

Resultados propuestas de investigación.

Avances en el proyecto “Análisis de Oportunidades Energéticas con Fuentes Alternativas en el Departamento de Nariño - ALTERNAR”.

Componente: Solar

Grupo de Investigación en Ingeniería Eléctrica y Electrónica¹

¹Departamento de Ingeniería Electrónica
Universidad de Nariño

Agosto 2015

Disponible en...

Presentación disponible en
<http://grias.udnar.edu.co:9191/resources/Energy/solar.pdf>

Agenda

- 1 Planteamiento del problema.
- 2 Trabajos relacionados.
- 3 La propuesta...
- 4 Ejecución de la propuesta...
 - Los datos...
 - Pre-procesamiento...
 - Modelado...
 - Implementación y visualización de resultados...

Agenda

- 1 Planteamiento del problema.
- 2 Trabajos relacionados.
- 3 La propuesta...
- 4 Ejecución de la propuesta...
 - Los datos...
 - Pre-procesamiento...
 - Modelado...
 - Implementación y visualización de resultados...

Planteamiento del problema

- Localización de ubicaciones donde se concentre el mayor potencial de radiación solar.
- No existen series de tiempo disponibles para la región.
- Estos dependen de un trabajo de campo en la zona e instalación de equipos (costoso).

Algunas alternativas

- Acceso a un amplio repositorio de imágenes satelitales (Landsat).
- Acceso a una plataforma de consulta por parte de un proveedor externo (3TIER).
- Disponibilidad de implementaciones para la generación de modelos de regresión.
- Diversos estudios han explorado el uso de imágenes satelitales y/o sensores remotos para la estimación de potencial solar.

Agenda

- 1 Planteamiento del problema.
- 2 Trabajos relacionados.
- 3 La propuesta...
- 4 Ejecución de la propuesta...
 - Los datos...
 - Pre-procesamiento...
 - Modelado...
 - Implementación y visualización de resultados...

Trabajos relacionados

- Hammer et al. [2003] presentan el modelo HELIOSAT para calcular los niveles de radiación solar en superficie a partir de imágenes satelitales geoestacionarias.
- Kaku and Potter [2009] construyeron mapas solares de alta resolución comparando metodologías basadas en imágenes satelitales y modelamiento climático.
- Diagne et al. [2012] hacen una recopilación del estado de arte en cuanto a métodos para la predicción de radiación solar también basados en imágenes por satélite o modelos climáticos.

Trabajos relacionados

- Wang et al. [2012] son exitosos al proponer un nuevo modelo basado en redes neuronales apropiado para pronosticar el potencial solar a corto plazo bajo condiciones meteorológicas en constante cambio.
- Hashimoto and Nagakura [2012] calculan la caída de potencial y fluctuaciones en la generación a partir del seguimiento tridimensional de nubes y su impacto sobre paneles solares.
- Peng et al. [2014] utilizan visores totales del cielo para obtener imágenes de la presencia de nubosidad e incorporan datos históricos para predecir el movimiento de las nubes y su impacto en redes de energía inteligentes.

Agenda

- 1 Planteamiento del problema.
- 2 Trabajos relacionados.
- 3 La propuesta...
- 4 Ejecución de la propuesta...
 - Los datos...
 - Pre-procesamiento...
 - Modelado...
 - Implementación y visualización de resultados...

Objetivo

Calcular modelos de regresión de potencial solar a partir de la reflectancia en las bandas de imágenes satelitales Landsat para la generación de mapas de potencial solar en el Departamento de Nariño.

Metodología

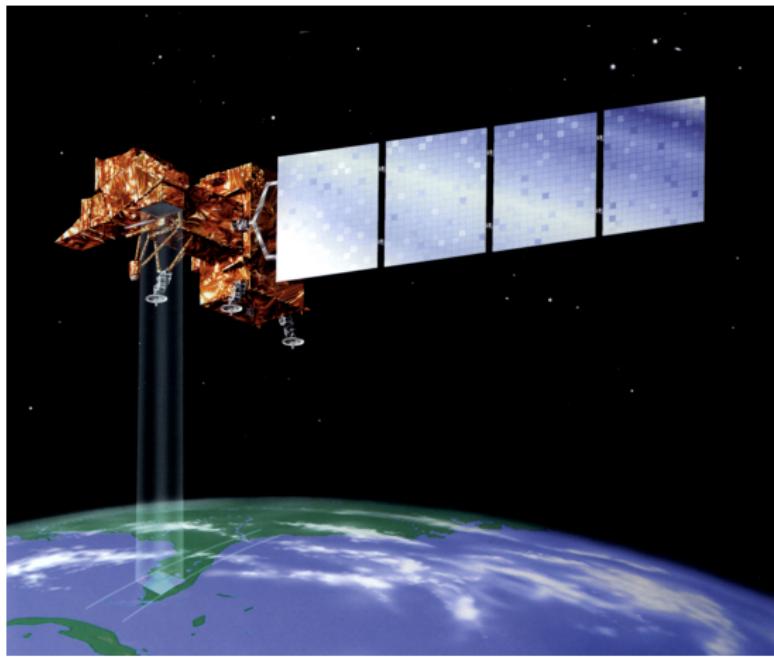
- Obtener un banco de imágenes satelitales del área de estudio desde los repositorios de libre acceso de Landsat.
- Seleccionar las técnicas de regresión y parámetros más apropiados.
- Aplicar las técnicas seleccionadas sobre los datos procesados para la obtención de los modelos de regresión.
- Extrapolar y visualizar los resultados obtenidos.

Agenda

- 1 Planteamiento del problema.
- 2 Trabajos relacionados.
- 3 La propuesta...
- 4 Ejecución de la propuesta...
 - Los datos...
 - Pre-procesamiento...
 - Modelado...
 - Implementación y visualización de resultados...

Landsat 7

- Landsat 7 (L7) Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)

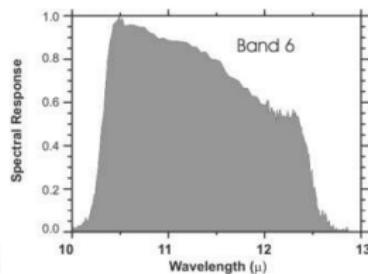
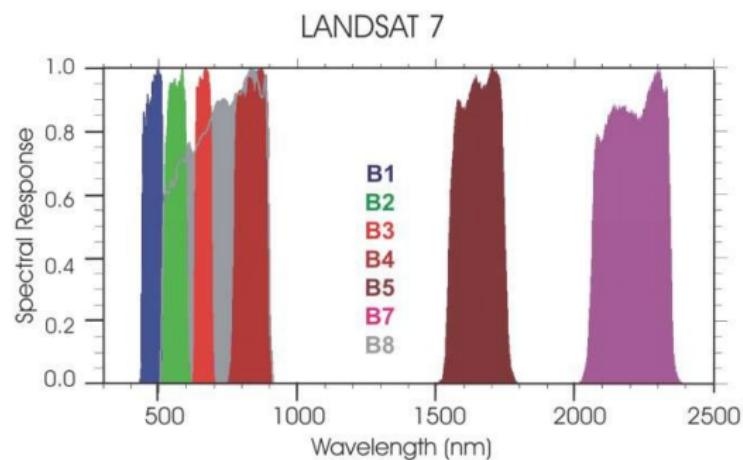


Landsat 7

- Landsat 7 (L7) Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)
 - Disponible desde Abril de 1999.
 - Intervalo de repetición cada 16 días.
 - Una banda pancromática con resolución espacial de 15m.
 - Tres bandas visibles para el azul, verde, rojo a 30m.
 - Tres bandas infrarrojas a 30m.
 - Una banda térmica a 60m.

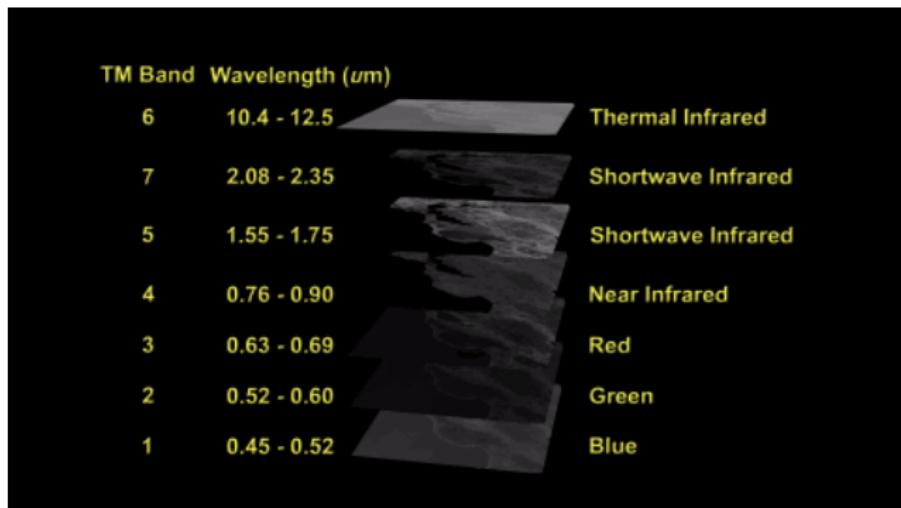
Landsat 7

- Landsat 7 (L7) Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)



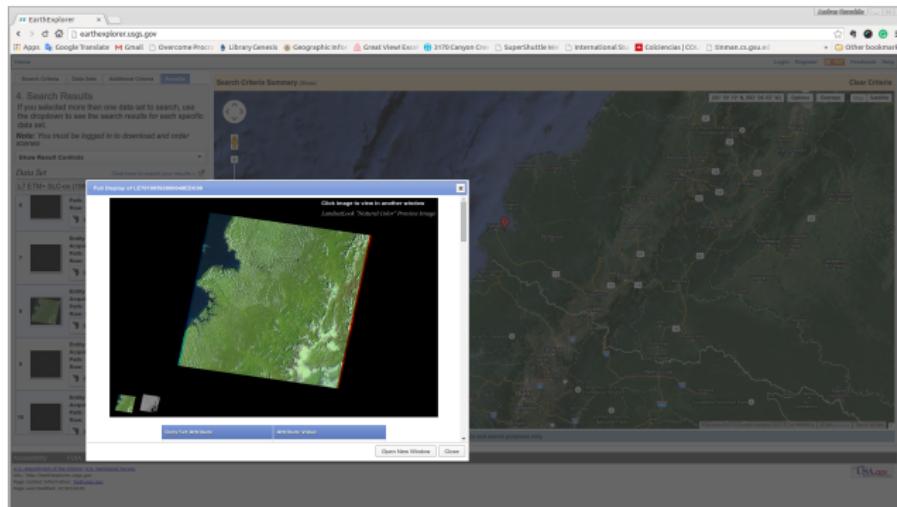
Landsat 7

- Landsat 7 (L7) Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)



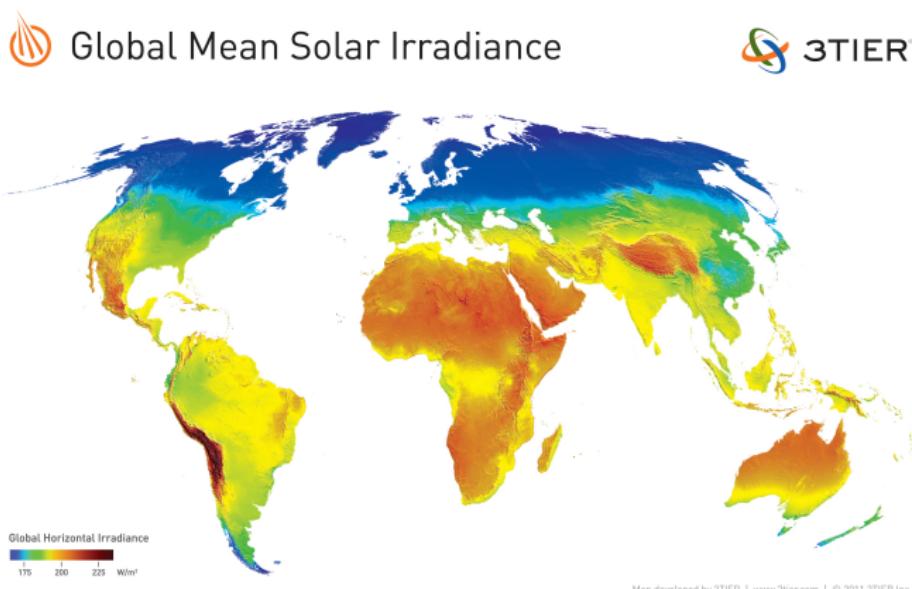
Landsat 7

- Earth Explorer



3TIER Solar Prospecting Tools

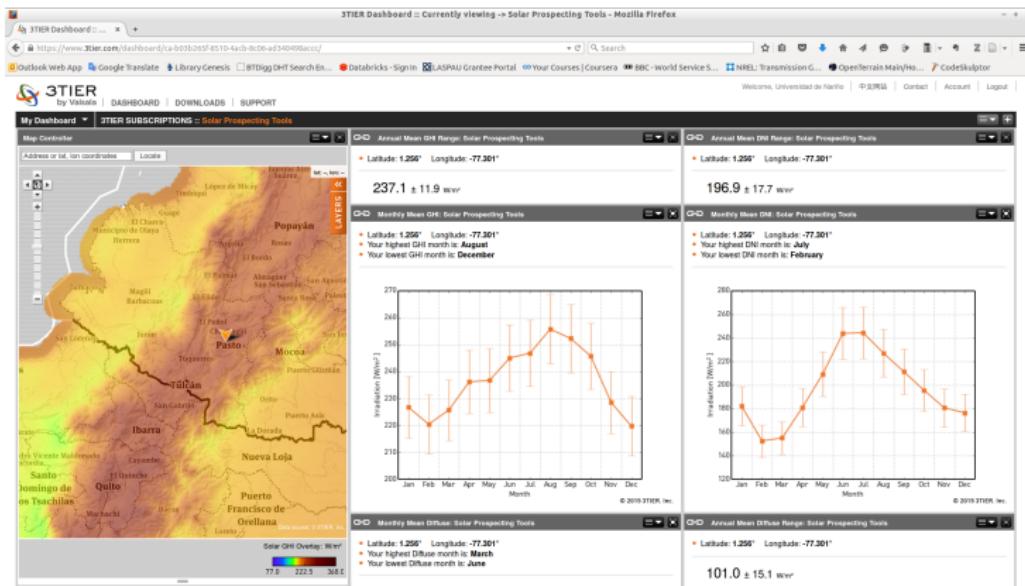
- 3TIER Solar Prospecting Tools



[Vaisala, 2015]

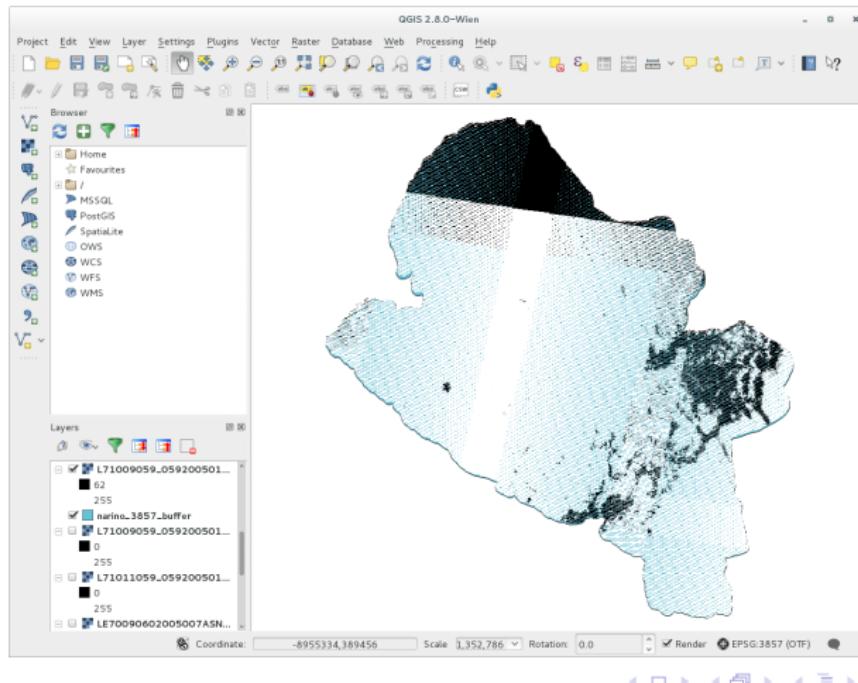
3TIER Solar Prospecting Tools

- 3TIER Solar Prospecting Tools



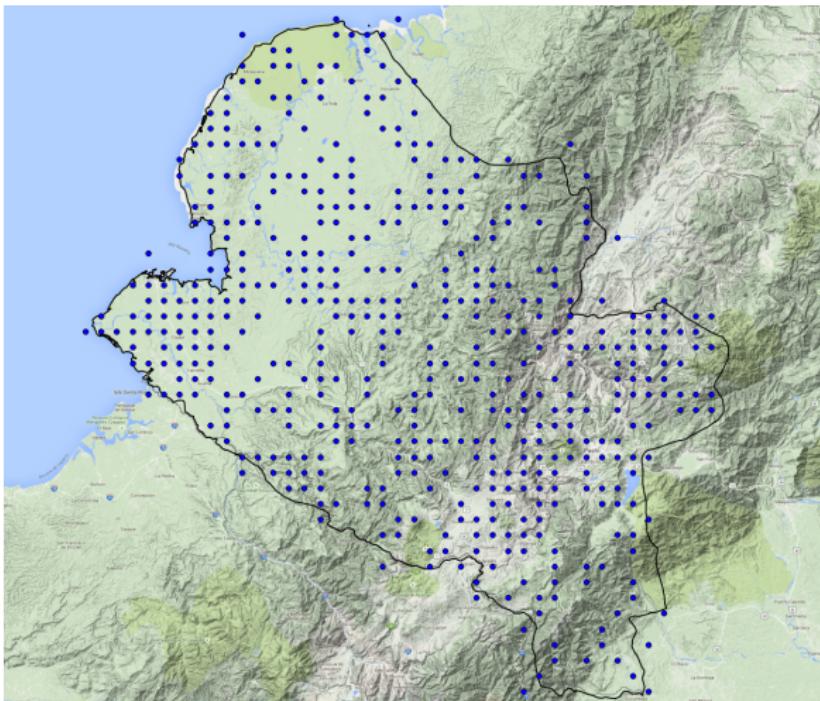
Landsat ETM+

- Combinación, recorte, cálculo de reflectancia, temperatura ($^{\circ}\text{K}$) y eliminación de píxeles nublados.



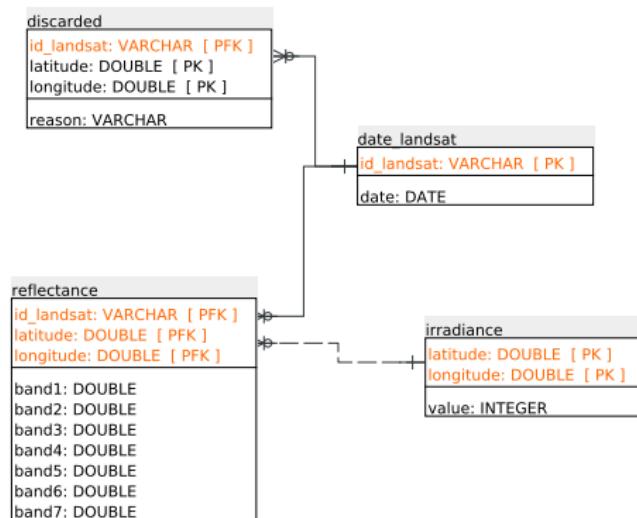
3TIER Solar Prospecting Tools

- Muestreo manual (480 puntos)...



Gestión en bases de datos relacional

- Esquema de la base de datos procesada...



Selección de técnicas de regresión

- Conjunto de datos...

- 1321 imágenes procesadas.
- 15 años (2000 – 2014).
- 51'076.512 puntos disponibles.
- 4'071.185 puntos con mediciones válidas (no nublados).
- 421 puntos con al menos 4 mediciones disponibles que se pueden asociar a un valor nominal de irradiación solar.

Selección de técnicas de regresión

● Conjunto de datos...

Disponible en <http://grias.udesar.edu.co:9191/resources/Energy/solar.zip>

	latitude double precision	longitude double precision	band1 double precision	band2 double precision	band3 double precision	band4 double precision	band5 double precision	band6 double precision	band7 double precision	value double precision
1	-8789850	184950	0.105112590532922	0.0827156424435938	0.052755549071967	0.315519718295041	0.132640883941759	296.1786068661779	0.04458611965455248	203.4
2	-8784990	174600	0.18484042128518	0.085731639626629	0.053527721153753	0.271463276698666	0.0902474676185792	295.969709783945	0.02729183390229533	198.3
3	-8775000	164700	0.10346767576429	0.0791469090897382	0.04893191660577	0.248618544670308	0.078593312120934	296.842689476088	0.02289763486404	203.1
4	-8775000	169650	0.1088486444863626	0.090664570831385	0.0557149221744394	0.338889248089665	0.12822745752471	296.123927271543	0.0397975369564589	199.1
5	-8775000	174600	0.0965266251474786	0.081028434952548	0.042469895795775	0.194788431688831	0.054675973321461	294.407491235724	0.0177128664674527	196.3
6	-8775000	194850	0.11470245555333	0.0944662790206187	0.0620823126104379	0.33898409587552	0.1313594439891	296.898768378837	0.042735711173612	201.7
7	-8769600	164700	0.10690378751486	0.0906035456288348	0.057481895673923	0.36081794761596	0.156995398034831	296.72024154301	0.0395090996529432	199.4
8	-8769600	174600	0.10998886694691	0.091012833036777	0.0594083925538267	0.342974875666014	0.155297737746884	296.470548198846	0.0549426493418361	196.3
9	-8769600	184950	0.1121430867025521	0.0933876020068642	0.0591686981721046	0.33380789482808	0.155103240530085	296.474790621196	0.0535449232668409	196.4
10	-8769600	189900	0.1079852639647478	0.086256704433951	0.062298365316752	0.2773998733384	0.137012592883158	297.8126981836	0.0521763028838423	196.7
11	-8769600	194850	0.1036706854526263	0.0897932157336683	0.0537243514473236	0.275987826426186	0.09938777129583	296.841302248814	0.03026153803973	198.5
12	-8764650	154800	0.106677275635858	0.0847610817213808	0.05145955745767979	0.27443063074038	0.13059646320049	296.48847240638	0.0457008292359939	198.2
13	-8764650	164700	0.11195345536386	0.0962555018173537	0.0622642039192918	0.36281231928963	0.182875768794686	296.299602786011	0.064227999261315	198.3
14	-8764650	169650	0.112206714982196	0.0938956883293317	0.062264692483757	0.350475767759695	0.151842522867552	295.354742785864	0.0515799326921	197.7
15	-8764650	174600	0.115334494455961	0.0962209714125831	0.062805204304238	0.382051036724463	0.18679393076761	297.016077860123	0.0684296131029414	196.5
16	-8764650	184950	0.11176711883185	0.0959886375453671	0.0613994188720482	0.353215228730165	0.169330478743785	296.844496957395	0.0589342377086242	195.8
17	-8764650	189900	0.11360252732856	0.094298161045827	0.0668591982544686	0.334519965595359	0.149695271467833	296.47860689208	0.0463637991369251	195
18	-8764650	194850	0.11242348903513	0.0927638716602287	0.0577448565865922	0.281938262508042	0.0893821626112774	297.000473777176	0.02645973532749	197
19	-8759700	154800	0.110307738066612	0.096756272866601	0.0658760170895483	0.355844513857838	0.174823756269441	297.003433156533	0.0664959849643406	197.6
20	-8759700	159750	0.116890493418754	0.098182684543055	0.0641480818154302	0.408022468572386	0.179660274790725	297.467538125802	0.064930899440913	197.9
21	-8759700	164700	0.116559910896523	0.18228294283352	0.0646049915797885	0.4029074467418	0.171379789731885	296.863540047204	0.0606372660778083	198.1
22	-8759700	169650	0.11388586113928	0.092286806379284	0.058556823387116	0.34741474911352	0.147716306863117	296.38738198359	0.0514717225637335	197.3
23	-8759700	174600	0.116902958339559	0.09652169661119687	0.0621962690180189	0.337285570601015	0.147133573998085	297.189784683205	0.0509707614718717	196.7
24	-8759700	184950	0.1079852639647478	0.093787475568959	0.0666273785094822	0.33087013416463	0.16736757813748	296.735537734886	0.0663998862925	195.4
25	-8759700	189900	0.10488928818785	0.0805357925331083	0.0564145552470179	0.24305950728881	0.068220979427335	297.00160783292	0.0184902789879852	194.7
26	-8759700	244800	0.107382122604666	0.084899247452288	0.05133115611163	0.24888148164419	0.087521849684681	297.19740481134	0.02650189867365	197.8
27	-8754750	154800	0.107603179478015	0.0928686631837559	0.0598167882434283	0.3521723446305	0.1817651273486	296.021270058598	0.059864183081905	197.3
28	-8754750	159750	0.1062330865918	0.091916790396112	0.0612686506112899	0.355074633499637	0.17907161247153	296.735388436281	0.066167884830149	197.7
29	-8754750	164700	0.108762810526004	0.094334226493397	0.060178607420582	0.374214795865574	0.186365414260909	297.089139801576	0.0670416192564424	197.6
30	-8754750	169650	0.113262347328762	0.0961778582788548	0.069892315300836	0.35861914836839	0.179231101853493	296.727976661451	0.0681464335992314	196.4

Selección de técnicas de regresión

- Paquete rminer [Cortez, 2010], Cortez [2015]

Algoritmos

- ctree – conditional inference tree
- rpart – decision tree
- kknn – k-nearest neighbor
- mlp – multilayer perceptron with one hidden layer
- mlpe – multilayer perceptron ensemble
- ksvm – support vector machine
- randomForest – random forest algorithm
- mr – multiple regression
- mars – multivariate adaptive regression splines
- cubist – M5 rule-based model
- pcr – principal component regression
- plsr – partial least squares regression
- cppls – canonical powered partial least squares

Selección de técnicas de regresión

- Paquete rminer [Cortez, 2010], Cortez [2015]

Métricas de validación

- SAE – sum absolute error/deviation (regression, "<", [0,Inf[)).
- MAE – mean absolute error (regression, "<", [0,Inf[)).
- RAE – relative absolute error (regression, "<", [0%,Inf[)).
- RMSE – root mean squared error (regression, "<", [0,Inf[)).
- COR – correlation (regression, ">", [-1,1]).
- R2 – coefficient of determination R^2 (regression, ">", squared pearson correlation coefficient: [0,1]).

Selección de técnicas de regresión

- Resultados...

Disponible en <http://grias.udesar.edu.co:9191/resources/Energy/RAGS.pdf>

	SAE	MAE	RAE	RMSE	COR	R2
crtree	771.66185	5.32181	33.37397	8.89544	0.85991	0.73945
rpart	819.97501	5.65500	35.46349	9.23174	0.84774	0.71865
kknn	583.36151	4.02318	25.23008	6.19161	0.93584	0.87580
mlp	558.43603	3.85128	24.15206	5.49114	0.94968	0.90189
mlpe	461.93253	3.18574	19.97834	4.73616	0.96292	0.92721
ksvm	574.76656	3.96391	24.85835	5.71528	0.94664	0.89613
randomForest	663.70528	4.57728	28.70490	6.89480	0.92117	0.84856
mr	752.19550	5.18756	32.53206	6.75745	0.92222	0.85049
mars	680.67053	4.69428	29.43864	6.34212	0.93186	0.86837
cubist	538.20590	3.71176	23.27712	6.34056	0.93141	0.86752
pcr	748.89239	5.16478	32.38920	6.76538	0.92208	0.85023
plsr	748.89239	5.16478	32.38920	6.76538	0.92208	0.85023
cppls	748.89239	5.16478	32.38920	6.76538	0.92208	0.85023

Implementación del modelo

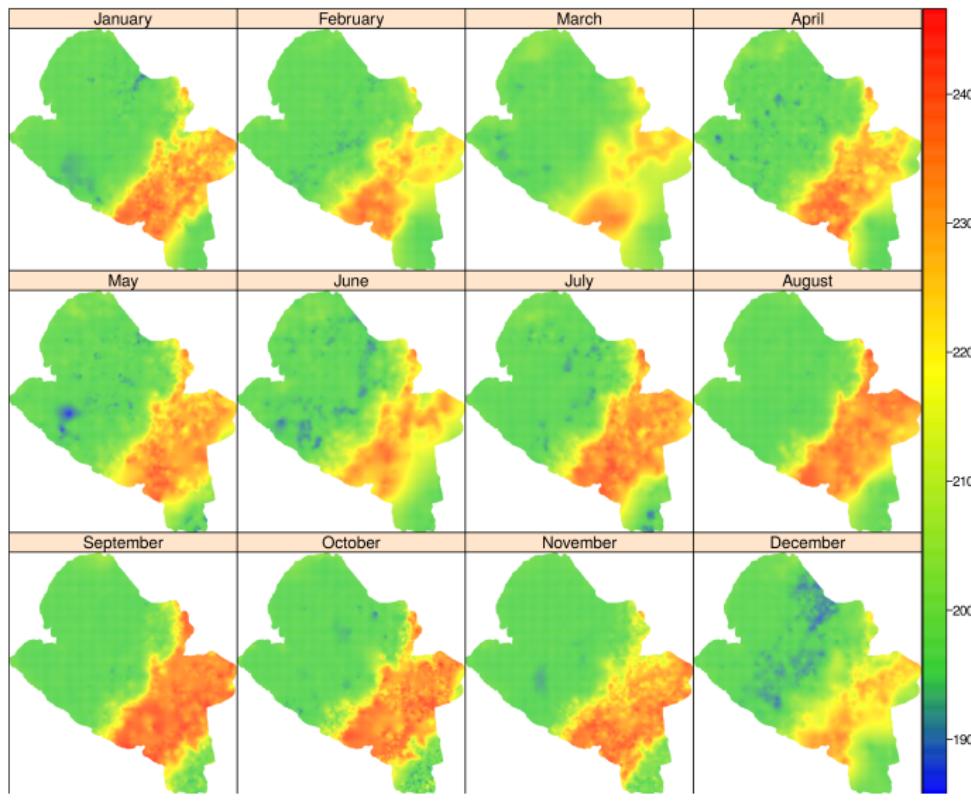
- ① Aplicar el modelo obtenido a los puntos disponibles.
- ② Seleccionar una muestra representativa (~ 5000 muestras).
- ③ Aplicar técnicas de interpolación espacial (kriging [Bivand et al., 2013])¹.

```
library(rgdal)
library(maptools)
library(gstat)
library(sp)
library(geoR)

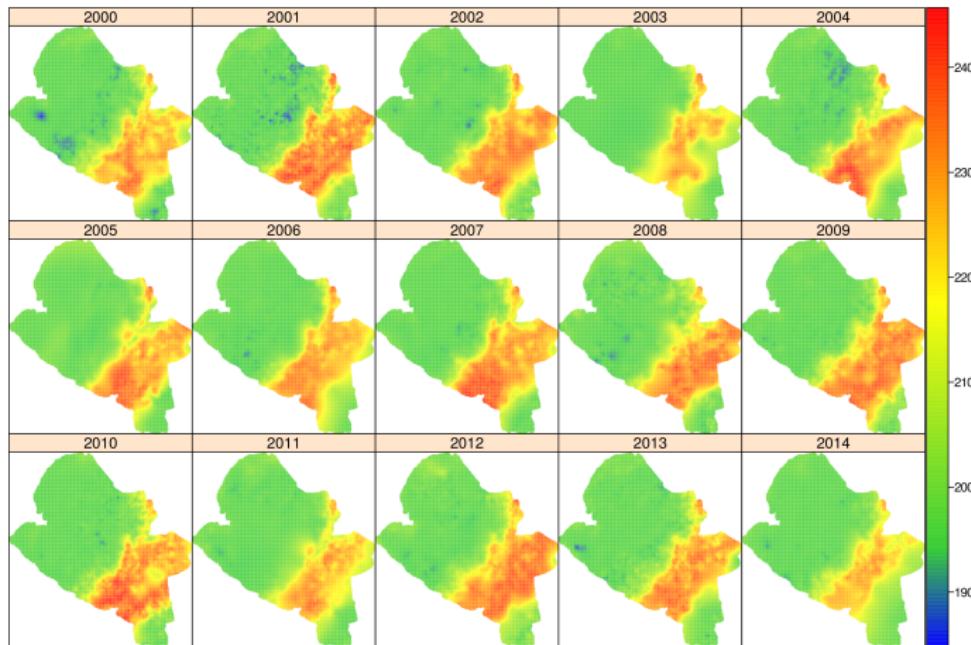
#Crear un modelo del variograma
mod<-vgm(psill=var(data$value),model="Sph",range=sqrt(areaSpatialGrid(study.grid))/4,nugget=0)
#Ajustar el variograma
fit_ols<-fit.variogram(variogram(Value~1,data),model=mod,fit.method=6)
#Aplicar interpolación
map<-krige(Value~1,data,model=fit_ols,newdata=study.grid)
#Escribir el mapa a disco
writeGDAL(map["var1.pred"], fname=nameGeotiff, drivername = "GTiff", type = "Float32", mvFlag = 255)
```

¹Se utilizó una resolución espacial de 450m aunque resoluciones más finas son posibles.

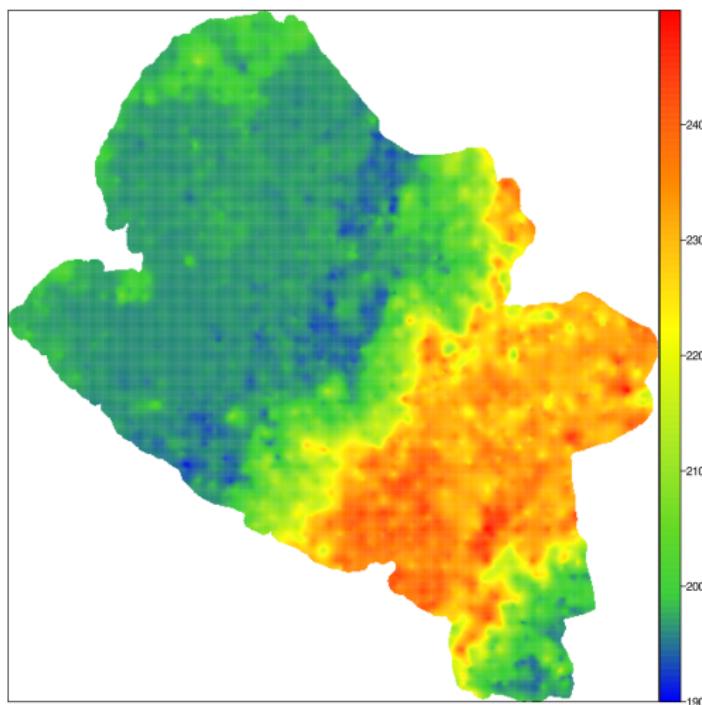
Visualización por meses



Visualización por años



Visualización General



También disponibles en

<http://geoalternar.udnar.edu.co/>

- Roger S. Bivand, Edzer Pebesma, and Virgilio Gómez-Rubio. *Applied Spatial Data Analysis with R*. Springer New York, New York, NY, 2013. ISBN 978-1-4614-7617-7 978-1-4614-7618-4.
URL <http://link.springer.com/10.1007/978-1-4614-7618-4>.
- Paulo Cortez. Data mining with neural networks and support vector machines using the R/rminer tool. In *Advances in Data Mining. Applications and Theoretical Aspects*, pages 572–583. Springer, 2010. URL
http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-14400-4_44.
- Paulo Cortez. A tutorial on using the rminer R package for data mining tasks. report, Universidade do Minho. Escola de Engenharia, July 2015. URL
<http://repository.sdu.m.uminho.pt/handle/1822/36210>.
- Hadjia M. Diagne, Mathieu David, Philippe Lauret, and John Boland. *Solar irradiation forecasting: state-of-the-art and proposition for future developments for small-scale insular grids*. PhD thesis, American Solar Energy Society, 2012. URL
https://ases.conference-services.net/resources/252/2859/pdf/SOLAR2012_0617_full%20paper.pdf.
- Annette Hammer, Detlev Heinemann, Carsten Hoyer, Rolf Kuhlemann, Elke Lorenz, Richard Müller, and Hans Georg Beyer. Solar energy assessment using remote sensing technologies. *Remote Sensing of Environment*, 86(3):423–432, August 2003. ISSN 00344257. doi: 10.1016/S0034-4257(03)00083-X. URL
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S003442570300083X>.
- Takeshi Hashimoto and Yohei Nagakura. Prediction of Output Power Variation of Solar Power Plant by Image Measurement of Cloud Movement. *Journal of Advanced Research in Physics*, 2(2), 2012. URL <http://85.122.26.3/jarp/index.php/jarp/article/viewArticle/86>.
- Katie Kaku and Cameron W. Potter. Creating High-Resolution Solar Information from Satellite Imagery and Numerical Weather Prediction Modelling. In *Proceedings of the 47th ANZSES* 

- Annual Conference, Townsville, Queensland Australia, 29th Sept–2nd October 2009, 2009.
URL http://c0402442.cdn.cloudfiles.rackspacecloud.com/static/ttcms/1.0.0.26/us/documents/publications/ANZSES_Kaku_and_Potter.pdf.
- Zhenzhou Peng, Shinjae Yoo, Dantong Yu, Dong Huang, Paul Kalb, and John Heiser. 3D Cloud Detection and Tracking for Solar Forecast Using Multiple Sky Imagers. In *Proceedings of the 29th Annual ACM Symposium on Applied Computing*, SAC '14, pages 512–517, New York, NY, USA, 2014. ACM. ISBN 978-1-4503-2469-4. doi: 10.1145/2554850.2554913. URL <http://doi.acm.org/10.1145/2554850.2554913>.
- Vaisala. Vaisala 3TIER Services Global Solar Dataset - Methodology and Validation. Technical report, 3TIER, 2015.
- Fei Wang, Zengqiang Mi, Shi Su, and Hongshan Zhao. Short-Term Solar Irradiance Forecasting Model Based on Artificial Neural Network Using Statistical Feature Parameters. *Energies*, 5(12):1355–1370, May 2012. ISSN 1996-1073. doi: 10.3390/en5051355. URL <http://www.mdpi.com/1996-1073/5/5/1355/>.