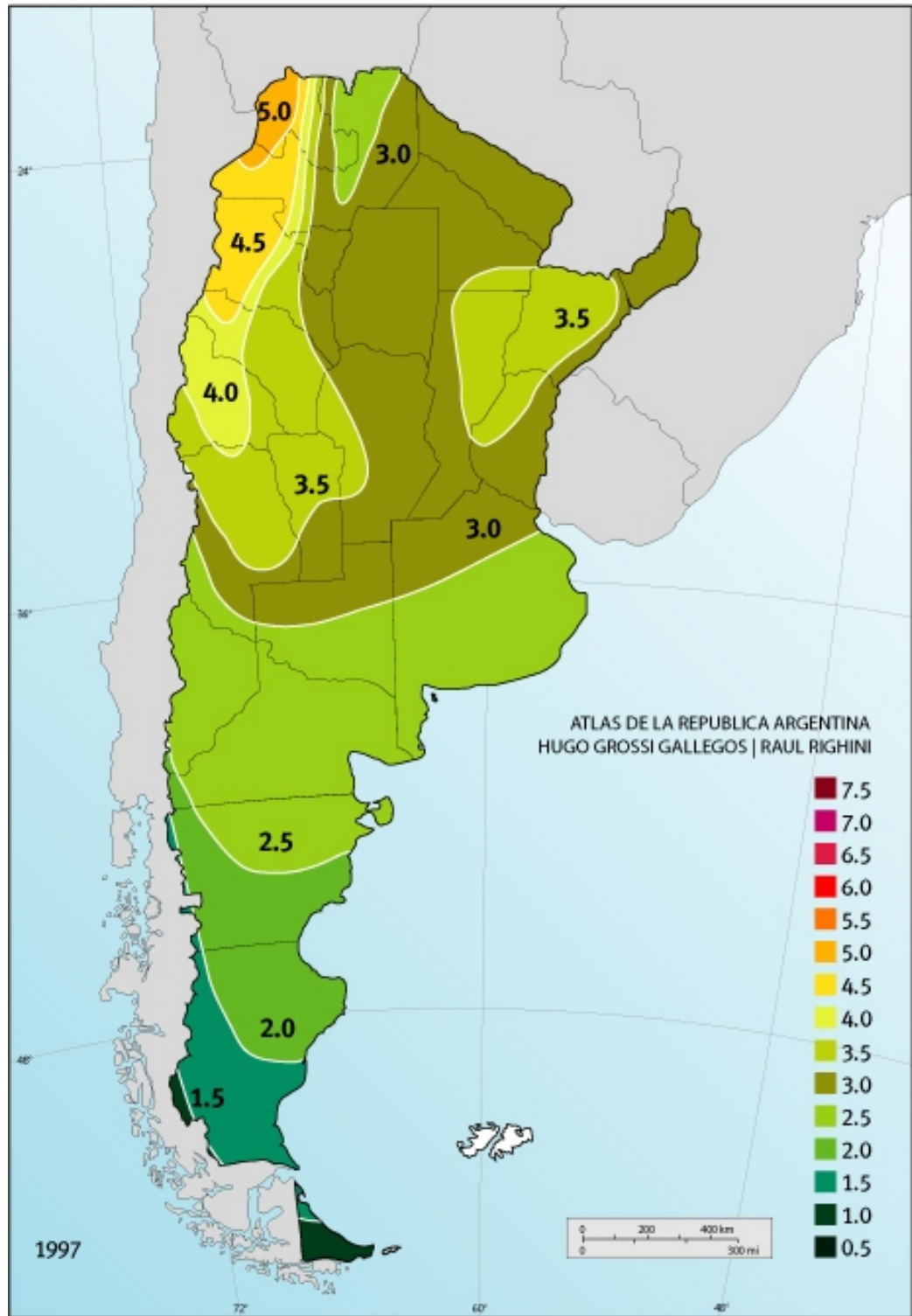


Figura 8. Distribución espacial del promedio de la irradiación solar global diaria (kWh/m^2) correspondiente al mes de agosto.

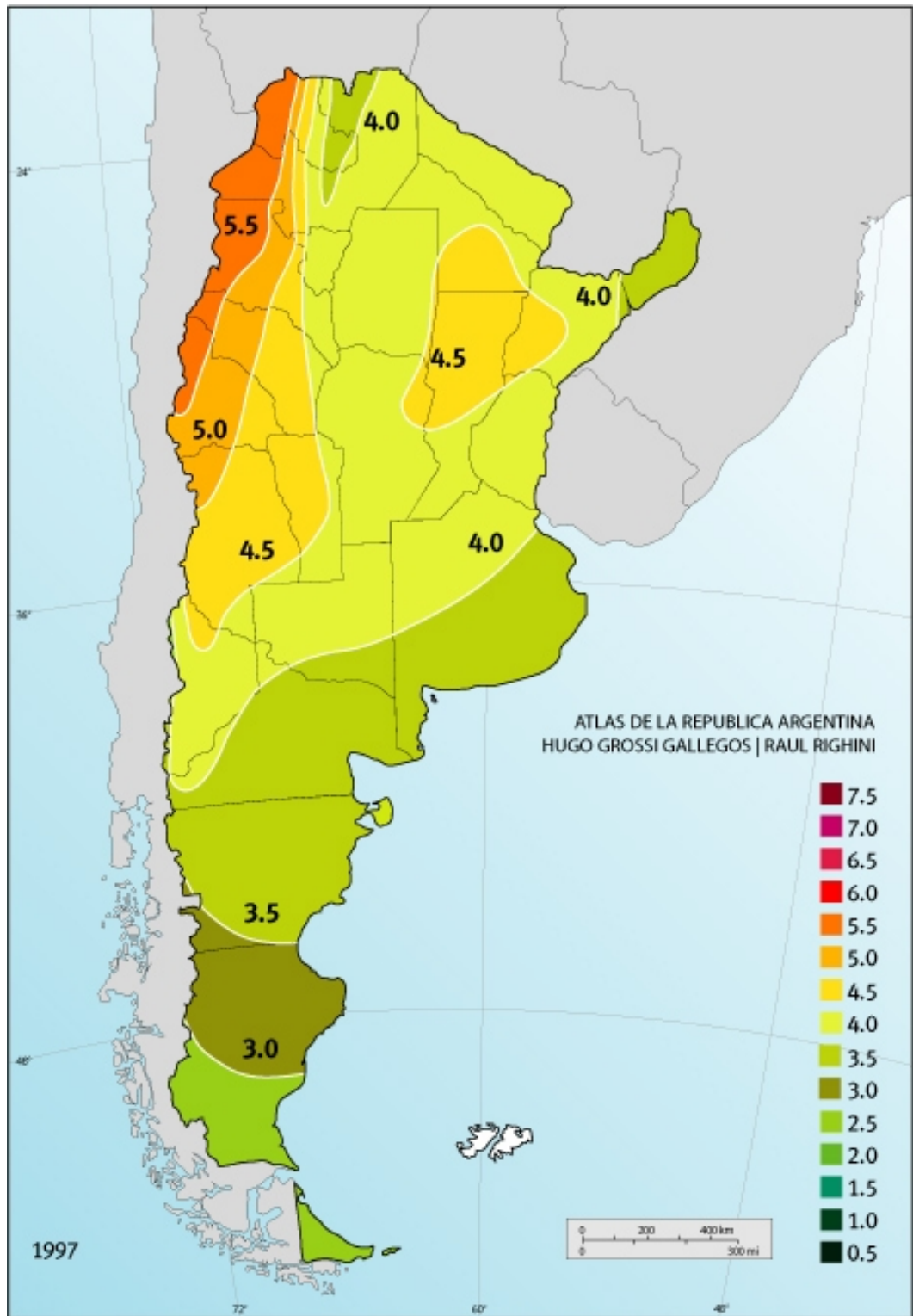


Figura 9. Distribución espacial del promedio de la irradiación solar global diaria (kWh/m^2) correspondiente al mes de septiembre.

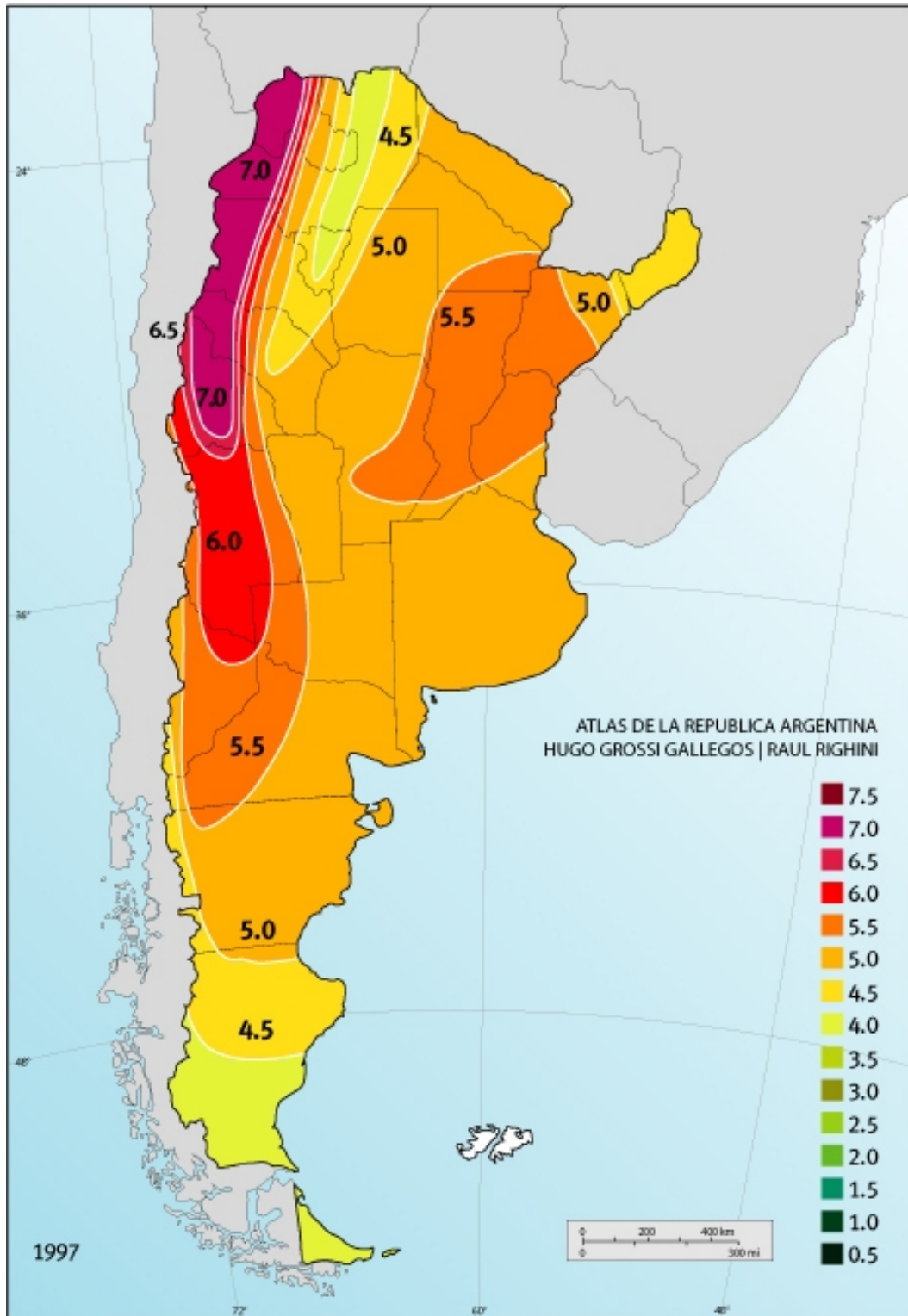


Figura10. Distribución espacial del promedio de la irradiación solar global diaria (kWh/m²) correspondiente al mes de octubre.

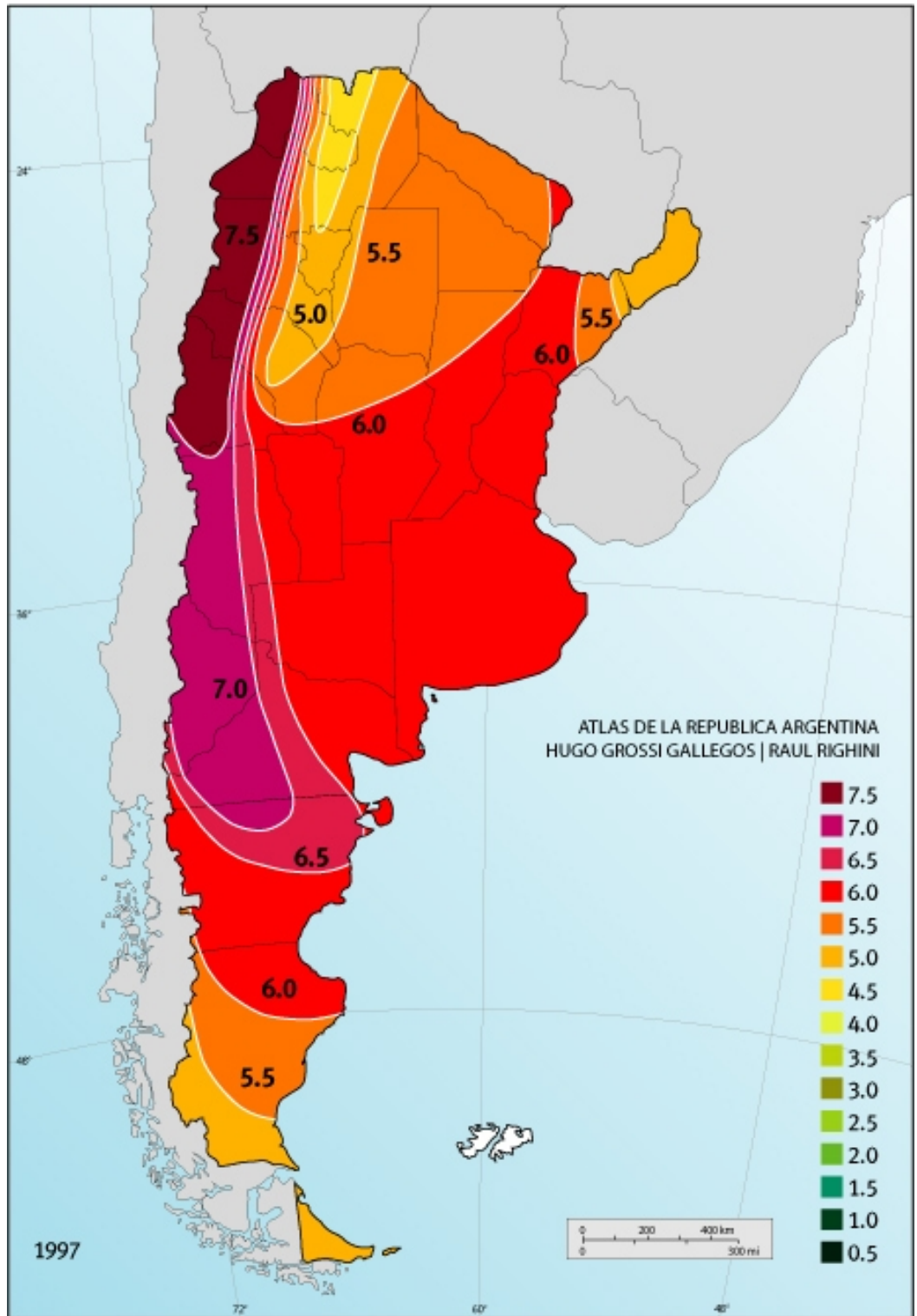


Figura11. Distribución espacial del promedio de la irradiación solar global diaria (kWh/m^2) correspondiente al mes de noviembre.

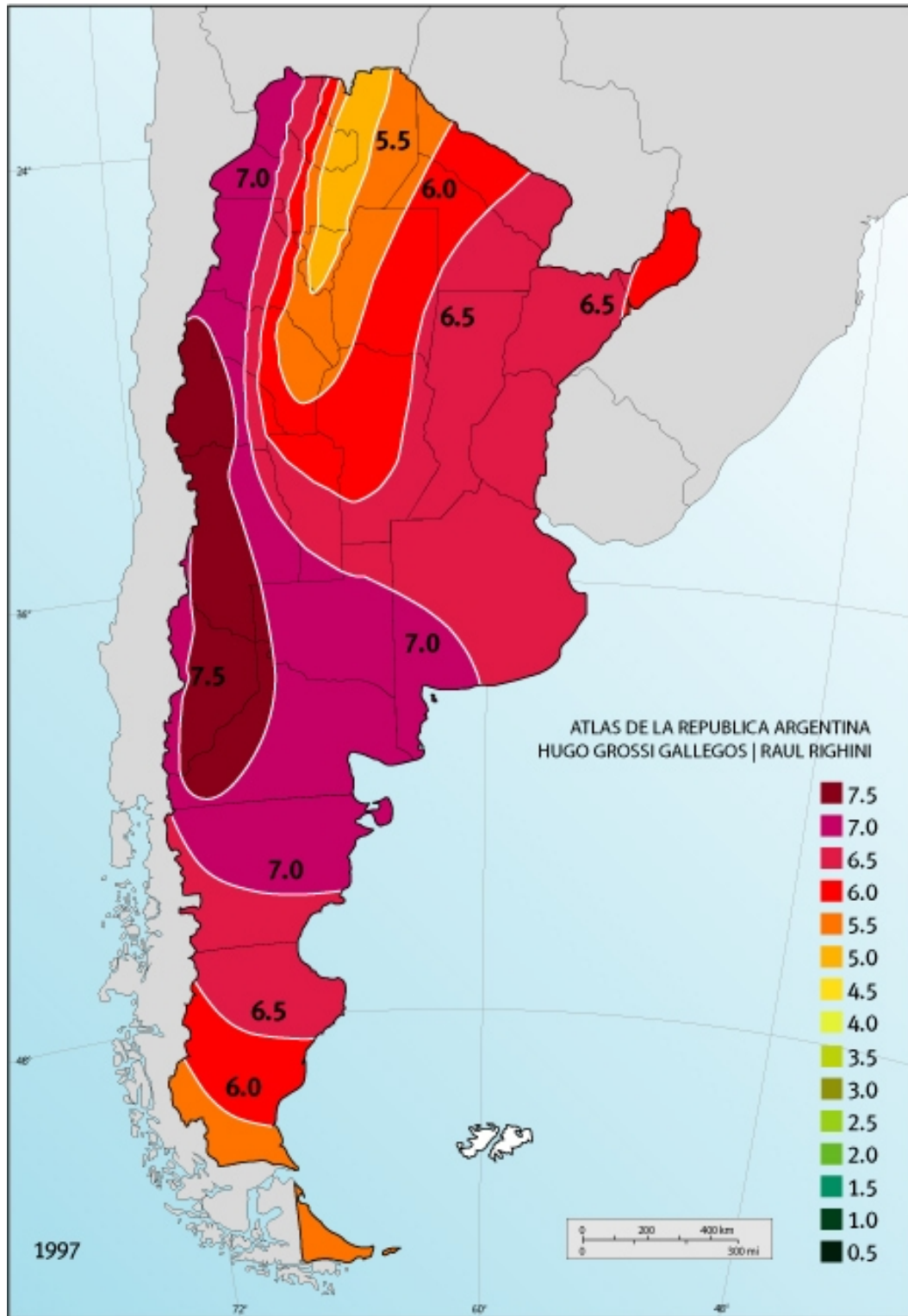


Figura12. Distribución espacial del promedio de la irradiación solar global diaria (kWh/m^2) correspondiente al mes de diciembre.



**CARTAS MENSUALES CON LA
DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL
PROMEDIO DE LA HELIOFANÍA
EFECTIVA DIARIA**

Raúl Righini



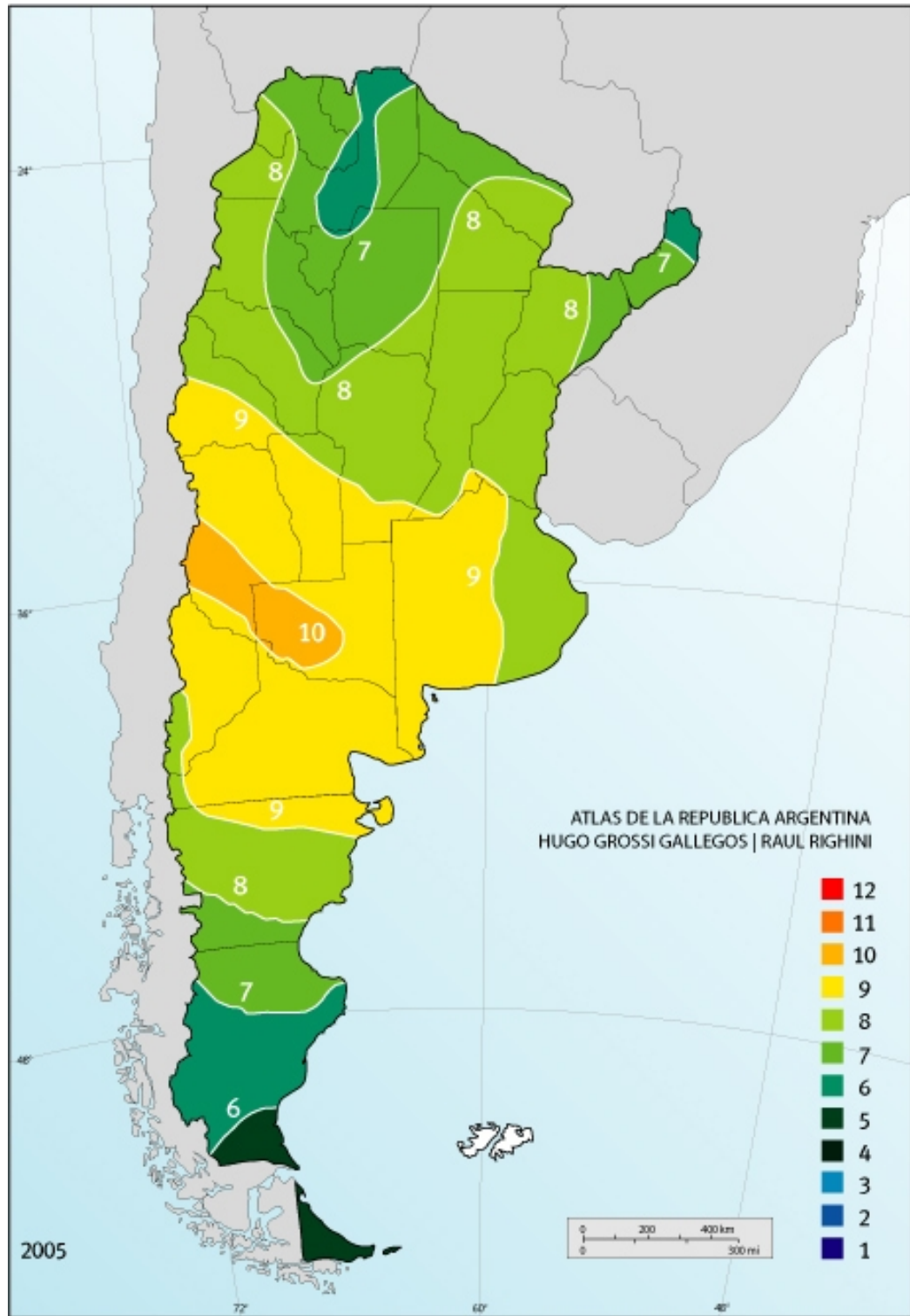


Figura 13. Distribución espacial del promedio de la heliofanía efectiva (horas) correspondiente al mes de enero.

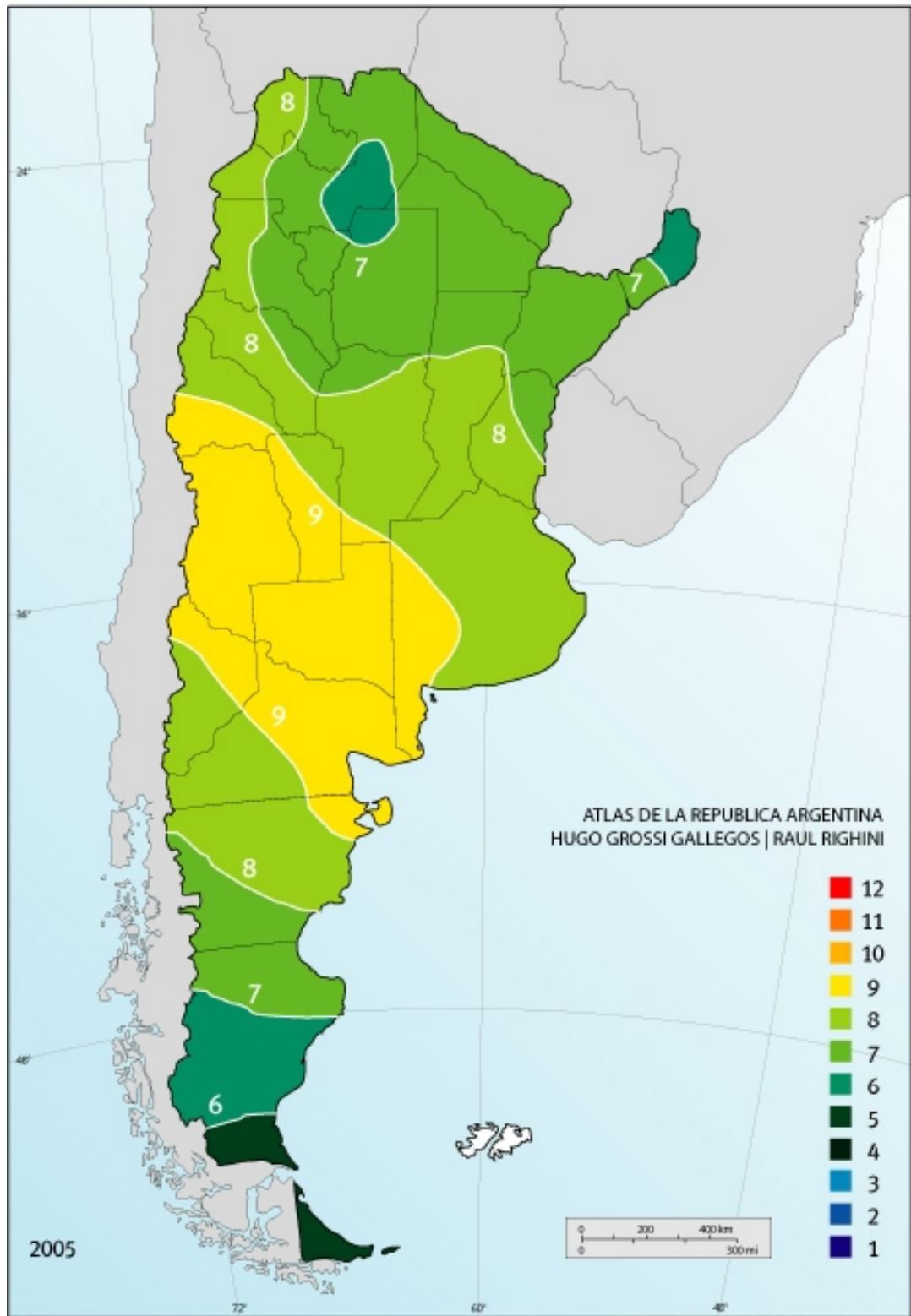


Figura 14. Distribución espacial del promedio de la heliofanía efectiva (horas) correspondiente al mes de febrero.

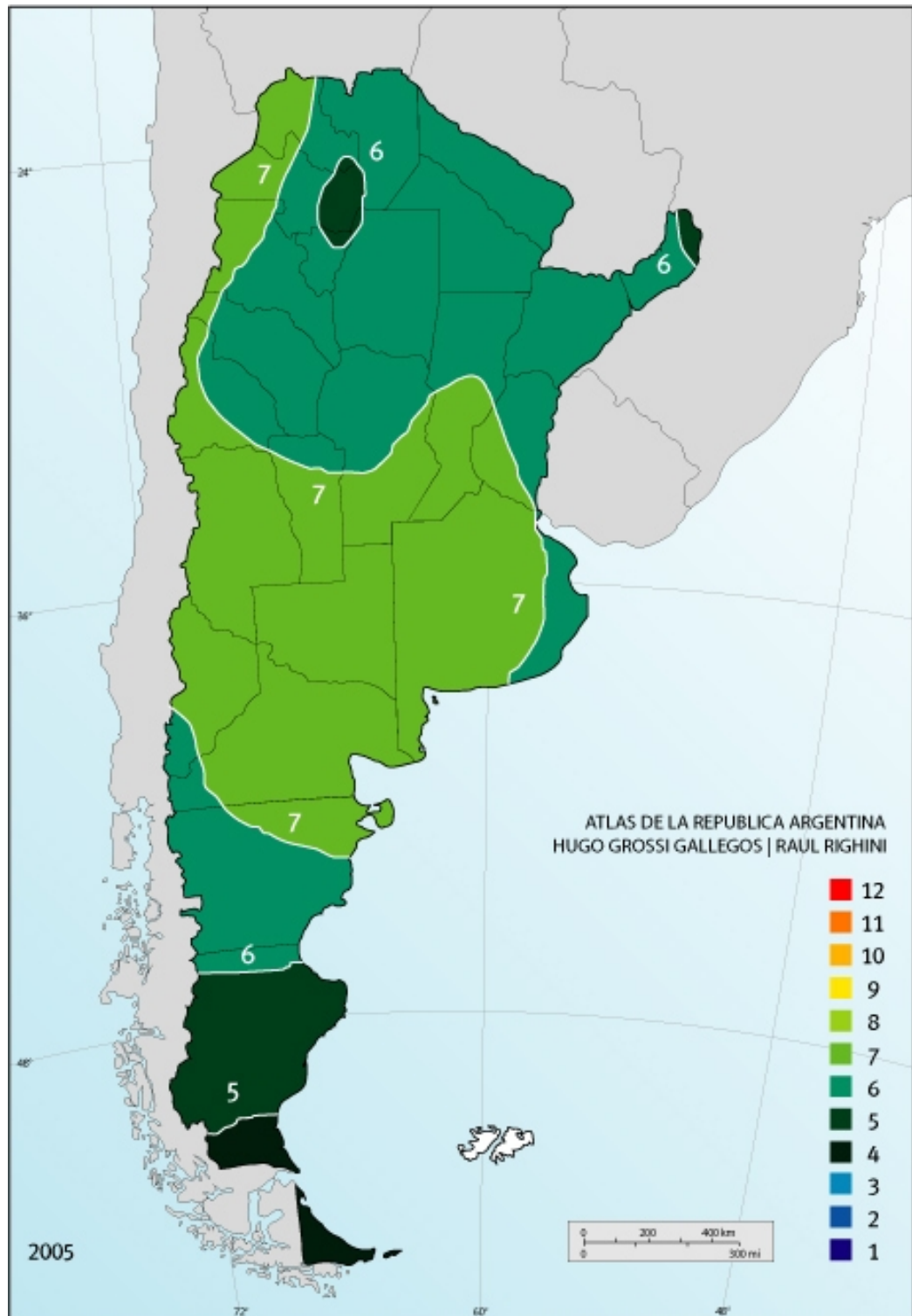


Figura 15. Distribución espacial del promedio de la heliofanía efectiva (horas) correspondiente al mes de marzo.

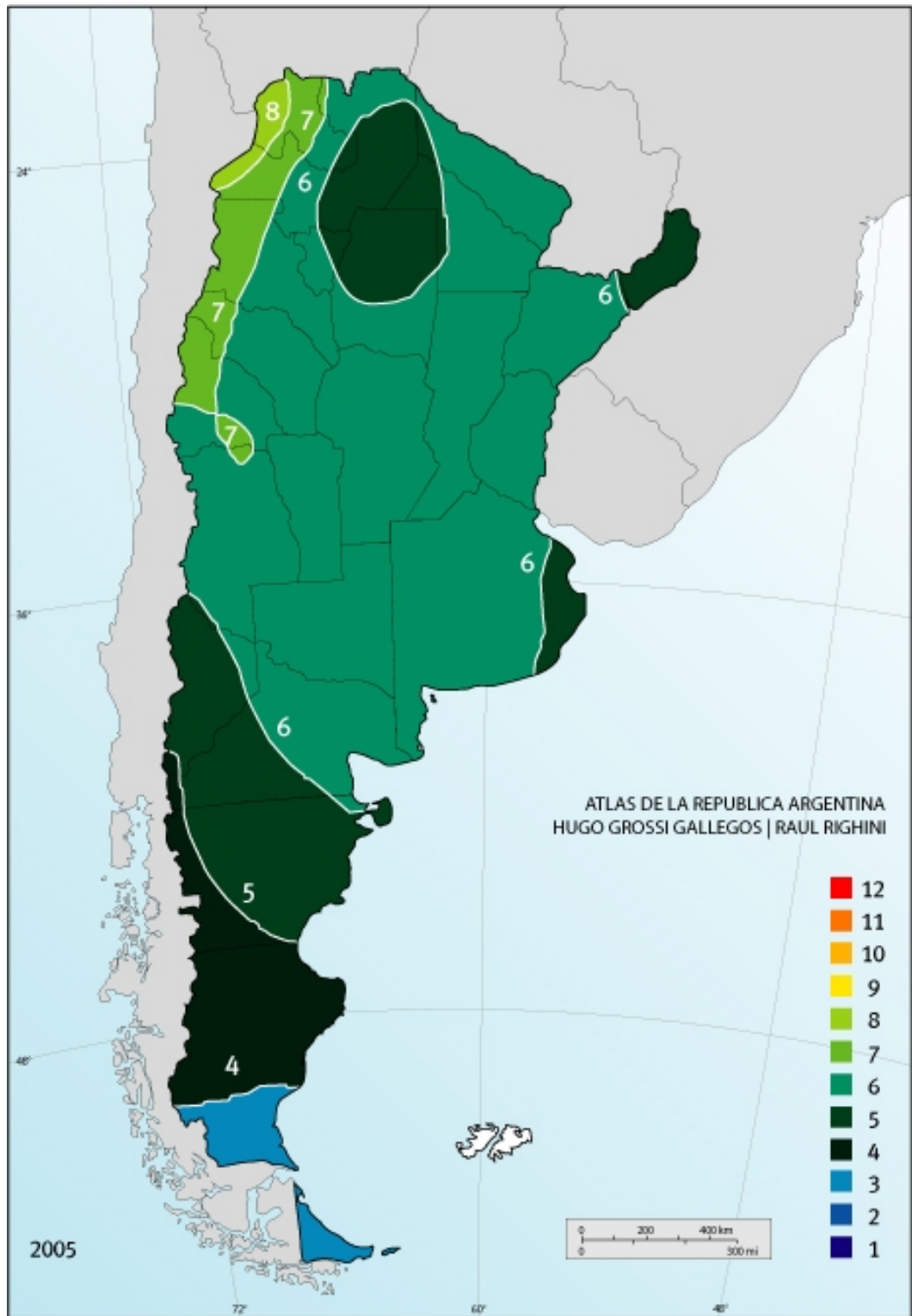


Figura 16. Distribución espacial del promedio de la heliofanía efectiva (horas) correspondiente al mes de abril.

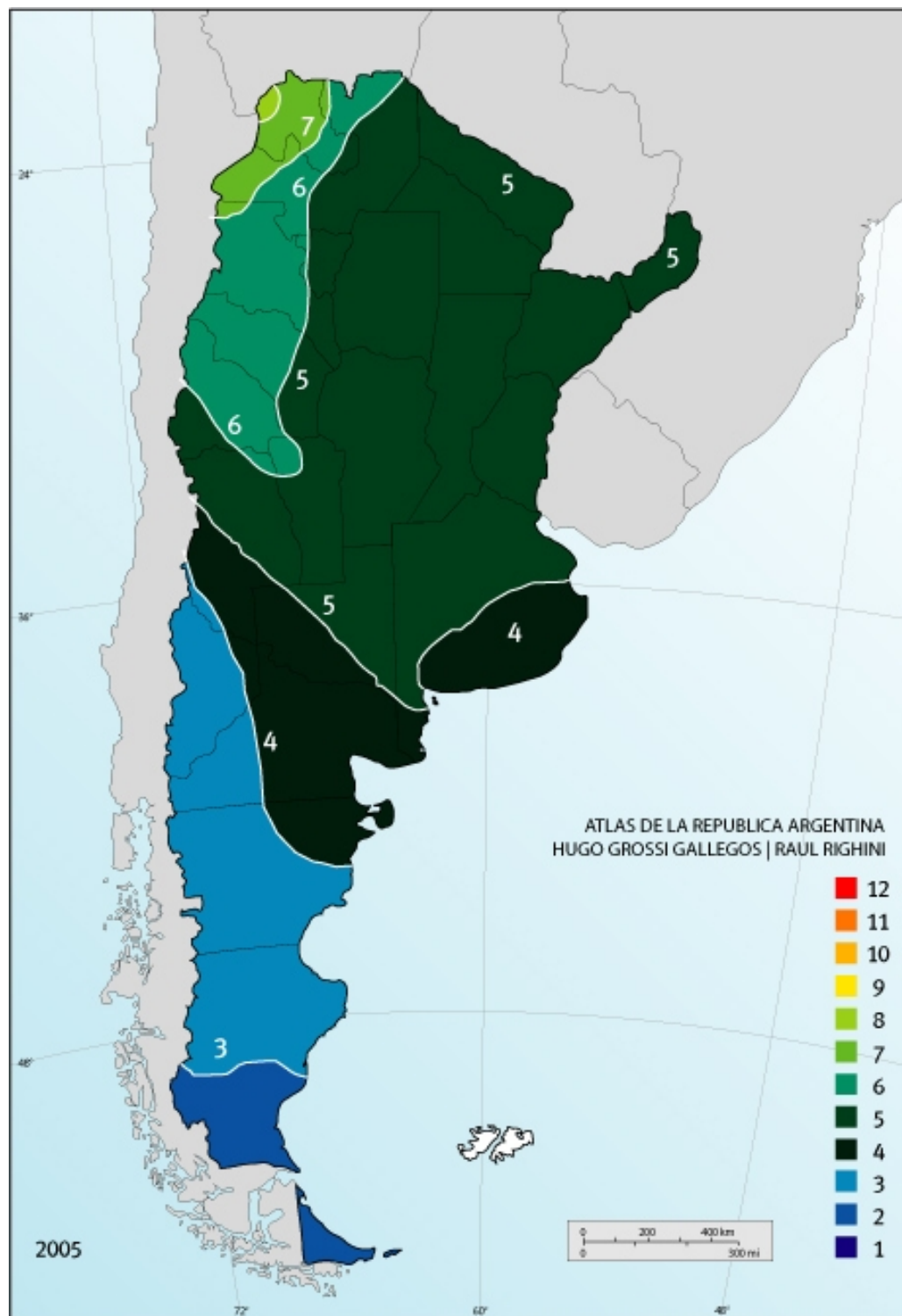


Figura 17. Distribución espacial del promedio de la heliofanía efectiva (horas) correspondiente al mes de mayo.

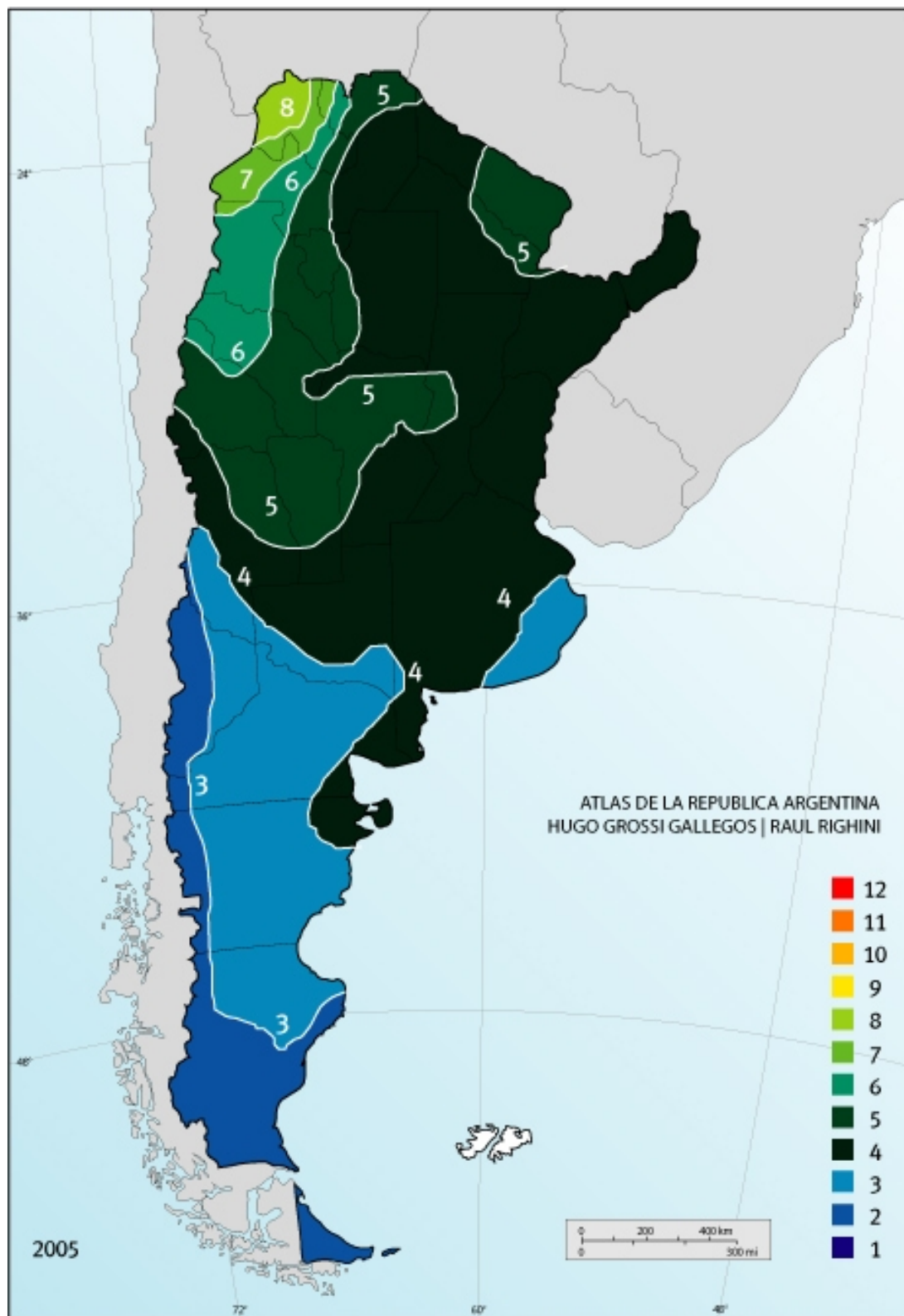


Figura 18. Distribución espacial del promedio de la heliofanía efectiva (horas) correspondiente al mes de junio.

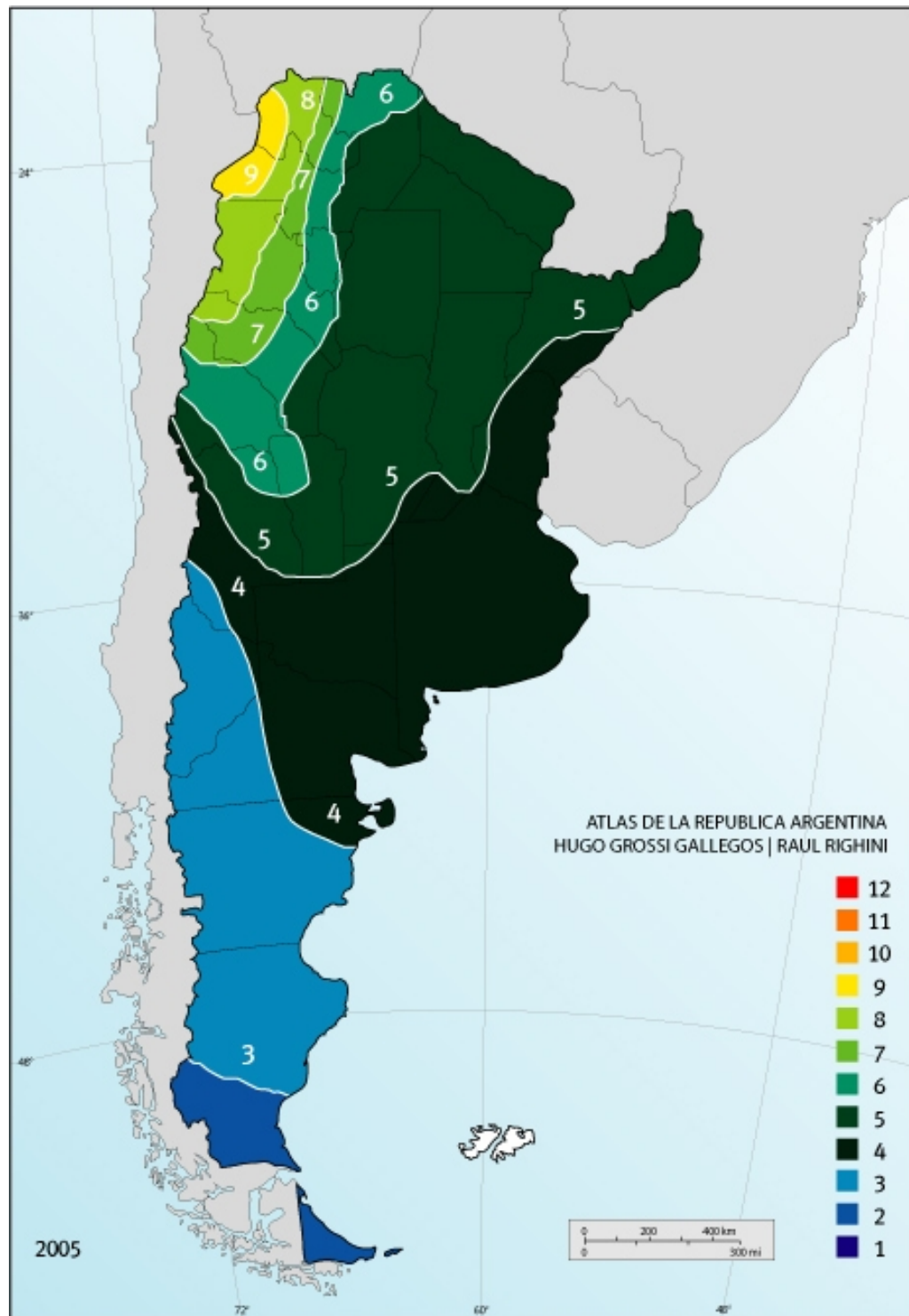


Figura 19. Distribución espacial del promedio de la heliofanía efectiva (horas) correspondiente al mes de julio.

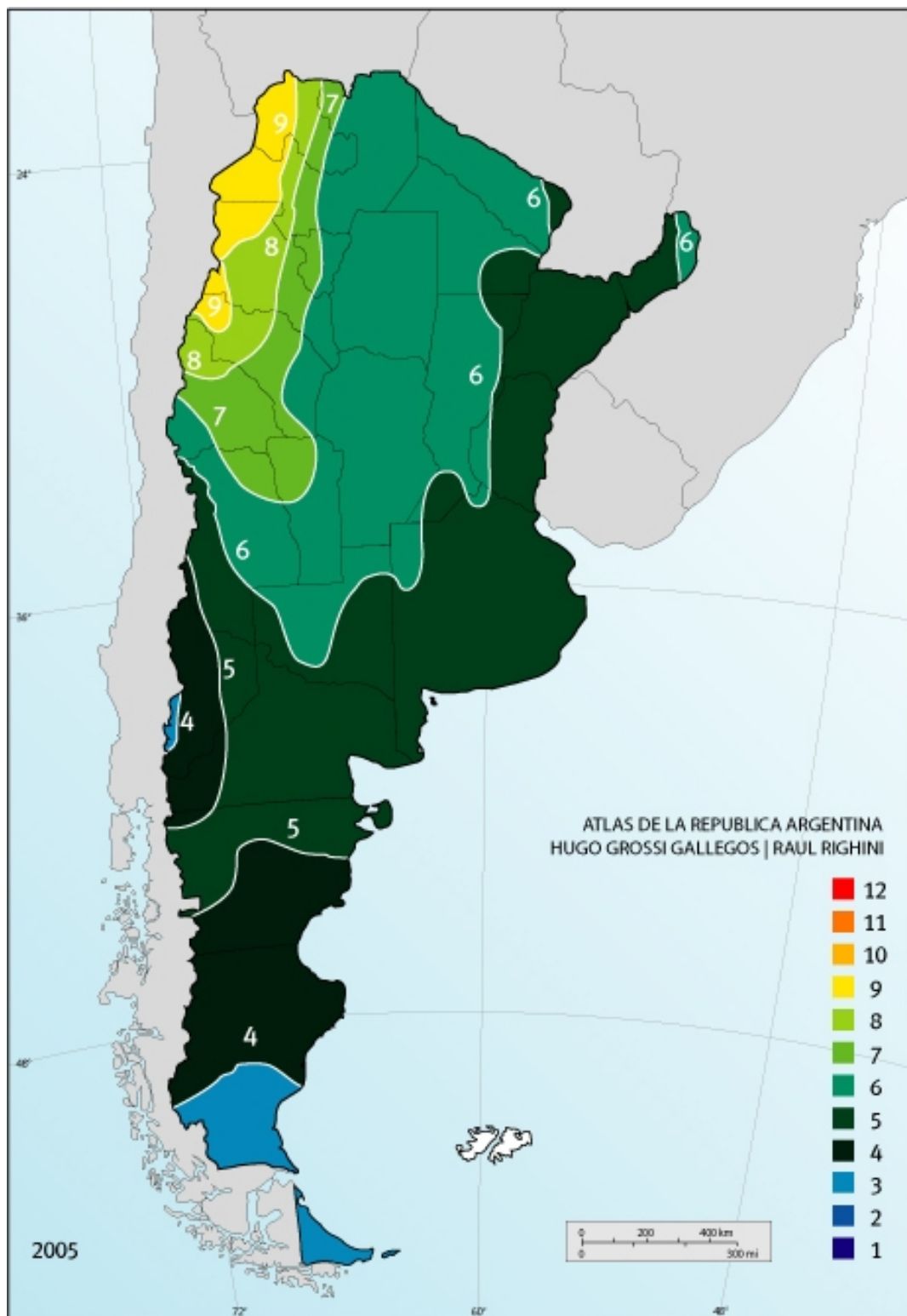


Figura 20. Distribución espacial del promedio de la heliofanía efectiva (horas) correspondiente al mes de agosto.

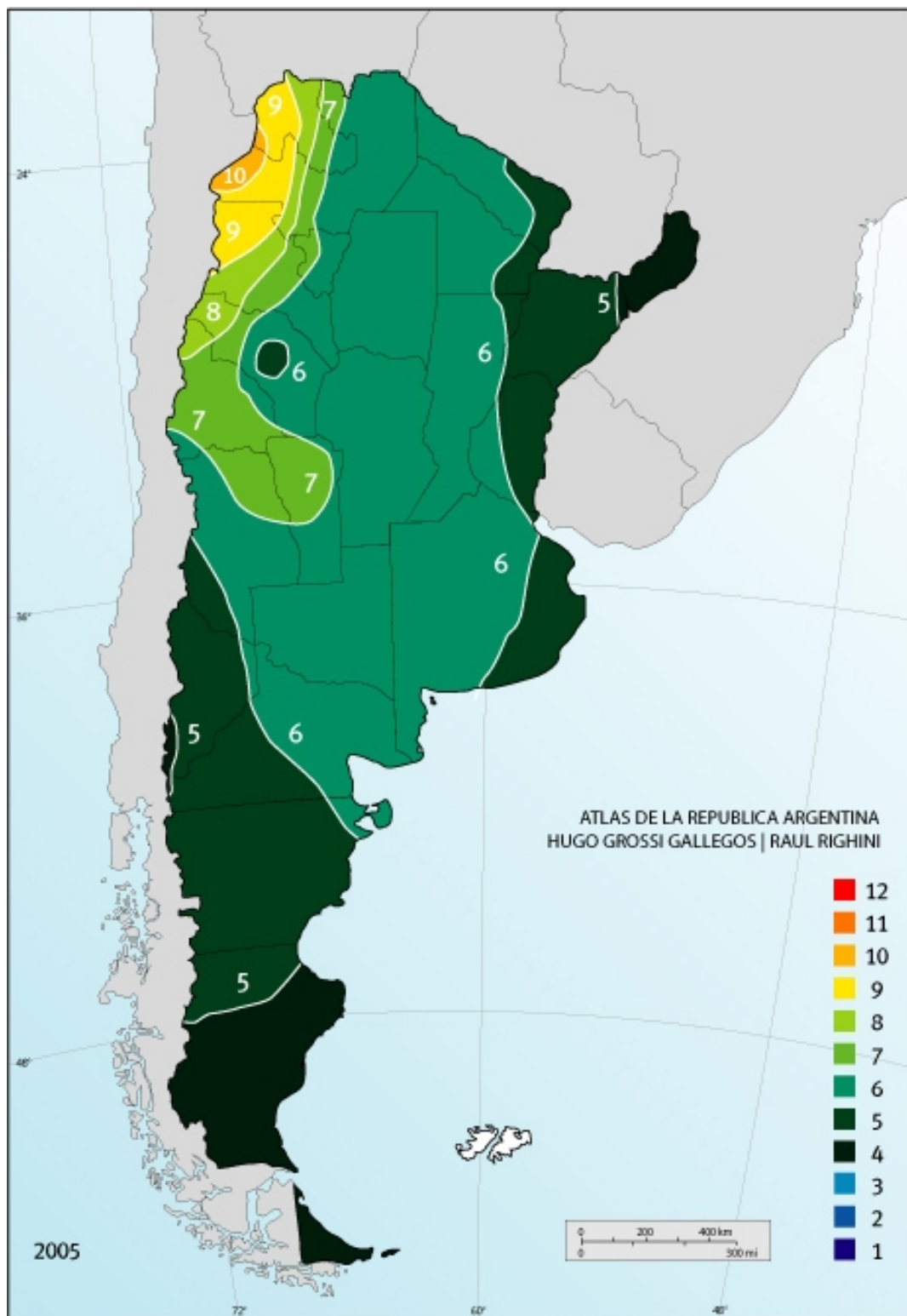


Figura 21. Distribución espacial del promedio de la heliofanía efectiva (horas) correspondiente al mes de septiembre.

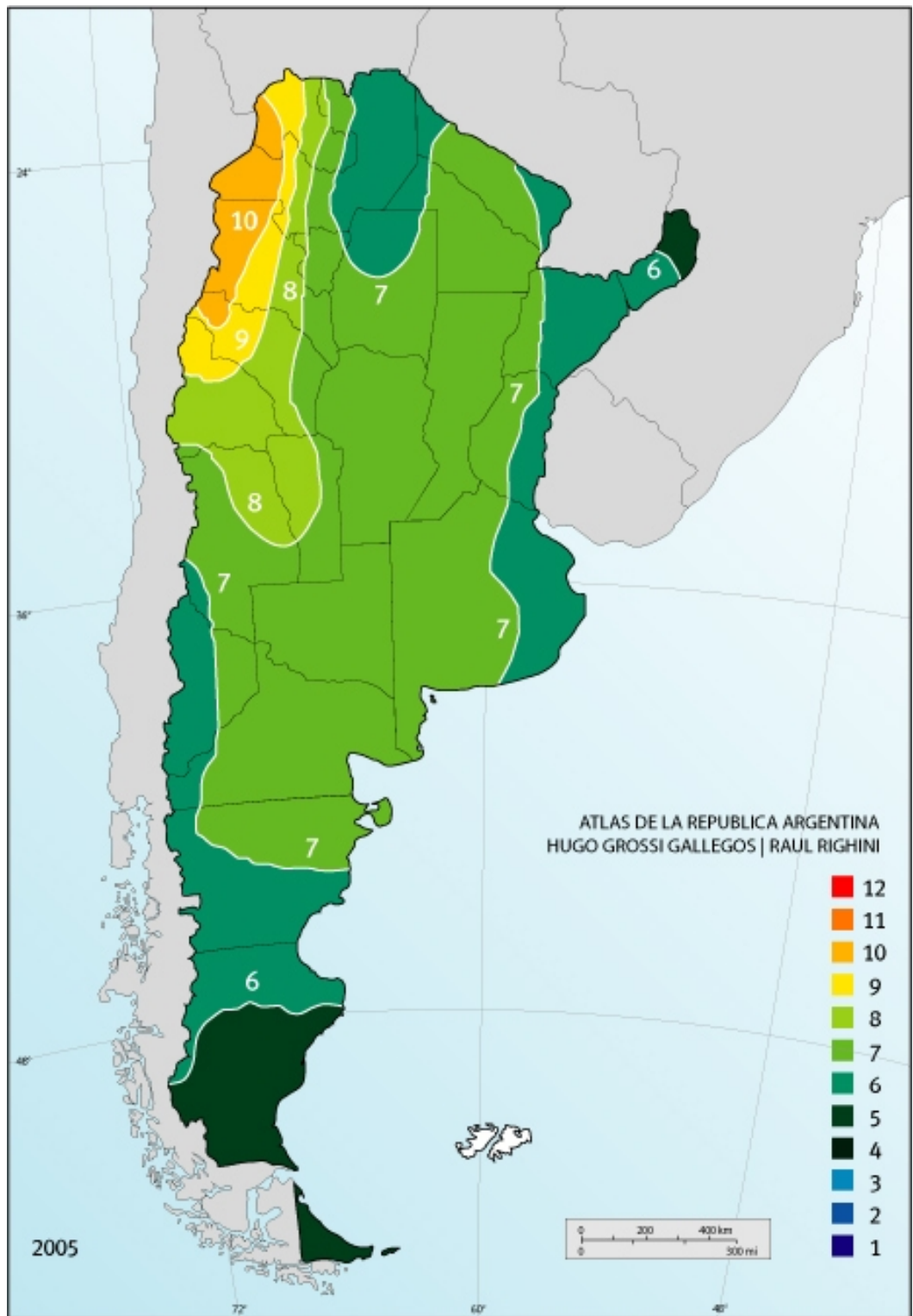


Figura 22. Distribución espacial del promedio de la heliofanía efectiva (horas) correspondiente al mes de octubre.

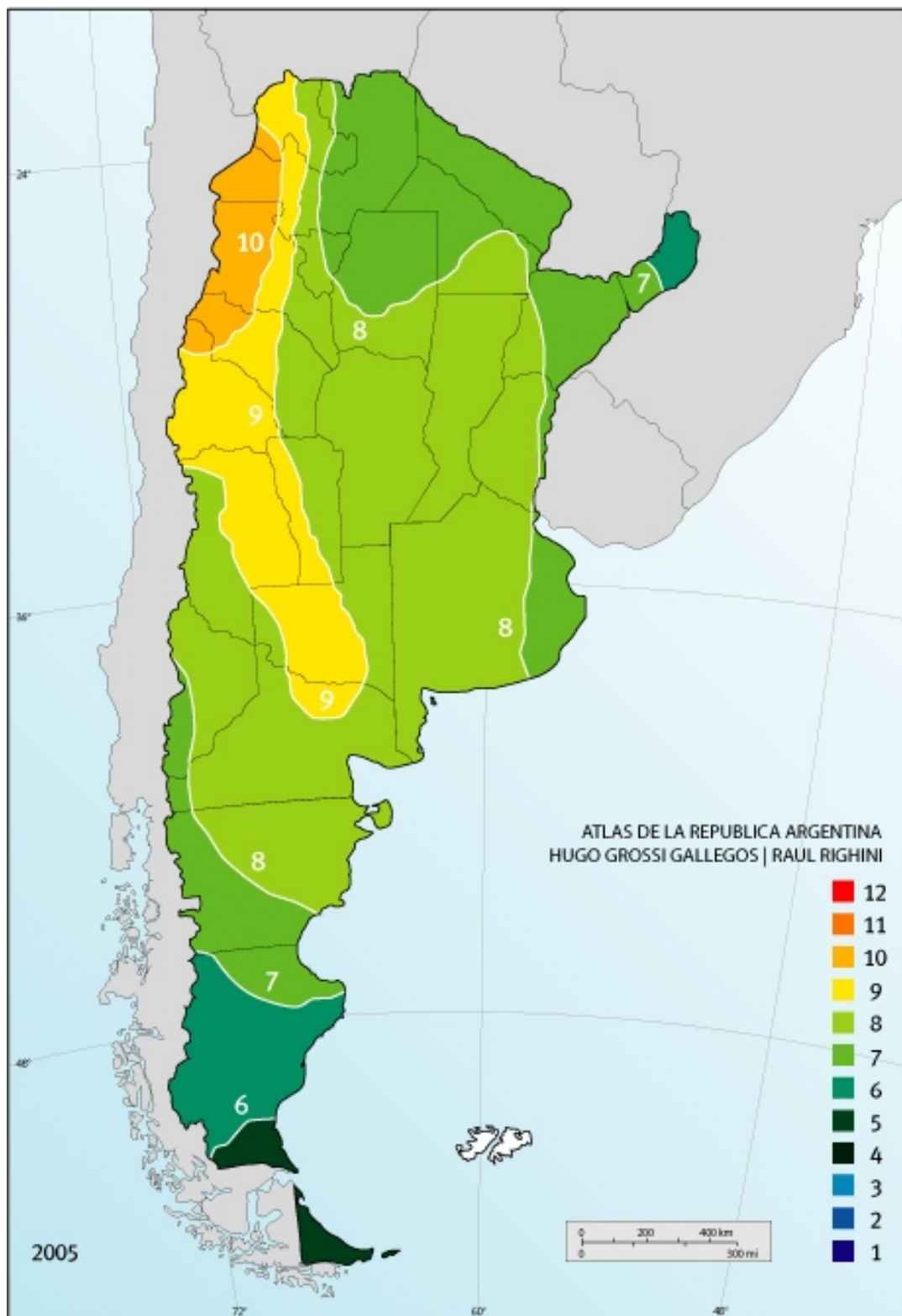


Figura 23. Distribución espacial del promedio de la heliofanía efectiva (horas) correspondiente al mes de noviembre.

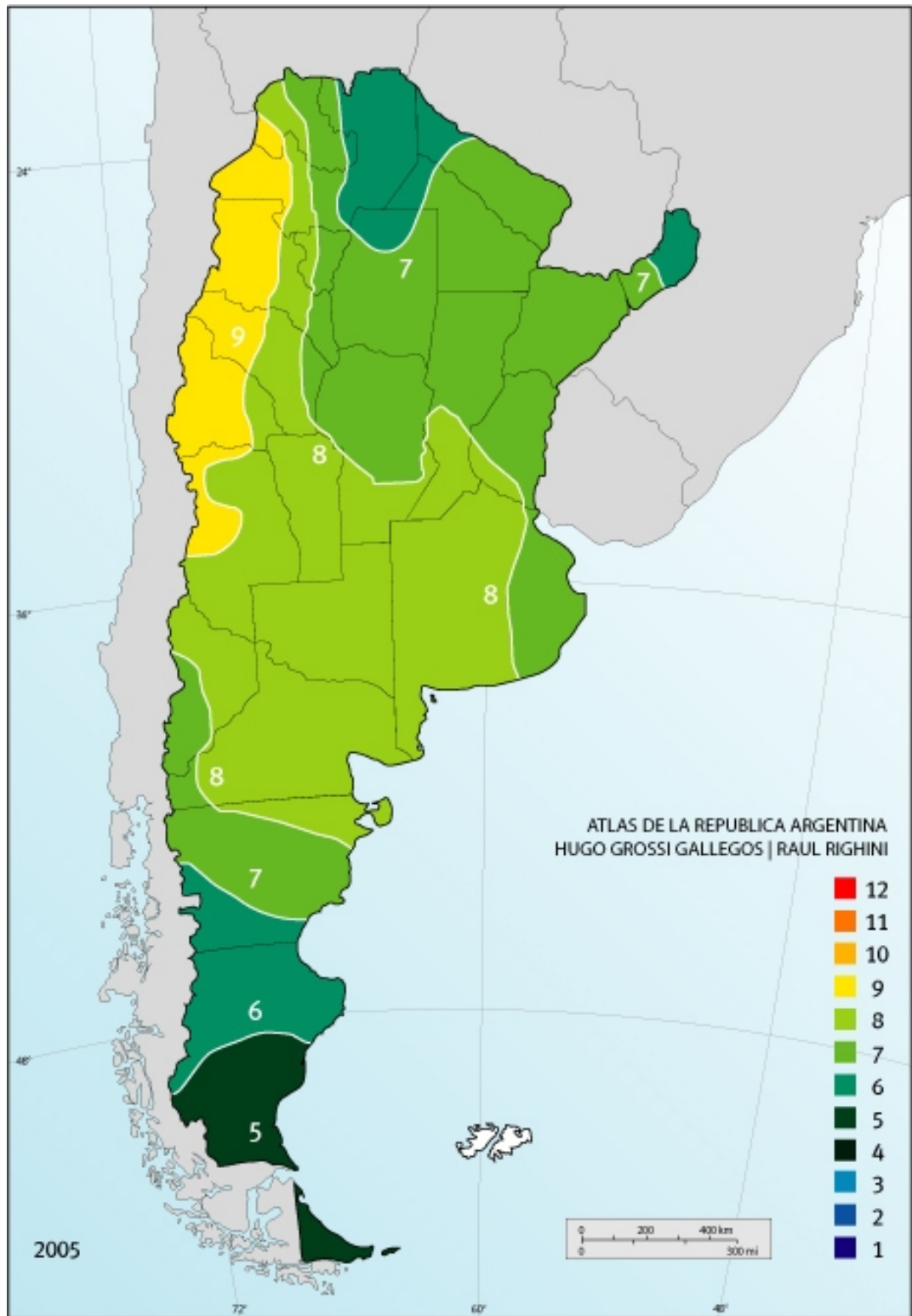


Figura 24. Distribución espacial del promedio de la heliofanía efectiva (horas) correspondiente al mes de diciembre.

■ BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA

Abeledo, H., Carazo de Kurlat, M. y Fernández, R. (1973). Relación entre la duración relativa de la insolación y la radiación global en la Argentina. *Meteorológica*, Vol. IV, No. 1, 2, 3, pp. 31-43.

Alanis, E., Fabris, A., Gaspar, R. y Souto, J. (1976). Procesamiento de datos de radiación en la Provincia de Salta. En *Actas de la 2da. Reunión de Trabajo de la ASADES*, Salta, Argentina, Vol. 2, pp. 383-398.

Ångström, A. (1924). Solar and terrestrial radiation. *Q.J.R.Meteorol.Soc.*, Vol. 50, pp. 121-125.

Arata Andreani, A. (1987). *Plantas de Colectores Solares Planos. Manual de Proyecto*. Publicado por la Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile, 285 pp.

Atwater, M. A, and Ball, J. T. (1978). Intra regional variations of solar radiation in the Eastern United States. *J. Appl. Meteor.*, Vol. 17, pp. 1116-1125.

Black, J. N. (1956). The Distribution of Solar Radiation Over the Earth's Surface. *Arch. Met. Geophys. Biokl. B*. Bd 7, H.2., pp. 165-189.

Black, J. N. (1981). Some aspects of the climatology of solar radiation. In *Proc. U. N. Conference in New Sources of Energy*, Paper E/CONF. 35/513, Rome, Italy, pp. 311-316.

Burdecki, F. (1958). Remarks on the Distribution of Solar Radiation Over the Surface of the Earth. *Arch. Met. Geophys. Biokl. B*. Bd 8, pp. 326-335.

CEMIG (1987). Levantamento de Potenciais de Energia Solar. En *Estudo sobre Aproveitamento de Energia Solar y Eólica em Minas Gerais - Fase 2.*, Departamento de Tecnologia de Engenharia, Companhia Energética de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, Vol. 1, 125 pp.

Crivelli, E. y Abeledo, H. (1971). Posibilidades de trazar cartas de radiación global en la Argentina a partir de datos de heliofanía. *Meteorológica*, Vol. II, pp. 86-92.

Crivelli, E. y Pedregal, M. A. (1972). Cartas de radiación solar global de la República Argentina. *Meteorológica*, Vol. III, N° 1, 2, 3, pp. 80-97.

CSAGI (1957), Radiation Instruments and Measurements. En *Annals of the International Geophysical Year*, Vol. V, IGY Instruction Manual Part VI, pp. 367-466, Pergamon Press, London, U.K..

Da Mota, F., Beisdorf, M. and Acosta, M. (1977). Estimates of solar radiation in Brazil. *Agric.Meteorol.*, Vol. 18, pp. 241-254.

de Azevedo, P. V., Sobral, Z. R., de Bastos, E. B. e da Silva, B. B. (1987). Cartas de Isolinhas de Insolação e Radiação Solar no Nordeste do Brasil. En *Distribuição Estatística da Radiação Solar no Nordeste*, CHESF-BRASCEP, Recife, PE, Brasil, Vol. V.

de Kessler, M. C. e Corbella, O. D. (1979). Mapas da radiação solar diária total média mensal sobre superfície horizontal para o Rio Grande do Sul, para os 12 meses do ano. En *Atas do 2° Congresso Latino-Americano de Energia Solar*, Vol. I, pp. 61-79, João Pessoa , Brasil.

Espoz, C. and Brizuela, A. (1983). *Application of remote sensing and agrometeorological methods for crop assessment in the Pampa Humeda*. Fellowship Program Report-ARG81/002, 112 p.

Estol, R. , Gross, S. y Renzini, G. (1978). Calibración del instrumental de medición de radiación solar en Argentina. En *Atas do 2° Congresso Latino-americano de Energia Solar*, João Pessoa, Paraíba, Brasil, Vol. I, pp. 31-42.

FAO (1985). Datos agroclimatológicos para América Latina y el Caribe. En *Colección FAO: Producción y Protección Vegetal* N° 24, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, Italia.

Fernández, R. y García, M. (1977). Climatología de la radiación solar en Argentina. En *Actas de la 3ra. Reunión de Trabajo de la ASADES*, Mendoza, Argentina, pp. 9-32.

Flowers, E. C. (1984). Long-term behaviours of pyranometers. En *Proceedings IEA Meeting*, Norrköpping, Sweeden; citado en el Cap. 4, p. 68, del *Revised instruction manual on radiation instruments and measurements*, WMO 1986.

Frère, M., Rijks, J. y Rea, J. (1975). *Estudio agroclimático de la zona andina. Informe Técnico*. FAO/UNESCO/OMM, Roma, Italia.

Frulla, L., Gagliardini, D., Grossi Gallegos, H., Lopardo, R. and Tarpley, J. (1989a). Incident solar radiation on Argentina from the geostationary satellite GOES: comparison with ground measurements. *Solar Energy*, Vol. 41 No. 1, pp. 61-67.

Frulla, L., Grossi Gallegos, H., Gagliardini, D. and Atienza, G. (1990). Analysis of satellite measured insolation in Brazil. *Solar & Wind Technology*, Vol. 7 No. 5, pp. 501-509.

Galindo, I. (1987). Utilización en climatología solar de insolación derivada de satélites meteorológicos. *Revista Geofísica*, No. 26 pp. 53-74.

Gandin, L. S. (1970). *The planning of meteorological station networks*. Tech. Note No. 111, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, WMO-No. 265.TP.149, 135 p.

García, M. y Fernández, R. (1978). Red de mediciones solarimétricas en Argentina. En *Atas do 2° Congresso Latino-Americano de Energia Solar*, Vol. I, pp. 43-59, João Pessoa, Brasil.

García, M. V., Lopardo, R., Atienza, G. y Radicella, S. (1978). Red Solarimétrica en la República Argentina. *Revista Geofísica del Instituto Panamericano de Geografía e Historia* N° 9, pp. 57-62, México D.F., México.

García, M., Lopardo, R., Atienza, G. y Radicella, S. (1979). Red Solarimétrica en la República Argentina. En *Actas del Simposio sobre Tecnología Aplicada a Sistemas de Energía Solar*, G. Best y M. Martínez (Eds.), pp. 77-85, Jurica, México.

Grossi Gallegos, H., Lopardo, R. and Atienza, G. (1980a). Solar radiation network in Argentina. In *Proc. ISES*, Vol. 3 pp. 2456-2460, Brighton, England.

Grossi Gallegos, H., Lopardo, R. y Atienza, G. (1981). Ensayo y calibración del instrumental de la Red Solarimétrica de la República Argentina. En *Actas de la 3ra. Reunión Latinoamericana de Energía Solar*, pp.14-18, Guadalajara, México.

Grossi Gallegos, H., Nollmann, I., Lopardo, R. y Atienza, G. (1983). Evaluación preliminar del recurso solar en Argentina. En *Actas de la 8a. Reunión de Trabajo de la ASADES*, Santa Rosa, Argentina, pp. 179-194.

Grossi Gallegos, H., Lopardo, R., Atienza, G., García, M. y Peralta, M. (1984). Determinación de la correlación entre la duración relativa de la insolación y la radiación global medida por la Red Solarimétrica. En *Actas de la 9a. Reunión de Trabajo de la ASADES*, San Juan, Argentina, pp. 261-266.

Grossi Gallegos, H., Lopardo, R., Atienza, G., García, M. y Peralta, M. (1985). Actualización de la evaluación de los datos diarios de radiación solar global obtenidos por la Red Solarimétrica. En *Actas de la 10ma. Reunión de Trabajo de la ASADES*, Neuquén, Argentina, pp. 177-185.

Grossi Gallegos, H., Lopardo, R., Atienza, G., García, M. y Peralta, M. (1986a). Distribución de la energía solar en la región meridional de América del Sur. En *Memoria Técnica del 5° Congreso Latinoamericano de Energía Solar*, Valparaíso, Chile, tomo I, pp. 1-11.

Grossi Gallegos, H., García, M., Atienza, G. y Castel, M. E. de (1986b). Estimación de la distribución de la radiación solar global en la República del Paraguay. En *Actas de la 11ma. Reunión de Trabajo de la ASADES*, San Luis, Argentina, pp. 197-202.

Grossi Gallegos, H., Lopardo, R., Atienza, G., García, M. y Peralta, M. (1987a). Distribución espacio-temporal del promedio mensual de la radiación solar global diaria en la región meridional de América del Sur. En *Proc. del III Congreso Ibérico-I Congreso Iberoamericano de Energía Solar*, Madrid, España, tomo I, pp. 110-117.

Grossi Gallegos, H., Atienza, G., García, M., Renzini, G., Peralta, M., Saravia U., I. y Arteaga T., A. (1987b). Estimación de la distribución de la radiación solar global en la República de Bolivia. En *Actas de la 12a. Reunión de Trabajo de la ASADES*, Buenos Aires, Argentina, pp. 83-93.

Grossi Gallegos, H. and Lopardo, R. (1988). Spatial variability of the global solar radiation obtained by the Solarimetric Network in the Argentine Pampa Humeda. *Solar Energy*, Vol. 40, No. 5, pp. 397-404.

Grossi Gallegos, H. y Atienza, G. (1988). Acerca de la representatividad temporal de los valores de radiación solar global medidos por la Red Solarimétrica. En *Actas de la 12a. Reunión de Trabajo de la ASADES*, Salta, Argentina, Vol. 1, pp. 101-106.

Grossi Gallegos, H., Atienza, G., Peralta, M. y García, M. (1988a). Sobre la necesidad del estudio de la variación de los coeficientes de la ecuación de regresión entre las horas de insolación y la radiación solar. En *Actas de la XIII Reunión de Trabajo de la ASADES*, Salta, Argentina, Vol. I, pp. 107-112.

Grossi Gallegos, H., Atienza, G. y Peralta, M. (1988b). Algunos comentarios sobre el análisis de datos de insolación y su relación con la radiación solar global. En *Memoria del II Congreso Interamericano de Meteorología - III Congreso Mexicano de Meteorología*, México DF, México, pp. 343-347.

- Grossi Gallegos, H. y Atienza, G. (1992). Análisis del comportamiento espacial de los datos de radiación solar en la Pampa Húmeda Argentina. En *Memoria del IV Congreso Interamericano y Iberoamericano de Meteorología*, Cáceres y Salamanca, España, Tomo I, pp. 216-220.
- Grossi Gallegos, H., Atienza, G. y Castel, M. E. G. de (1993). La medición de la radiación solar en la República del Paraguay. En *Actas de la 16va. Reunión de Trabajo de la ASADES y 7mo. Congreso Latinoamericano de Energía Solar*, La Plata, Argentina, tomo I, pp. 303-307.
- Grossi Gallegos, H. y Atienza, G. (1995). Variación secular de la radiación global en la Argentina: primeros resultados. En *Actas de la 18va. Reunión de Trabajo de la ASADES* Tomo I, pp. 4.15 - 4.21, San Luis, Argentina.
- Grossi Gallegos, H. (1998a). Distribución de la radiación solar global en la República Argentina. I. Análisis de la información. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 4, pp. 119-123.
- Grossi Gallegos, H. (1998b). Distribución de la radiación solar global en la República Argentina. II. Cartas de radiación. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 5 pp. 33-42.
- Grossi Gallegos, H. y Righini, R. (2002). Acerca de la distribución de la heliofanía en Argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 6 N° 2, pp. 11.37-11.41 versión CD-ROM.
- Hanson, K. J., Vonder Haar, T. H. and Suomi, V. E. (1967). Reflection of sunlight to space and absorption by the earth and atmosphere over the United States during spring 1962. En *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 95, pp. 354-362.
- Hanson, K. J. (1971). Studies of cloud and satellite parameterization of solar irradiation at the Earth's surface. En *Proc. Miami Workshop on Remote Sensing*, U. S. Dept. of Commerce, pp. 133-148, Miami, USA.
- Hanson, K. and Flowers, E. (1982). Variability of solar radiation. *Sunworld*, Vol. 6 No. 1, pp. 12-15.
- Hay, J. (1977). *An analysis of solar radiation data for selected locations in Canada*. Climatological Studies No. 32, Atmospheric Environment, Downsview, Canada, 158p.
- Hay, J. E. and Hanson, K. J. (1978). A satellite-based methodology for determining solar irradiance at the ocean surface during GATE. *Bull. Ame. Meteo. Soc.*, Vol. 59 pp 1549.
- Hay, E. (1979). Calculation of monthly mean solar radiation for horizontal and inclined surfaces. *Solar Energy*, Vol. 23 No. 4, pp. 301-307.
- Hay, J. and Ph. Suckling, Ph. (1979). An assessment of the networks for measuring and modelling solar radiation in British Columbia and adjacent areas of Western Canada. *Canad. Geographer*, Vol. XXIII No. 3, pp. 223-237.
- Hay, J. E. (1984). Mesoscale variability of solar radiation at the Earth's surface. *Solar Energy*, Vol. 32 No. 3, pp. 425-434.
- Hay, J. (1986). Data processing, validation and quality control. En *Revised Instruction Manual in Radiation Instruments and Measurements*, Frölich, C. and London, J. (Eds.), pp. 93 - 117, WMO/TD-No. 149, WRC Publications Series No. 7, Davos, Switzerland.

Iriarte, A., Buenader, E. S. de, Biagi, S. B. de y Toledo, E. (1979). Procesamiento y análisis de datos de radiación en la Provincia de Catamarca. En *Actas de la 5ta. Reunión de Trabajo de la ASADES*, Córdoba, Argentina, Vol. I, pp. 13-30.

Justus, C.G. and Tarpley, J. D. (1984). *Atlas of Satellite Measured Insolation in the United States, Mexico and South America*. SOLERAS Report under DOE grant DE-FG02-84CH10200, 271 pp.

Kimball, H.H. (1919). Variations in the total and luminous solar radiation with geographical position in the United States. *Mon. Weather Rev.*, Vol. 47 pp. 769-793.

Kurlat, M. C. de y Fernández, R. (1970). Radiación solar en la Argentina. *Acta Scientifica* N° 19, San Miguel, Argentina, 55 pp.

Landsberg, H. (1961). Solar Radiation over the Earth's Surface. *Solar Energy*, Vol. V, N° 3, pp. 95-98.

Löf, G. O. G., Duffie, J. A. and Smith, C. O. (1966). World Distribution of Solar Radiation. *Solar Energy*, Vol. 10, N° 1, pp. 27-37.

Lopardo, R. y Fernández, R. (1978). Estudio técnico - económico del instrumental necesario para la Red Solarimétrica en la Argentina. En *Atas do 2º Congresso Latino-americano de Energia Solar*, João Pessoa, Paraíba, Brasil, Vol. I, pp. 113-120.

Lopardo, R., García, M. y Atienza, G. (1978). Aspectos técnicos de la Red Solarimétrica. En *Actas de la 4ta. Reunión de Trabajo de la ASADES*, La Plata, Argentina, pp. 365-374.

Lopardo, R., García, M. y Atienza, G. (1979). Comportamiento de un detector fotovoltaico en distintas condiciones. En *Actas de la 5ta. Reunión de Trabajo de la ASADES*, Córdoba, Argentina, Vol. I, pp. 5-12.

Lundt, I. A. (1968). Relationships between insolation and other surface weather observations at Blue Hill, Massachusetts. *Solar Energy*, Vol. 12, pp. 95-106.

Marone, V. J. (1971). Radiación solar en Chacras de Coria, Mendoza, República Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, tomo XVII, N° 1-2, pp. 59-82.

Martínez-Lozano, J.A., Tena, F., Onrubia, J. and de la Rubia, J. (1984). Historical evolution of the Ångström formula and its modifications: review and bibliography. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 33, pp. 109-128.

Maués, J., Orlando, A. e Souza, Y. (1981). Bennet correlation for analyzing available data in Brazil - Validation and analysis of model. In *Proc. COBEM 81*, Rio de Janeiro, Brasil, pp. 27-37.

Niremberg, M. (1981). Atividades solarimétricas do Instituto Nacional de Meteorologia. En *Anais do II Simposio sobre Energia Solar*, São Paulo, Brasil, pp. 112-131.

Nunes, G., André, R., Vianello, R. e Marques, V. (1979). Estudo da distribuição da radiação solar incidente sobre o Brasil. *Rev. Bras. de Armaz.*, Vol. 4, No. 2, pp. 5-30.

Organización Meteorológica Mundial (1975). *Atlas Climático de América del Sur*, Vol. I (J. Hoffmann, Ponente). O.M.M., UNESCO, Cartographia, Budapest, Hungría, 28 cartas.

Organización Meteorológica Mundial (1982). Informe final abreviado de la Octava Reunión, Comisión de Instrumentos y Métodos de Observación, 19-30 de octubre de 1981, México. *OMM - N° 590*, O.M.M., Ginebra, Suiza.

Pinker, R. and Lazlo, I. (1992). Modeling Surface Solar Irradiance for Satellite Applications on a Global Scale. *J. Appl. Meteor.*, Vol. 31, pp. 194-211.

Pivovarova, Z. Y., (1977). Radiation characteristics of the climate of the U.S.S.R., *Gidrometeoizdat*, Leningrad, 335 p. Resultados publicados en *Meteorological aspects of the utilization of solar radiation as an energy source*, Tech. Note No. 172, World Meteorological Organization, (1981), Geneva, Switzerland, WMO-No. 557, pp. 192-193.

Raichijk, C., Grossi Gallegos, H. y Righini, R. (2007) Variabilidad espacial de la heliofanía (duración de la insolación) en la Pampa Húmeda argentina, Uruguay y sur del Brasil. *Energías Renovables y Medio Ambiente* (en prensa).

Righini, R., Grossi Gallegos, H. and Raichijk, C. (2005). Approach to drawing new global solar irradiation contour maps for Argentina. *Renewable Energy*, Vol. 30 N° 8, pp. 1241-1255.

Robinson, N. (Ed) (1966). *Solar radiation*, pp. 222-315. Elsevier Publishing Company, Amsterdam/London/New York.

Roldán, A. Righini, R. Grossi Gallegos, H. (2005). Análisis preliminar de las fajas de heliógrafos utilizados en Argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 10, n. 2, pp. 11.09 -11.13 versión CD-ROM.

Saravia, L., Lesino, G., Requena, R., Cardón, L., Gramajo, C., Giménez, E., Guerrero, F., Fontanilla, E., Castro Padula, L. y Falú, R. (1980). Estudio del bioclima y de la vivienda rural tradicional en el noroeste argentino. En *Actas de la 7ma. Reunión de Trabajo de la ASADES*, Rosario, Argentina, pp. 146-153.

S.M.N. (1960). *Atlas Climático de la República Argentina*, Servicio Meteorológico Nacional, Buenos Aires, Argentina, 81 cartas.

Suckling, Ph. and Hay, J.E. (1976). The spatial variability of daily values of solar radiation for British Columbia and Alberta, Canada. *Climatological Bulletin* No. 20, pp. 1-7, McGill University, Canada.

Suckling, Ph. (1983). Extrapolation of solar radiation measurements: Mesoscale analysis from Arizona and Tennessee Valley Authority regions. *J. Clim. and Appl. Meteor.*, Vol. 22, pp. 448-494.

Suckling, Ph. (1985). Estimating solar radiation values in selected midlatitude regions by extrapolating measurements from nearby stations. *Solar Energy*, Vol. 35 No. 6, pp. 491-495.

Tiba, C., Grossi Gallegos, H., Fraidenraich, N. and Lyra, F. (1999) On the development of spatial/temporal solar radiation maps: a Brazilian case study. *Renewable Energy*, Vol. 18, pp. 393-408 (1999).

Villa Nova, N. e Salatti, E. (1977). Radiação Solar no Brasil. En *Anais do II Simpósio Anual da Academia de Ciências do Estado de São Paulo*, pp. 27-61, S. Paulo, Brasil.

Wernly, J. y Landaburu, M. (1979). Posibilidad de una determinación de la radiación global recibida en una localidad, en función de parámetros meteorológicos normales para la misma. En *Actas de la 5ta. Reunión de Trabajo de la ASADES*, Córdoba, Argentina, tomo I, pp. 31-52.

Wilson, R. G. and Petzold, D. E. (1972). Daily solar radiation differences between stations in Southern Canada: A preliminary analysis. *Climatological Bulletin* No. 11, pp. 15-22, McGill University, Canada.

Wilson, R. G. (1980). Radiation assessment and design. En *Proc. 1st Canadian Solar Radiation Data Workshop*, J. Hay and T. Won (Eds.), Canadian Atmospheric Environment Service, Downsview, Canada, pp. 105-117.

Wilson, R.C. and Hudson, H.S. (1988) Solar luminosity variations in solar cycle 21. *Nature*, Vol. 332, pp. 810-812.

World Meteorological Organization (1981a). En *Meteorological aspects of the utilization of solar radiation as an energy source*. Technical Note No. 172, WMO-No. 557, pp. 59-81, Geneva, Switzerland.

World Meteorological Organization (1981b). *Meteorological aspects of the utilization of solar radiation as an energy source*. Technical Note No. 172, WMO-No. 557, Annex, Geneva, Switzerland.

World Meteorological Organization (1986). *Revised instruction manual on radiation instruments and measurements*, Frölich, C. and London, J. (Eds.), WRC Publications Series No. 7, WMO/TD No. 149, Davos, Switzerland.