

AVALIAÇÃO DO RECURSO SOLAR NO CHILE

Alberto Ortega – aortegaa@puc.cl

Rodrigo Escobar – rescobar@ing.puc.cl

Departamento de Ingeniería Mecánica y Metalúrgica, Pontificia Universidad Católica de Chile
Santiago, Chile

Humberto Vidal – humberto.vidal@umag.cl

Departamento de Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Magallanes
Punta Arenas, Chile

Samuel Luna de Abreu - samuel@emc.ufsc.br

Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina – Unidade São José
Florianópolis, Brasil

Sergio Colle – colle@emc.ufsc.br

Laboratório de Engenharia de Processos de Conversão e Tecnologia de Energia Departamento de Ingeniería Mecánica
Universidad Federal de Santa Catarina
Florianópolis, Brasil

Resumo. A política energética do governo chileno e os planos do setor de geração de energia incluem plantas eólicas, geotérmicas, hídricas e de biomassa para introduzir sistemas de energia renovável no país, mas a energia solar não é mencionada como parte desses planos. Esta aparente falta de interesse na energia solar é em parte devido à falta de uma base de dados adequada para atividades de projeto ou planejamento de sistemas energéticos. A única base de dados de radiação solar disponível é relativamente antiga, com medições realizadas em 89 estações a partir dos anos 60, obtidas com sensores de alta incerteza tais como dispositivos Campbell-Stokes e piranógrafos. Além disso, nem todas as estações possuem as medidas de radiação solar para um intervalo de tempo adequado. Neste trabalho, é feita uma comparação de uma base de dados de irradiação solar no Chile com estimativas feitas com medidas de satélite obtidas do website do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. Mapas de energia solar em base média mensal são gerados utilizando ambas as fontes de dados e comparadas, usando métodos Kriging para interpolação espacial. Foi encontrado um desvio máximo de 30%, com cobertura de neve na Cordilheira dos Andes adicionando níveis adicionais de incerteza. Os níveis de energia solar através do país podem ser considerados altos, e pensa-se que serão adequados para o planejamento energético caso haja uma apropriada difusão e suporte para edição de um Atlas Solar Chileno.

Palavras-chave: Chile, Avaliação do potencial, Estimativas de satélite, Energia Solar.

1. INTRODUÇÃO

Chile possui uma grande variedade de recursos naturais, e através da produção, adição de valor e exportação de tais recursos tem surgido como uma economia bem sucedida. Porém, Chile tem limitados recursos energéticos além da sua capacidade hídrica e da produção interna de combustível fóssil que esta diminuindo em forma permanente e é desprezível. O país confia em excesso nas importações de combustível para satisfazer a demanda crescente de energia, convertendo o país num importador neto de energia. A Figura 1 mostra o balanço do consumo de energia primaria em 2006 [REF CNE].

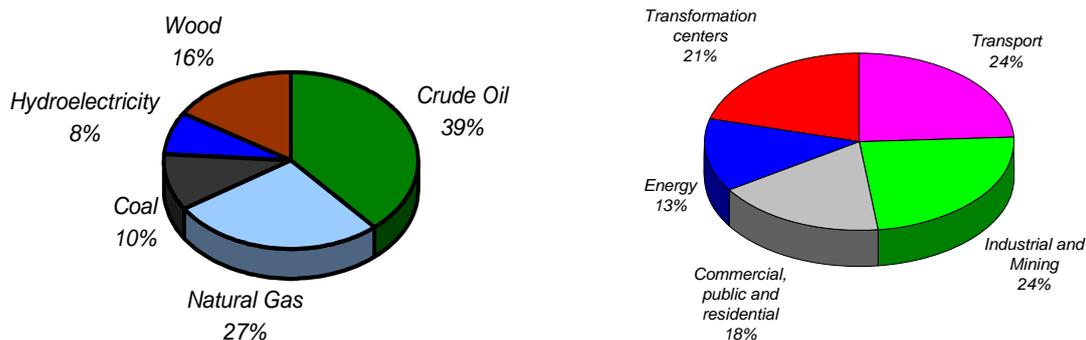


Figura 1: Consumo de energia primaria chilena em 2006 por fonte e setor.

As fontes de energia renovável usadas no país compreendem somente recursos hídricos e de biomassa baseada na madeira. No melhor dos casos, as fontes de energia renovável representam apenas 24% do consumo de energia primária, enquanto que os recursos não-renováveis representam o outros 76%. Conforme mostrado na Figura 2, o consumo de energia primária (E_p) tem crescido de forma permanente, e projeta-se que continue aumentando na medida em que o país adquira um maior desenvolvimento.

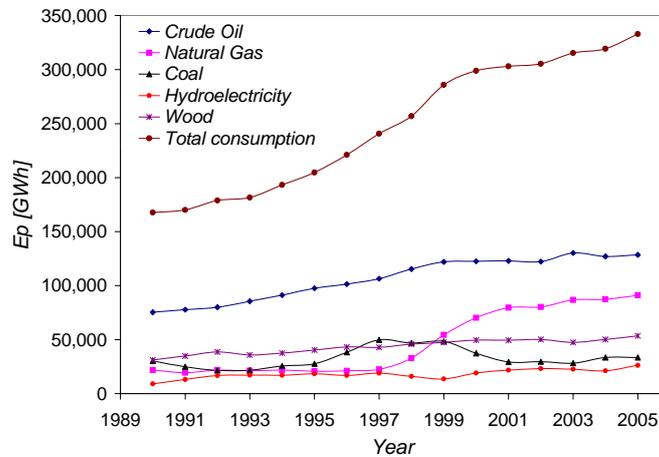


Figura 2: Consumo histórico de energia primária

A situação do abastecimento de energia torna-se de importância crítica para que o país possa atingir três metas estratégicas: fornecer um adequado abastecimento de energia para continuar seu crescimento econômico; assegurar-se que o acesso à energia importada seja através de mercados internacionais para satisfazer qualquer requerimento que não possa ser fornecido pela produção interna; e assegurar o desenvolvimento de fontes de energia interna a uma taxa suficiente e necessária para a substituição de recursos energéticos importados de forma a rapidamente conseguir segurança e certo grau de independência energética.

1.1 Potencial de energia renovável

Pensa-se que o Chile é dotado de forma abundante com recursos energéticos renováveis: hídricos, geotérmicos, eólicos, e solar. Porém, uma avaliação de recursos energéticos renováveis a grande escala não foi conduzida para a eólica e a solar, e em consequência, nenhum esforço de planejamento energético que considere estas fontes renováveis tem sido até agora considerado. A potencia solar é raramente usada, limitando-se a painéis fotovoltaicos para eletricidade rural, sendo sua contribuição total à matriz energética desprezível. O deserto de Atacama na região norte do país é uma das melhores regiões do mundo para aproveitamento da energia solar, baseados em dados de densidade de energia obtidos de varias fontes. Infelizmente, a população das proximidades é bastante escassa, o que forçaria a implementação de esquemas de distribuição para fornecer a energia gerada na forma solar para a população e indústrias localizadas na parte central do país. A avaliação do recurso solar no Chile data dos anos 60, quando esforços que foram dirigidos pela Universidade Técnica Federico Santa Maria, levantaram dados de aproximadamente 70 piranógrafos, e dispositivos Campbell-Stokes, abrangendo um período de 20 anos. A maior parte destes dados tem um nível de incerteza relativamente alto, fazendo-os desta forma inadequados para planejamento de energia no nível de política nacional. Ainda assim, o dado é útil para avaliação de aquecimento solar de água e ar, e facilmente disponível em Sarmiento (1984). Portanto, um atlas de energia solar chileno não esta disponível para o publico ou para as autoridades de planejamento, e é parte das razões pelas quais a Energia Solar não esta sendo considerada no Chile como uma fonte alternativa de energia. É, portanto, necessário fazer um levantamento de dados de irradiação solar de qualidade aceitável para facilitar o desenvolvimento da energia solar no Chile. No que segue, será feita uma revisão e análise dos dados de energia solar disponíveis de estações de medida em superfície, comparadas estas com as medidas de satélite obtidas pelo INPE, e feita uma proposta de mapas de irradiação que pretendem diminuir e minimizar a incerteza dos dados disponíveis.

2. MEDIÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR

Dados de irradiação solar para regiões extensas podem ser obtidos de redes de estações de superfície, as quais fornecem pontos de dados discretos dos quais o mapa contínuo pode ser obtido através de medias de um apropriado esquema de interpolação. A irradiação de superfície também pode ser estimada através do processamento de dados de satélite. O ultimo Atlas Brasileiro de Energia Solar [15], por exemplo, combina as duas técnicas de medida para obter dados com baixos níveis de incerteza. Medidas baseadas em piranômetros de estações de superfície têm tipicamente níveis de incerteza mais baixos que dados provenientes de satélite obtidos através de modelos de transferência radiativa, apesar de que isto não pode ser garantido para lugares entre estações, onde o dado é calculado através de médias de

esquemas de interpolação. Todavia, tem sido mostrado que os níveis de incerteza para dados interpolados a partir de medições na superfície são maiores que as medidas provenientes de satélite sempre que a distância entre estações seja maior que 45 km [1].

2.1 Estimativa de satélite da irradiação superficial

A radiação solar é atenuada ao atravessar a atmosfera por difusão e absorção, com as nuvens, gases atmosféricos, e a superfície refletindo 30% da radiação extraterrestre incidente. O 70% restante é absorvido pelo planeta no processo de aquecimento da superfície e causando evaporação de água [2]. Assim, para estimar apropriadamente a quantidade de radiação solar que a superfície da terra recebe, é necessário determinar a contribuição de cada processo radiativo envolvido na transmitância atmosférica. Os modelos computacionais que simulam o processo de transferência radiativa podem ser classificados em estatísticos e físicos. Os modelos físicos utilizam dados paramétricos para estimar as propriedades atmosféricas. Os modelos estatísticos utilizam formulações empíricas entre as medidas de radiação incidente na superfície e condições atmosféricas locais, e geralmente são válidos só na vizinhança da região estudada. Os modelos físicos são válidos para qualquer região uma vez que solucionam as equações de transferência radiativa. A principal dificuldade da aplicação de modelos físicos reside na obtenção dos dados necessários para a parametrização das interações entre a radiação solar e o processo atmosférico. Isto inclui informações de cobertura de nuvens e componentes atmosféricos como aerossóis, vapor d'água, ozônio e outros gases [2]. A solução exata das equações de transferência radiativa demanda um tempo computacional elevado. Assim, métodos alternativos têm sido desenvolvidos para obter soluções aproximadas que reduzem o tempo computacional necessária. Desta forma, o modelo físico combina a solução das equações aproximadas com o uso de informações climatológicas e parâmetros determinados a partir de imagens de satélite. Os dados necessários são obtidos de 6 variáveis: temperatura do ar, albedo de superfície, umidade relativa, visibilidade atmosférica, cobertura efetiva de nuvens, e elevação de superfície. Um modelo de perfil continental de aerossóis atmosféricos pode também ser utilizado [3]. A solução aproximada das equações de transferência radiativa assume que a cobertura de nuvens é o principal fator na modelação da transmitância atmosférica. Também é assumido que existe uma relação lineal entre o fluxo de radiação na superfície e o fluxo de radiação refletida pela atmosfera, considerando que a radiação solar extraterrestre está linearmente distribuída entre as duas condições atmosféricas extremas de céu claro e céu completamente encoberto [4].

Estimativas da radiação superficial são obtidas a través da aplicação do modelo GL1.2 às imagens do satélite obtidas do website do INPE. O modelo foi desenvolvido no centro de previsão de tempo e estudos climáticos CPTEC do INPE. GL1.2 fornece a previsão da irradiação solar média diária para a região da América do Sul a partir de imagens do canal visível do satélite GOES estimando a irradiação em cada pixel, e calculando uma média de arranjos num alvo de 3x3 pixels. A serie de dados está composta de uma grade regular com resolução de 0,4° x 0,4°, as quais são disponíveis na forma de médias de 5 dias e dividida em 5 regiões abrangendo a maioria de América do Sul com limite sul a latitude -45° aproximadamente. Os detalhes do modelo GL1.2 são apresentados em Ceballos et al. (2004).

3. DADOS DISPONÍVEIS

A informação do presente estudo foi obtida de duas fontes: uma base de dados com medições de 89 estações de superfície ao longo do território Chileno, com dados de 1961 até 1983, e estimações de satélite de Marco de 1995 até Dezembro de 2006 [6,7].

Os dados da estação de superfície foram fornecidas pelo Arquivo Solarimétrico Nacional Chileno, localizado na Universidade Técnica Federico Santa Maria, e gentilmente providenciados pelo Professor Pedro Sarmiento, autor de vários livros de interesse na área solar. As estações não estiveram em operação contínua, possuindo diferentes intervalos de medições [10]. Detalhes da localização das estações e anos para os quais se têm dados disponíveis são apresentados na Tabela 1. O método de Kriging [12] foi utilizado para a interpolação dos dados das 89 estações.

Os dados de satélite estão disponíveis através do site <http://www.cptec.inpe.br/>. A matriz GL1.2 (versão V01 e V02 CPTEC/INPE) é gerada com as imagens do satélite GOES e GOES 12. O modelo GL1.2 foi validado através da comparação com 80 estações de superfície da Rede Solarimétrica Brasileira, apresentando um bom nível de aproximação dos resultados [15]. A comparação com estações de superfície resultou num bom desempenho com um desvio médio mensal inferior a 10 W/m² e desvio padrão dos dados mensais inferior a 20 W/m² [9].

A Figura 3 ilustra a irradiação solar media anual para Chile entre os 18° até 40°S, e 74° até 68°W, comparando dados de satélite e estações de superfície.

Tabela 1: Anos para os quais se têm dados disponíveis em estações de superfície

Table of some Solarimetric Station Location and the state of Data Series between 1961 and 1984.																										
Locations	Lat	Long	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
1 Arica	-18.50	-70.17			•	•	•	•	✓	•	✓	✓	✓	✓	✓	✓	•									
2 Iquique	-20.22	-70.15					✓	✓	•				•	✓	✓	✓	•									
3 Chuquicamata	-22.32	-68.93	•	✓	•	•																				
4 Calama	-22.47	-68.92											•	✓	✓	✓	•									
5 San Pedro de Atacama	-22.92	-68.18						•	✓	✓	✓		•	•												
6 Antofagasta	-23.47	-70.43									•	✓	✓	✓	✓	✓	•									
7 Copiapó	-27.35	-70.33		•	✓	✓	✓	✓	•	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	•									
8 Vallenar	-28.58	-70.77											•	✓	✓	✓	•									
9 La Serena	-29.90	-71.25											•	✓	✓	✓	•									
10 Ovalle	-30.57	-71.18		•	✓	•	•	•	✓	✓	•	•	•	✓	•											
11 Quillota	-32.17	-71.27																•	•	•	✓	•	•	•	•	
12 Valparaíso	-33.03	-71.60	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	•	
13 Santiago	-33.57	-70.68			•	✓	✓	✓	•	✓	✓	✓	•													
14 San Fernando	-34.60	-71.00			✓	•							•		•	•	•									
15 Talcahuano	-36.62	-73.10				•	✓	•																		
16 Concepción	-36.83	-73.03			•	•	•	•	•	✓	✓	✓	✓	✓	✓	•	•									
17 Pucón	-39.27	-71.97					•	•	•	•	•	✓	✓	•												
18 Alto Palena	-43.62	-71.78						•	✓	•	•	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
			✓	Compleat year of mesures											•	Uncomplet year of mesures										

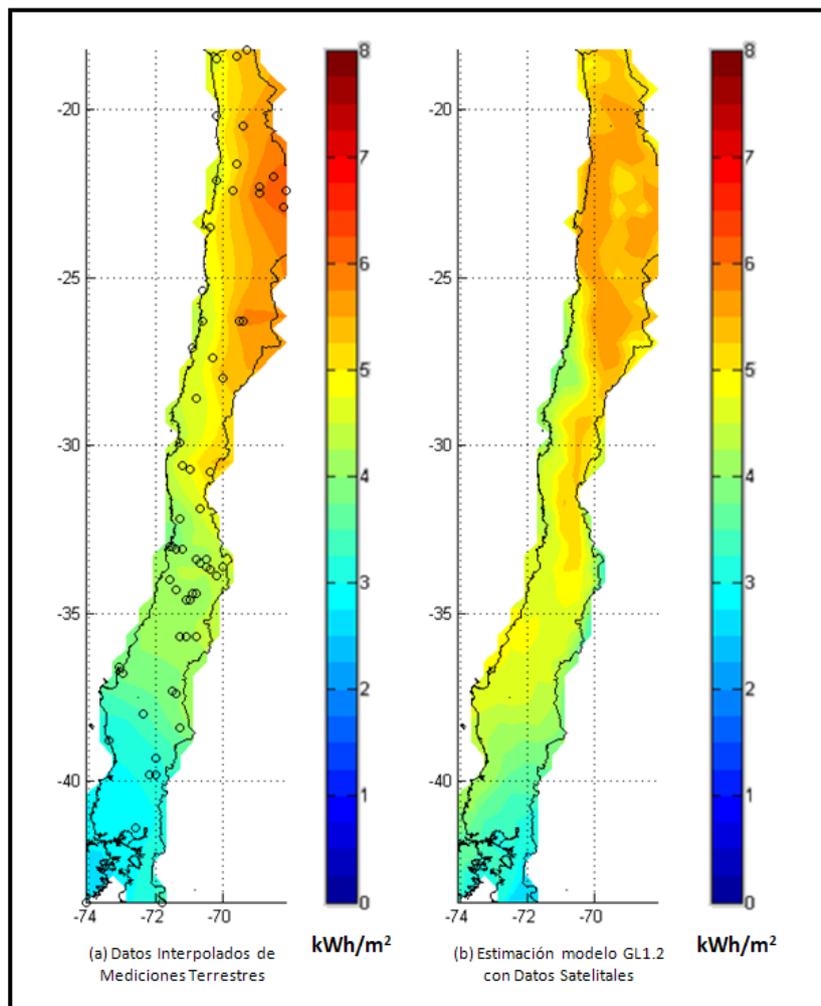


Figura 1: Irradiação solar diária media anual do Chile (a): Arquivo Nacional de Dados Solarimétricos, e (b): Estimativas derivadas de satélites GOES 8 e GOES 12.

4. ANALISE DE INCERTEZA

A incerteza dos resultados interpolados em relação ao modelo de satélite pode ser avaliada usando MBE (Mean Bias Error), RMSE (Root Mean Square Error) e MPE (Mean Percentage Error), definidos como em [13]. MBE e MPE são calculados para estimar os desvios entre os dados provenientes de estações de superfície e os dados de satélite.

Os resultados são divididos em 3 regiões: norte (18° até 32°S), centro (32° até 36°S), e sul (36° até 44°S). A Tabela 2 apresenta os erros calculados. Pode-se observar que, a média anual apresenta um erro de desvio inferior a 10 W/m², com uma porcentagem de erro médio de 7%. No entanto, existem erros na média mensal maiores que 40%, sendo mais notórios durante os meses de inverno. Estes desvios podem ser atribuídos à cobertura do céu e instabilidades climáticas durante inverno, fatores que influenciam os níveis de incerteza dos piranógrafos e afetam os modelos de processamento de imagens satélites. É possível também observar que os menores níveis de erro estão localizados na região norte do país, a qual sendo um setor desértico próximo da linha do Equador apresenta uma variabilidade de clima menor.

Outra fonte de erro do modelo GL1.2 consiste na inabilidade para diferenciar a refletância devido a cobertura das nuvens e a refletância devido ao solo coberto de neve. Desta forma, durante o inverno, a cordilheira dos Andes na região centro e sul do Chile pode ser interpretada de forma errônea como cobertura de nuvens, produzindo regiões de baixa radiação [14].

Outra fonte de incerteza decorre do fato que a série de dados não esta sobreposta no tempo, sendo os dados de satélite mais recentes. Finalmente, devido ao fato que algumas estações de superfície têm medidas de apenas um ano, é altamente provável que a base de dados não seja representativa de um ano climático típico, TMY. Adicionalmente, não existe uma análise de incerteza ou reportes de calibração de instrumentos nos dados provenientes de estações de superfície.

4.1 Séries temporais de dados de estações de superfície e derivados de satélite

Os dados disponíveis de 61 estações de permitem uma comparação entre as estimativas de satélite e os dados de superfície. Constatou-se que em mais de 37% dos dados de superfície a correlação com os dados de satélite chega a 0,99, enquanto que em mais de 75% dos casos é superior que 0,97. A máxima correlação foi de 0,997 e a mínima 0,924. A Figura 4 mostra uma comparação entre as series temporais das medias mensais medidas em superfície e derivadas a partir de imagens de satellite em quatro diferentes locais. Observa-se que em algumas situações a concordância entre os dados medidos e estimados é bem melhor que em outros casos.

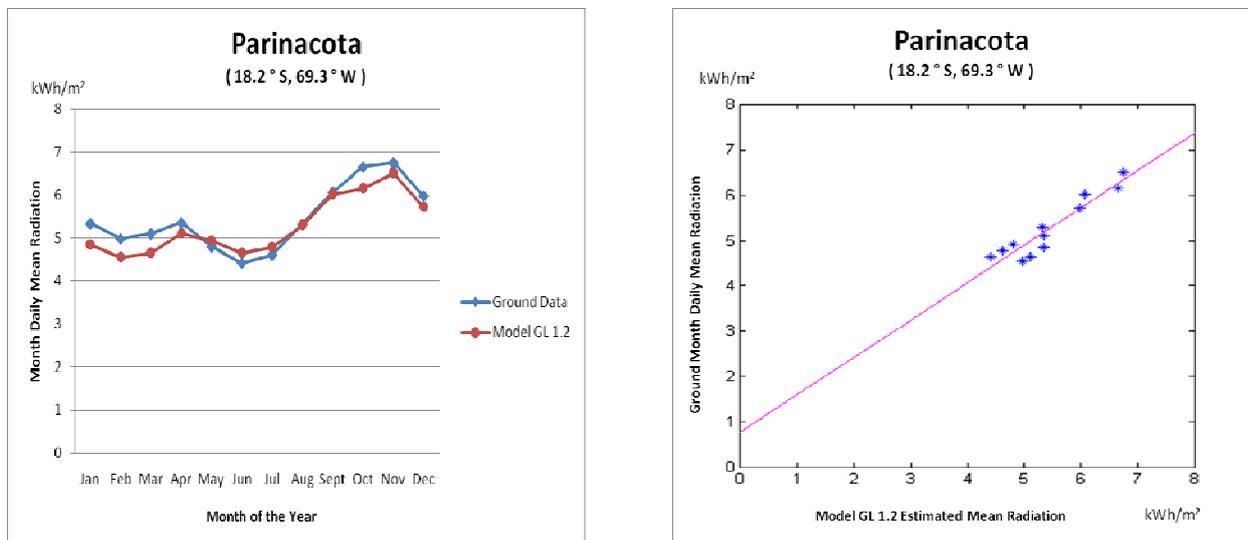


Figura 4: Séries temporais e correlações estatísticas para diferentes locais no Chile: comparação entre dados de superfície e estimativas de satélite.

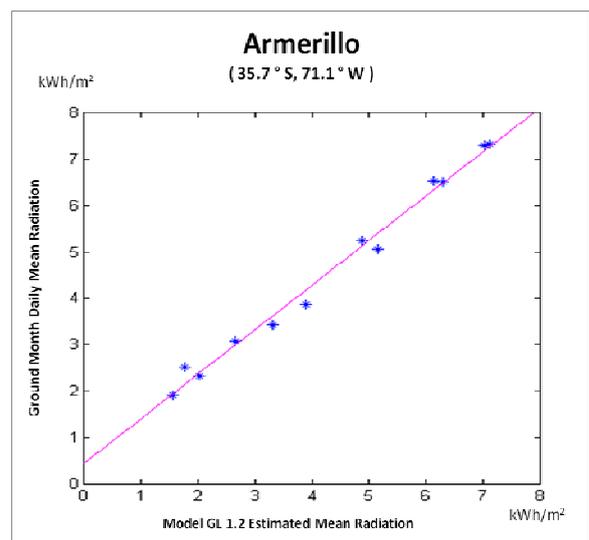
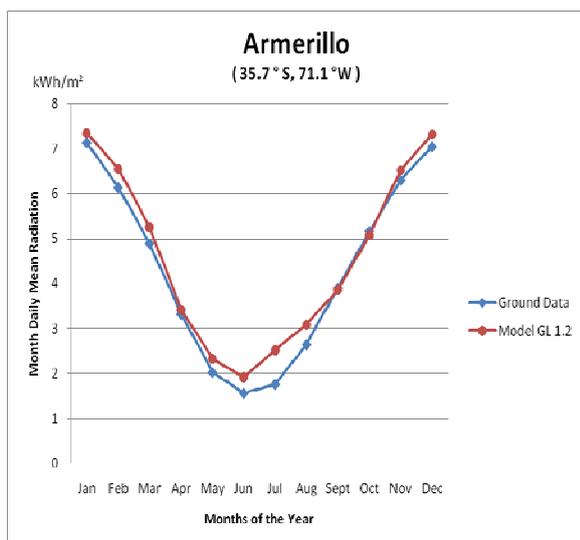
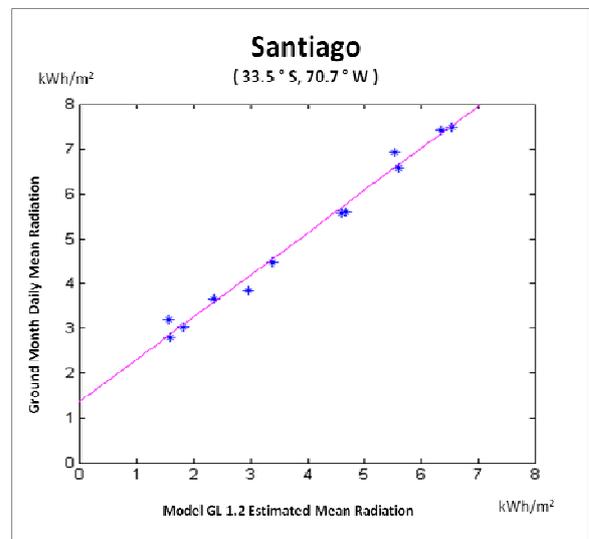
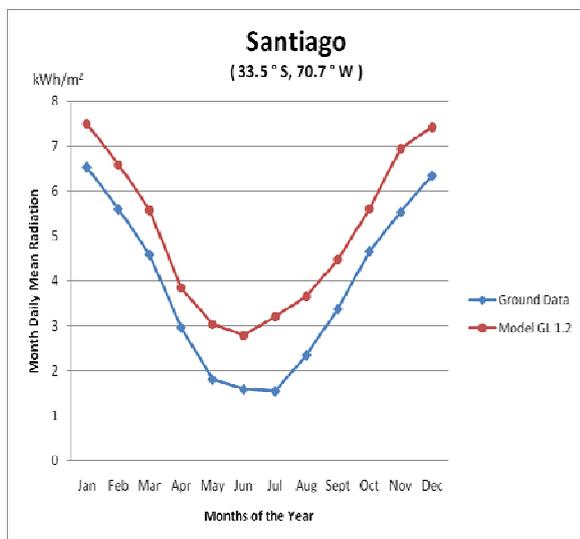
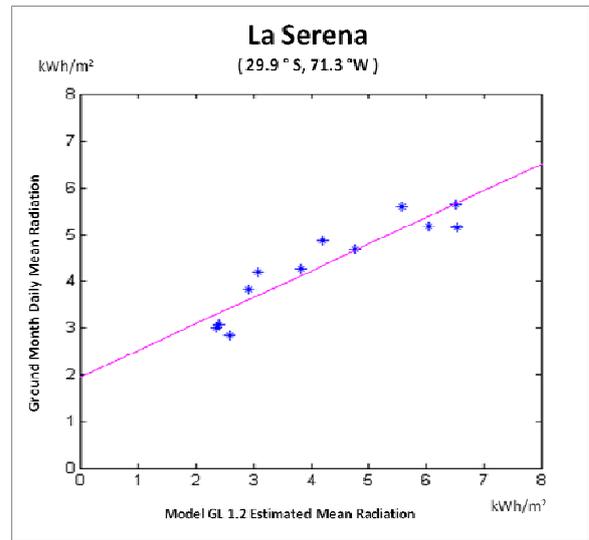
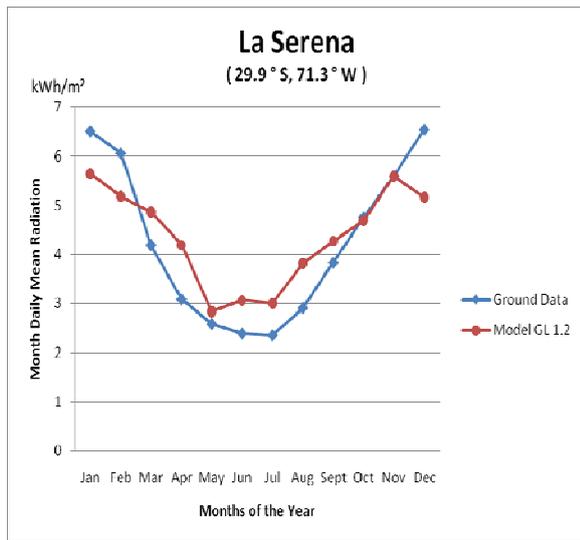


Figura 4 (cont.): Séries temporais e correlações estatísticas para diferentes locais no Chile: comparação entre dados de superfície e estimativas de satélite.

Tabela 2: Erros médios mensais e anuais: comparação entre dados de superfície e estimativas de satélite, em W/m^2 . Dados de MPE em valores percentuais. Table 2 mostra erros médios anuais: comparação entre dados de superfície e estimativas de satélite, em W/m^2

	RMSE				MBE				MPE			
	Norte	Centro	Sur	Todo	Norte	Centro	Sur	Todo	Norte	Centro	Sur	Todo
Enero	30.88	19.31	33.16	30.22	-10.98	5.62	20.39	1.88	-3.69	1.95	8.66	1.24
Febrero	31.24	19.31	37.00	31.83	-9.82	10.00	30.88	6.61	-3.52	4.05	15.97	4.06
Marzo	30.50	24.97	33.75	30.86	-0.44	21.93	28.54	12.52	0.47	11.32	18.66	8.12
Abril	18.76	31.40	36.48	27.77	3.08	20.61	32.76	15.53	2.55	16.24	35.37	15.45
Mayo	16.68	29.87	33.47	25.48	7.94	26.05	32.13	18.67	6.01	30.94	64.21	28.99
Junio	22.97	40.59	31.63	29.23	16.79	32.38	28.18	22.92	14.29	48.77	74.87	39.51
Julio	22.59	45.70	42.08	34.15	10.88	36.91	38.47	23.94	8.92	48.22	93.77	42.87
Agosto	24.61	40.06	42.55	33.99	10.32	22.68	37.00	21.00	7.29	21.07	56.60	25.64
Septiembre	21.26	45.53	34.36	30.65	-3.60	6.88	14.92	4.10	-1.31	5.55	14.04	4.79
Octubre	25.14	35.58	32.00	29.29	-15.43	8.91	13.86	-2.07	-5.84	4.73	8.56	0.52
Noviembre	26.07	36.66	29.00	28.88	-11.90	8.37	2.82	-3.95	-3.95	3.53	1.30	-1.08
Diciembre	34.75	26.28	33.12	33.05	-24.40	6.35	16.04	-6.38	-8.04	2.30	6.41	-0.17
Anual	17.99	28.82	31.71	25.01	-2.30	17.22	24.67	9.57	-0.66	10.17	18.38	7.26
Min(abs)	16.68	19.31	29.00	25.48	0.44	5.62	2.82	1.88	0.47	1.95	1.30	0.52
Max(abs)	34.75	45.70	42.55	34.15	24.40	36.91	38.47	23.94	14.29	48.77	93.77	42.87

Tabela 3: Níveis de erro para as quatro estações selecionadas.

	Location	LAT ° S	LON ° W	RMSE	MBE	MPE	r
1	Parinacota	-18.2	-69.3	0.3018	-0.1774	-3.0016	0.9389
2	La Serena	-29.9	-71.3	0.7409	0.1316	8.8546	0.9248
3	Santiago	-33.5	-70.7	1.1662	1.1474	39.6539	0.9936
4	Armerillo	-35.7	-71.1	0.3454	0.2754	9.8715	0.9943

Na figura 4 são apresentados os dados disponíveis de radiação média na base mensal e os gráficos de dispersão. A tabela 2 mostra o resumo dos erros e correlações para lugares diferentes do território chileno que representam localizações onde o modelo e os dados medidos apresentam correlações similares, entre 0,93 e 0,99, porém com diferentes erros percentuais para os diferentes casos. Isto ocorre devido possivelmente a mudanças associadas à latitude e longitude, tipo e variabilidade do clima e a necessidade de introduzir no modelo dados de umidade, temperatura, albedo e perfil de aerossóis que melhor representem as características do Chile.

A tabela 3 apresenta as correlações e os correspondentes RMSE, MBE e MPE para as zonas Norte, Centro e Sul do país, onde se pode notar que em geral para a zona norte se encontra um erro substancialmente menor que no resto do território entre os dados medidos na superfície e os estimados pelo modelo derivado de satélite. A correlação entre eles não é tão boa como na zona central e do sul, que de maneira diferente da norte apresenta diferenças notavelmente maiores.

Tabela 4: Níveis de erro para as tres zonas do Chile.

ZONES	RMSE	MBE	MPE	r
North	0,6741	-0,1066	0,4981	0,905
Center	0,7994	0,6029	21,7568	0,958
South	0,8193	0,5297	31,0116	0,946

Outra fonte de incerteza é devido aos dados disponíveis não terem sido medidos no mesmo período de tempo que os dados de satélite. Finalmente, como em algumas estações de superfície apenas um ano de dados estava disponível, é muito provável que a base de dados não represente um ano meteorológico típico. Além disso, não há uma análise de incerteza dos instrumentos de medição, nem relatórios de calibração dos sensores de superfície.

5. CONCLUSÕES

Uma avaliação e análise apropriada de sistemas de energia solar precisa da existência de uma base de dados confiável e com alta resolução espacial e temporal. Isto requer de uma grande rede de estações de superfície para a coleta de dados de irradiação, e medições de pelo menos dez anos com instrumentos cuidadosamente calibrados e controlados. No caso do Chile, uma base de dados com estas características não existe, e os dados disponíveis carecem de uma análise do seu nível de incerteza, não estão atualizados, e estão incompletos, com vários anos de dados ausentes para muitas das 89 estações.

A comparação entre os dados de satélite e estações de superfície estão dentro dos níveis de incerteza de outras regiões de América do Sul. Uma análise de incerteza apropriado esta sendo realizado, complementando ambas bases de dados, e com a esperança de produzir um Atlas Solar do Chile com níveis de incerteza nos dados mais baixos que aqueles atualmente disponíveis para engenheiros e cientistas. Pensa-se também que a adoção de dados derivados de satélite através de um Atlas Solar Chileno resultará em níveis médios de incerteza menores. Para adquirir uma base de dados com precisão adequada, é necessário conduzir um novo esforço para instalar uma rede de estações de medição de superfície.

Estes resultados preliminares indicam as vantagens de utilizar modelos derivados de satélite, capazes de produzir estimativas de irradiação solar para América do Sul. A utilização de um atlas solar apropriado terá como resultado uma melhora nas capacidades para realizar análise e projetos de sistemas de energia solar reduzindo os níveis de incerteza. Isto irá constituir o primeiro passo na direção de estimular um maior uso da energia solar no Chile, para geração de potência, industrial, comercial, fornecimento de calor residencial, e refrigeração assistida por energia solar.

Agradecimentos

Os autores agradecem o decisivo e contínuo apoio dado pelo prof. Pedro Sarmiento da Universidade Técnica Federico Santa María no Chile.

REFERÊNCIAS

- [1]. Perez, R.; Seals, R.; Zelenka, A. Comparing Satellite Remote Sensing and Ground Network Measurements for the Production of Site/Time Specific Irradiance Data. *Solar Energy* 1997; 60 (2): 89-96.
- [2]. Pereira, E.; Martins, F.; de Abreu, S.; Ruther, R. Atlas Brasileiro de Energia Solar, São José dos Campos: INPE, 2006.
- [3]. McClatchey, R.A.; Fenn, R.W.; Selby, J.E.A.; Volz, F.E.; Garin, J.S. Optical properties of atmosphere. Bedford, Massachusetts: Air Force Cambridge Research Laboratories 1972, (AFCRL-72-0497), 108p.
- [4]. Gambi, W. Avaliação de um modelo físico estimador de irradiação solar baseado em satélites geoestacionários. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1998.
- [5]. Ceballos, J.C.; Bottino, M.J. Solar radiation in South America, period 1998-2004: Some aspects of a satellite-based data base. XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, Florianópolis, SC 2006.
- [6]. Ceballos, J.C.; Bottino, M.J. Arquivos de Radiação Solar Estimada por Satélite. Séries pentadais para a América do Sul, Versão V01: modelo GL1.2, Outubro 1997 - Março 2005. Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais CPTEC/INPE, 2006.
- [7]. Ceballos, J.C.; Bottino, M.J.; Galvão, A.M.; Rodrigues, M.L. Arquivos de Radiação Solar Estimada por Satélite. Séries pentadais para a América do Sul, Versão V02: modelo GL1.2, Janeiro 1996 - Dezembro 2006. Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais CPTEC/INPE, 2007.
- [8]. Ceballos, J.C.; M.J. Bottino; De Souza, J.M. A simplified physical model for assessing solar radiation over Brazil using GOES 8 visible imagery, *Journal of Geophysics* 2004. Res., 109, D02211, doi:10.1029/2003JD003531.
- [9]. Ceballos, J.C.; Bottino, M. J. Estimativa de radiação solar por satélite: Desempenho do modelo operacional GL 1.2. Anais do XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza - CE, 2004.
- [10]. Cáceres, R. Modelo Estadístico de la Radiación total en plano horizontal para diversas estaciones del país. Memoria de Título; Facultad de Ingeniería, Departamento de Mecánica, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile 1984.
- [11]. Allende, H.; Sarmiento, P.; Cáceres, R. Preparación de tabla de radiación total mediante modelo estadístico para la República de Chile. IV Seminario Nacional de Energía Solar y Eólica, Universidad de Concepción, 1984.
- [12]. Davis, John C. *Statistics and data analysis in geology*, 2nd ed. Wiley, New York c1986. ISBN 0471080799
- [13]. Issaks, Edward, and Mohan Srivastava. *Applied Geostatistics*. Oxford University Press, Oxford, 1989.
- [14]. Ceballos, J.C., M.J. Bottino, R. Righini. Radiación solar en Argentina estimada por satélite: Algunas características espaciales y temporales. IX Congremet, Buenos Aires, Argentina. Octubre 2005.
- [15]. Pereire, E., Ramos, F.M, Abreu, S. L., Ruther, R. Atlas Brasileiro de Energia Solar. INPE, 2006.

SOLAR ENERGY RESOURCE ASSESMENT IN CHILE

Abstract. *The Chilean government's energy policy and the power generation sector plans include wind, geothermal, hydro and biomass powerplants in order to introduce renewable energy systems to the country, but they do not mention solar energy to be a part of the plan. This apparent lack of interest in solar energy is partly due to the absence of a valid solar energy database, adequate for energy system planning activities. The only available solar radiation database is relatively old, with measurements taken in 89 stations from the 60's onwards, obtained with high-uncertainty sensors such as Campbell-Stokes devices and pyranographs. Moreover, not all stations have measured incoming solar radiation for an adequate time span. Here, we compare the existing database of solar radiation in Chile with estimations made with satellite measurements, obtained from the GOES program through collaboration with the Brazilian space institution, INPE. Monthly mean solar energy maps are created from both data sources and compared, using Krigging methods for spatial interpolation. It is found that a maximum 30 percent deviation exist, with snow covers in the Andes Mountains adding additional uncertainty levels. The solar energy levels throughout the country can be considered as high, and it is thought that they are adequate for energy planning given proper diffusion and support by editing a Chilean Solar Atlas.*

Key words: *Chile, Resource Assesment, Satellite Estimation, Solar Energy.*