



CICLO DE CONVERSATORIOS Y VIDEOCONFERENCIAS

REALIDADES GLOBALES DE LA ENERGÍA Y EL PETRÓLEO

➤ Potencialidades de la Energía Solar en Venezuela

Conferencista:
Ing. Jesús A. Gómez

Ingeniero Civil UCV 1967.
Master of Science Colorado State University 1972
Consultor en Hidrología, Hidráulica, Hidroelectricidad, Energías Renovables y Cambio Climático Miembro de la comisión de energía de la Academia Nacional de Ingeniería y el Habitat, miembro del Grupo Orinoco.
Coordinador del Grupo de Trabajo 1 sobre la Ciencia del Cambio Climático de la Secretaría Académica para el Cambio Climático
Coautor del informe sobre Modelos matemáticos para el cambio climático para Venezuela en el Primer Reporte Académico para el cambio climático.

Miércoles 14 de marzo
12:00 M.
Auditorio Maoa
CELAUP
Universidad Metropolitana



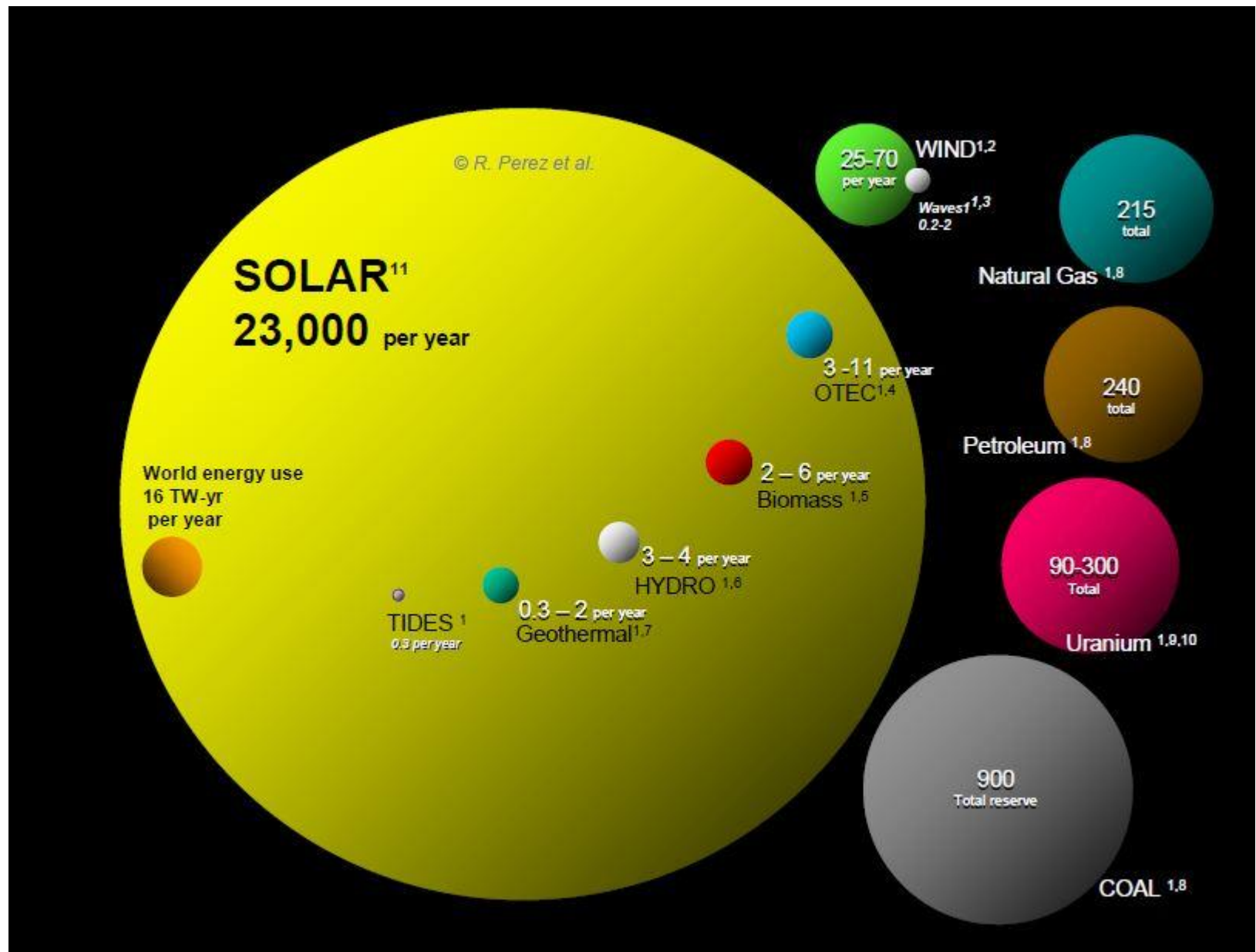
REF: J-00060475



ENERGIA SOLAR EN VENEZUELA

ING. Jesus Augusto Gomez M.

POTENCIAL DE ENERGÍA SOLAR Y OTRAS FUENTES

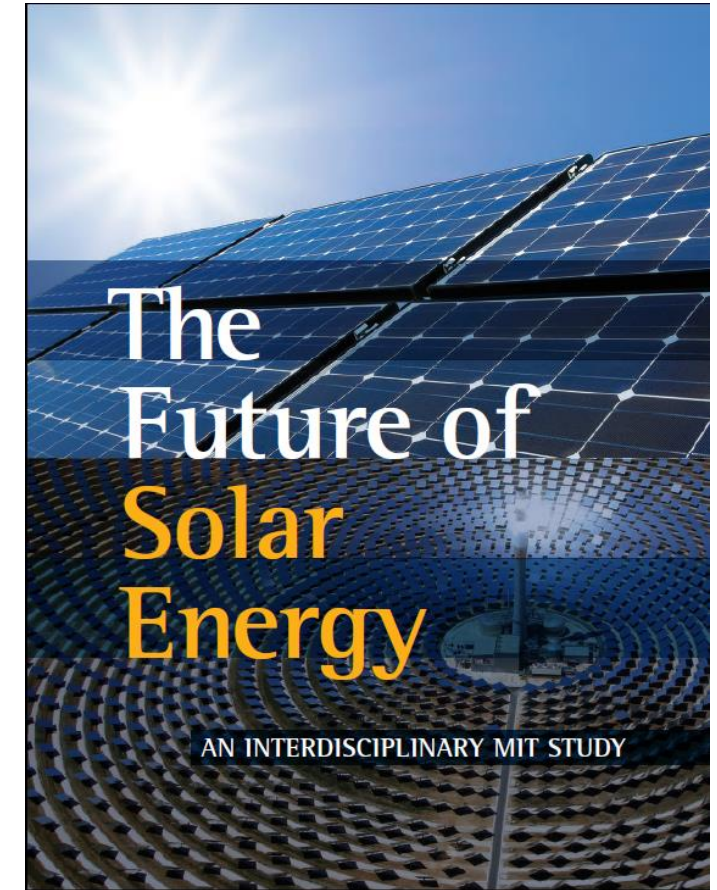


3500 veces la energía que la humanidad consumiría en 2050

ING. Jesus Augusto Gomez M.

- La energía solar es el **recurso energético más abundante en la tierra**, con unos 885 millones teravattios hora (TWh).
- **6200 veces** la energía primaria comercial consumida por la humanidad en 2008 y
- **3500 veces** la energía que la humanidad consumiría en 2050 (ETP 2014 6º escenario)
- *Technology Roadmap. Solar photovoltaic energy.* 2014 International Energy Agency IEA

- “La **energía solar** es la que tiene mayor potencial para cumplir con las demandas energéticas de la humanidad de manera sostenible.”
- “Es fundamental para poder disminuir las emisiones de CO2 a la atmósfera.”



“The Future of Solar Energy”. AN INTERDISCIPLINARY MIT STUDY.
Massachusetts Institute of Technology. May 2015



ENERGIA SOLAR. PROS Y CONTRAS

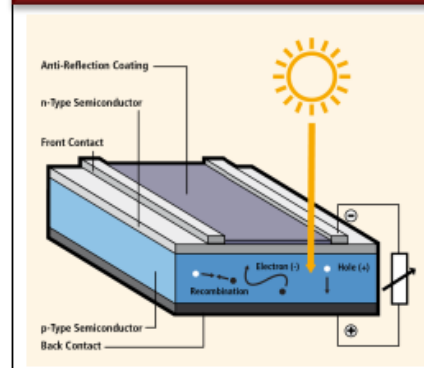
FAVORABLES
Renovable
Abundante
Sustentable
Amigable Ambientalmente
Buena Disponibilidad
Reduce los costos de electricidad
Multiples Aplicaciones
Compatible
Silenciosa
Respaldo Financiero de los gobiernos
Bajo Mantenimiento
Tecnologia en progreso

DESFAVORABLES
Costoso
Intermitente
Alto Costo de almacenamiento
Asociado con contaminacion
Materiales exóticos
Requiere espacio

<http://energyinformative.org>

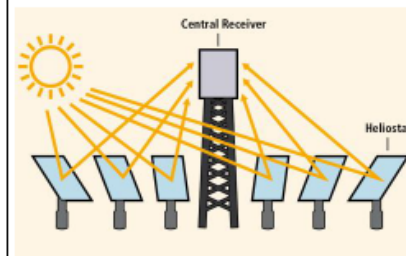
TIPOS DE TECNOLOGIAS SOLARES

Solar Photovoltaic (PV)



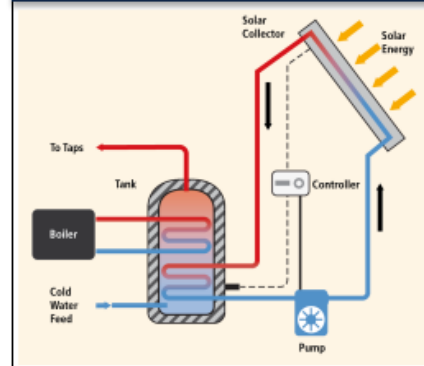
Electricity generation via direct conversion of sunlight to electricity by **photovoltaic cells** (conduction of electrons in semiconductors).

Concentrating Solar Power (CSP)



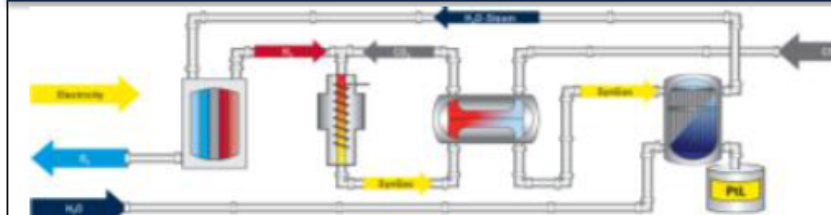
Electricity is generated by the **optical concentration** of solar energy, producing high-temperature fluids or materials to drive heat engines and electrical generators.

Solar Thermal



Solar panels made up of evacuated tubes or flat-plate collectors **heat up water stored in a tank**. The energy is used for hot-water supply and, occasionally, space heating.

Solar fuels



Solar Fuels processes are being designed to transform the radiative energy of the sun into chemical energy carriers such as hydrogen or synthetic hydrocarbons fuels (e.g. electrolysis, thermolysis, photolysis).

Note: Direct solar energy technologies exclude natural solar energy conversions, such as natural photosynthesis for biomass.

Source: IPCC (2011), "Special report on renewable energy"; IEA (2011), "Solar Energy Perspectives"; SolarFuel (<http://www.solar-fuel.net/>)

©2013 SBC Energy Institute. Permission is hereby granted to reproduce and distribute copies of this work for personal or nonprofit educational purposes. Any copy or extract has to refer to the copyright of SBC Energy Institute.

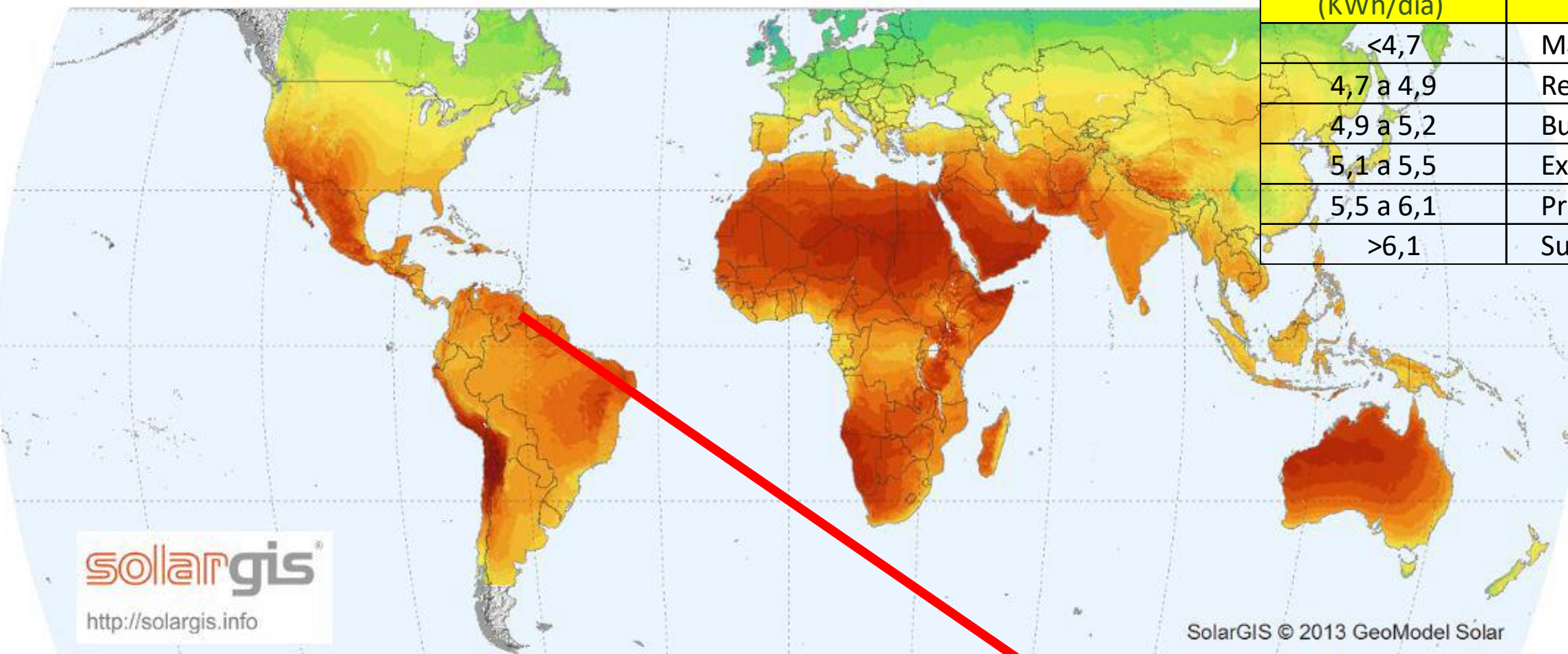
Clasificación de la radiación solar según su potencial

RADIACION SOLAR	Clasificación
(KWh/dia)	
<4,7	Marginal
4,7 a 4,9	Regular
4,9 a 5,2	Bueno
5,1 a 5,5	Excelente
5,5 a 6,1	Premium
>6,1	Supremo

LA CRUZ, E. 2005. Desarrollo en Venezuela de las Fuentes Alternas Renovables de Energía.
Primeras Jornadas sobre las FARE en Venezuela. Puerto Ordaz-Venezuela.

WORLD MAP OF GLOBAL HORIZONTAL IRRADIATION

RADIACION SOLAR	Clasificación
(KWh/dia)	
<4,7	Marginal
4,7 a 4,9	Regular
4,9 a 5,2	Bueno
5,1 a 5,5	Excelente
5,5 a 6,1	Premium
>6,1	Supremo

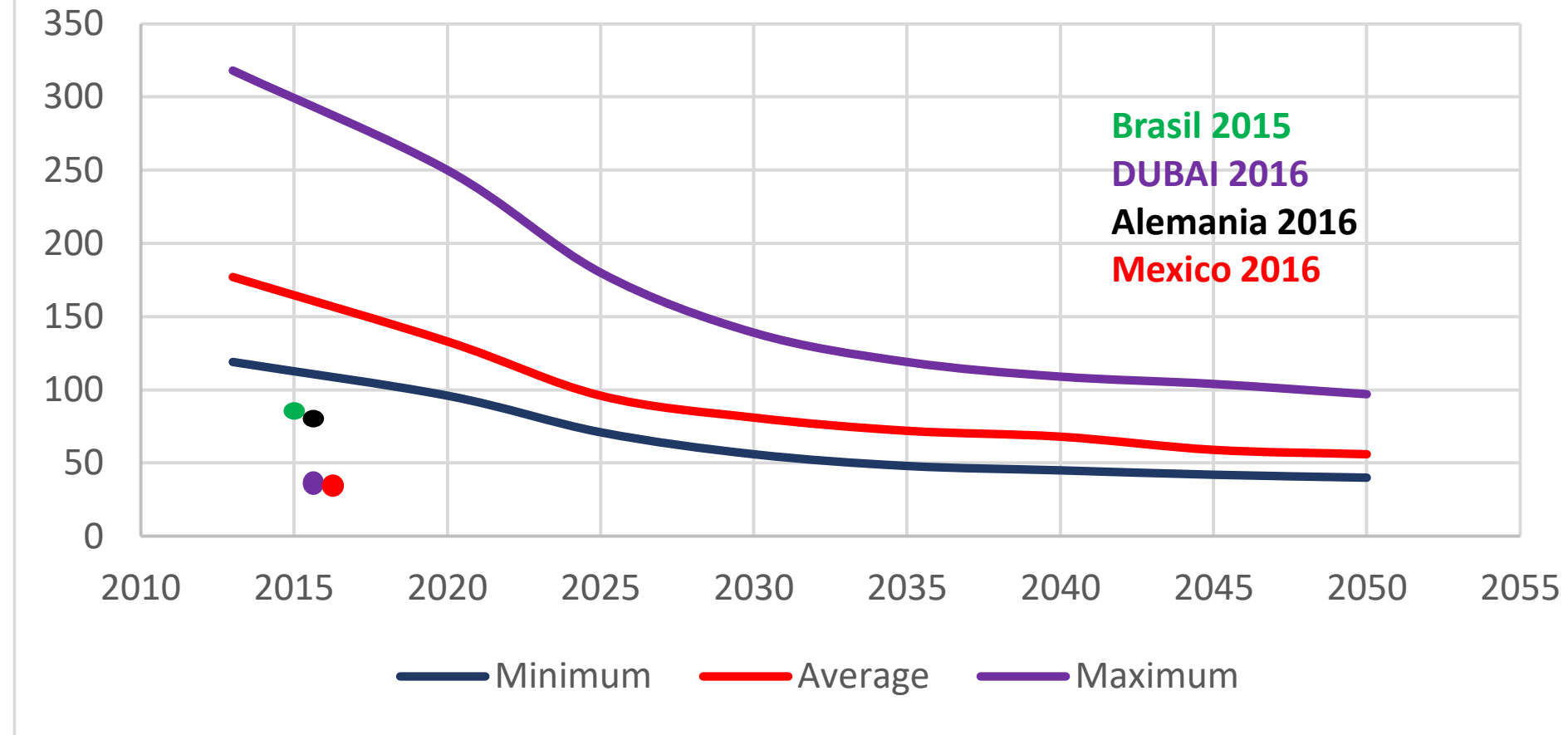


solarGIS
<http://solargis.info>

SolarGIS © 2013 GeoModel Solar



PROYECCIONES DE LCOE PARA NUEVAS PLANTAS SOLAR PV AL 2050 (US\$/MWh) (hi-ren Scenario)



El costo nivelado de energía (LCOE) representa un costo constante por unidad de generación, que se calcula para comparar el costo de generación de diferentes tecnologías.

FUENTE: *Technology Roadmap. Solar photovoltaic energy.* 2014 International Energy Agency IEA

ING. Jesus Augusto Gomez M.

REQUERIMIENTOS DE TIERRA PARA PLANTAS SOLARES

Table 9. Summary of Total Land-Use Requirements for PV and CSP Projects in the United States

Technology	Total Area					
	Number of projects analyzed	Capacity for analyzed projects (MWac)	Capacity-weighted average land use (acres/MWac)	Capacity-weighted average land use (MWac/km ²)	Generation-weighted average land use (acres/GWh/yr)	Generation-weighted average land use (GWh/yr/km ²)
Small PV (>1 MW, <20 MW)	115	550	8.3	30	4.1	61
Fixed	52	231	7.6	32	4.4	56
1-axis	55	306	8.7	29	3.8	66
2-axis flat panel	4	5	13	19	5.5	45
2-axis CPV	4	7	9.1	27	3.1	80
Large PV (>20 MW)	32	3,551	7.9	31	3.4	72
Fixed	14	1,756	7.5	33	3.7	67
1-axis	16	1,637	8.3	30	3.3	
2-axis CPV	2	158	8.1	31	2.8	
CSP	25	3,747	10	25	3.5	
Parabolic trough	8	1,380	9.5	26	3.9	
Tower	14	2,358	10	24	3.2	
Dish Stirling	1	2	10	25	5.3	
Linear Fresnel	1	8	4.7	53	4.0	



PAIS	TECNOLOGIA	Area (Ha/MWp) ^a
South Africa	c-Si	0.9-1.4
	CdTe	1.5-2.0
Chile	c-Si	1.0-1.5
	CdTe	1.7-2.2
Tailandia	c-Si	0.8-1.2
	cdTe	1.3-1.8
India	c-Si	1.0-1.5
	CdTe	1.6-2.0
Indonesia	c-Si	0.8-1.2
	cdTe	1.3-1.8

“Land-Use Requirements for Solar Power Plants in the United States”

NREL/TP-6A20-56290 June 2013

A Project Developer’s Guide to Utility-scale Solar Photovoltaic Power Plants

Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants

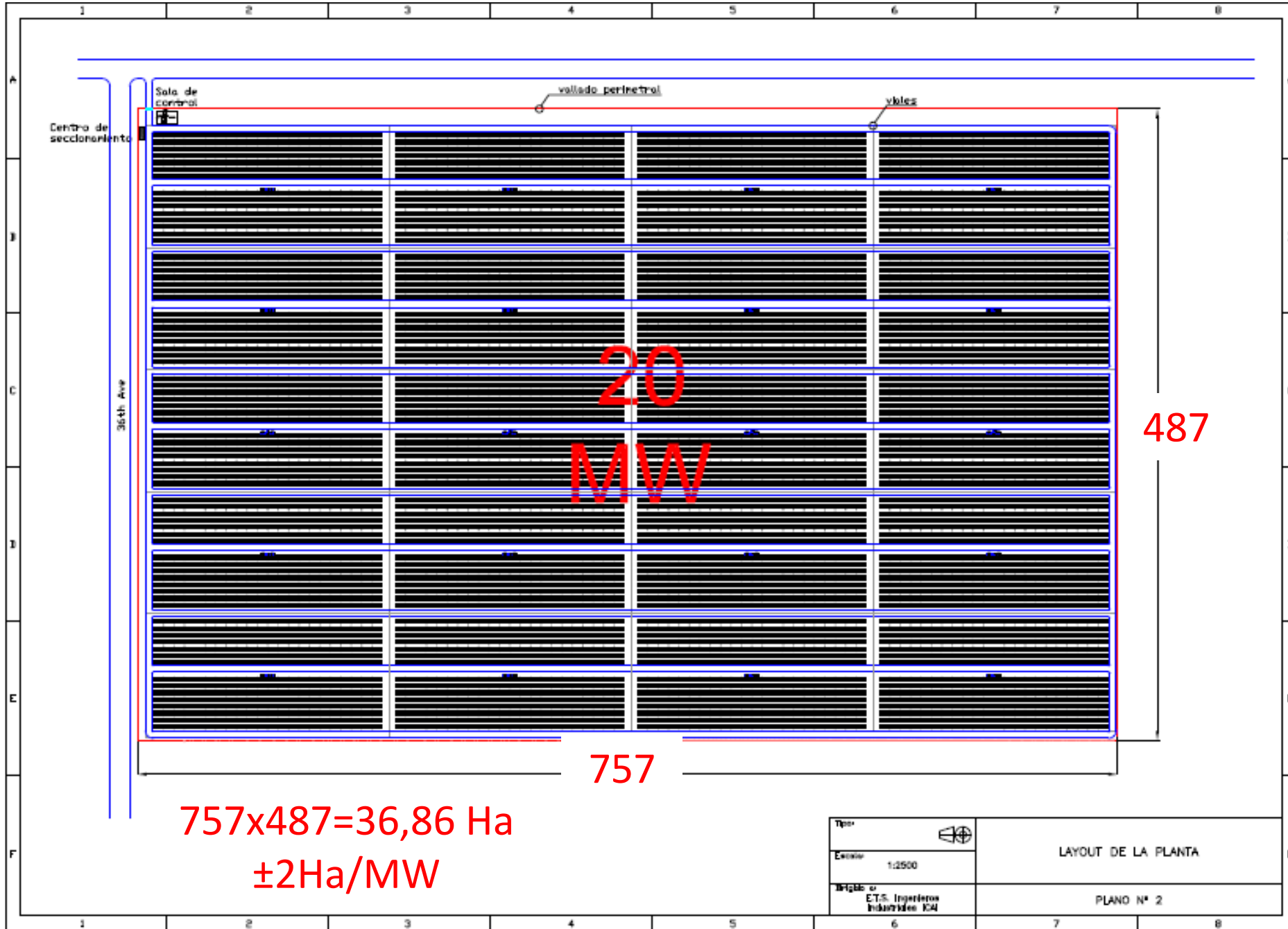
International Finance Corporation 2015

ING. Jesus Augusto Gomez M.

PLANTA TÍPICA

COSTO
US\$ 44.466.945,19
US\$/KW 2223,50 (2012)

200 MW 400 Ha
2.0 x2.0 Km



757x487=36,86 Ha
±2Ha/MW

Tipo		LAYOUT DE LA PLANTA
Escala	1:2500	
Elaborado por	E.T.S. Ingenieros Industriales ICAI	PLANO Nº 2

ALGUNOS EJEMPLOS



ECIJA. Sevilla
50 MW
140 Ha (2,8 Ha/MW)
Ahorro CO2: 31400 T



SOLUNOVA1,2,4. Sevilla
50 MW
137 Ha (2,74 Ha/MW)
Ahorro CO2: 31400 T

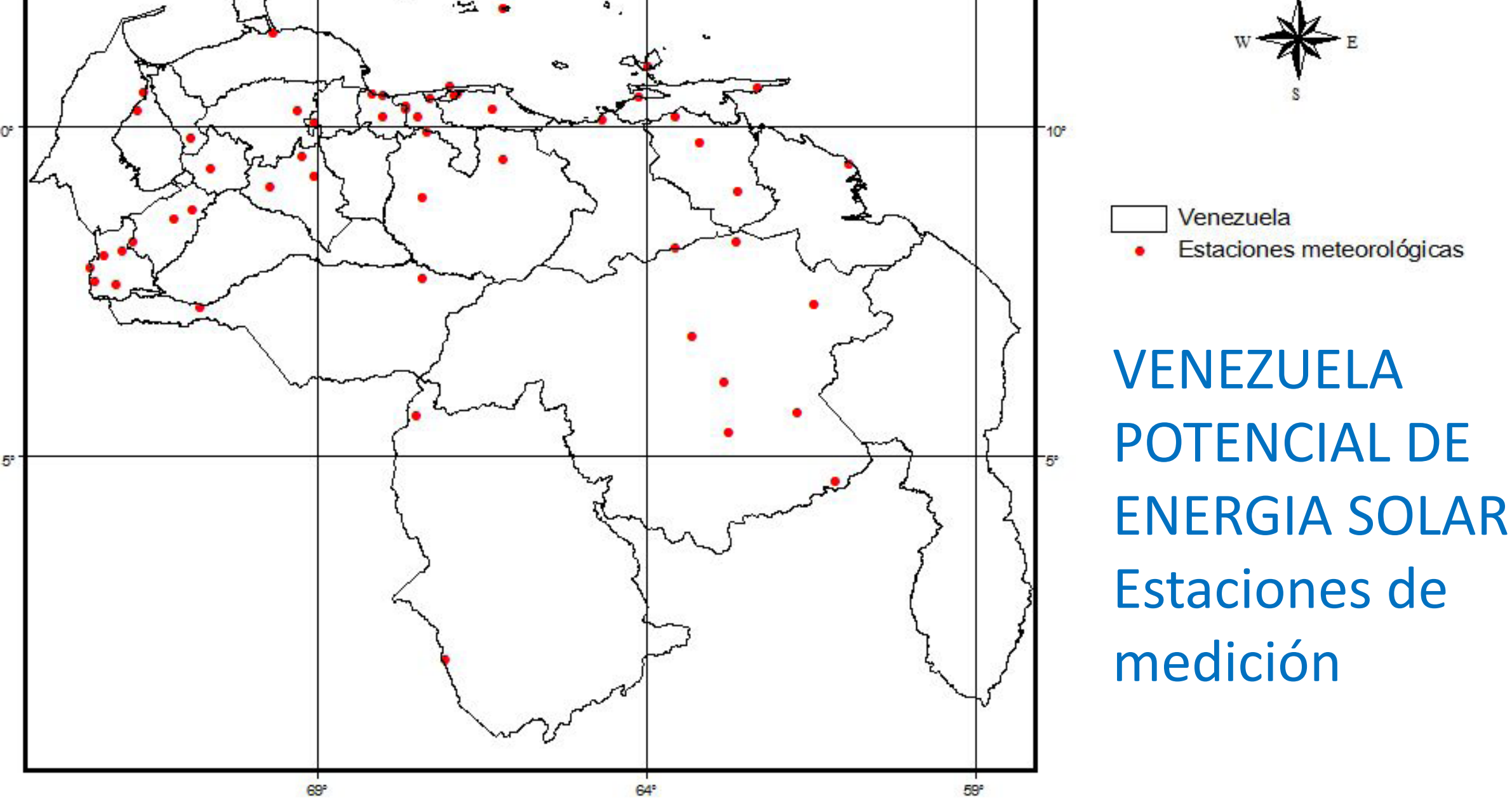


CASTILLA LA MANCHA.
Cdad. REAL
50 MW
140 Ha (2,8 Ha/MW)
Ahorro CO2: 31400 T

2.8 Ha/MW

http://www.abengoasolar.com/web/en/plantas_solares/plantas_propias/espana/

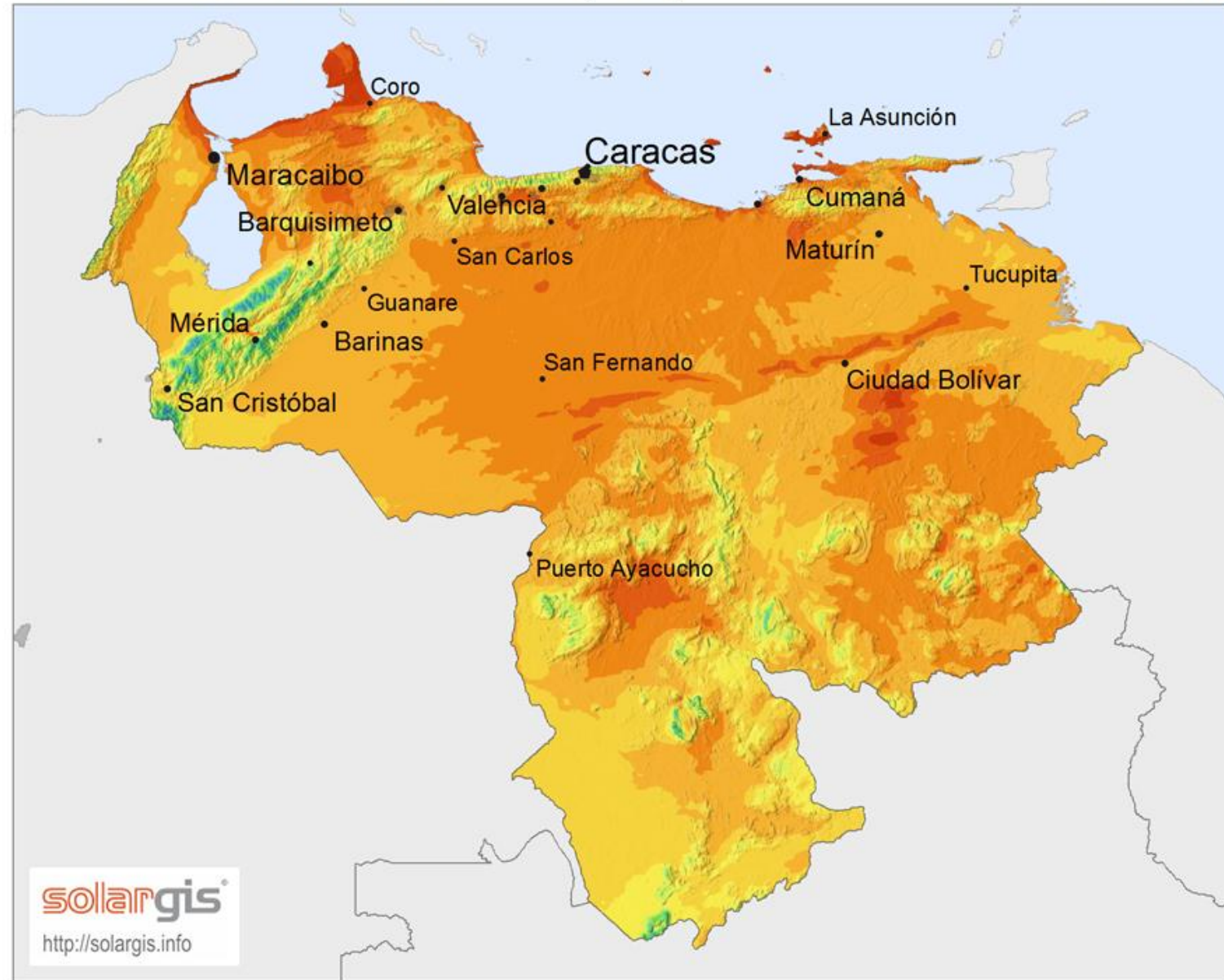
ING. Jesús Augusto Gómez M.



“Estimación del potencial de energía solar en Venezuela utilizando sistemas de información geográfica”. Posso Fausto, González Julio, Guerra Francisco y Gómez Heriberto. *Revista Geográfica Venezolana*, Vol. 55(1) 2014, 27-43.

ING. Jesús Augusto Gómez M.

VENEZUELA RADIACION MEDIA ANUAL KWh/m²

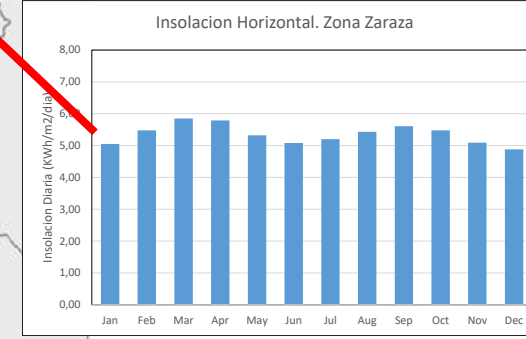
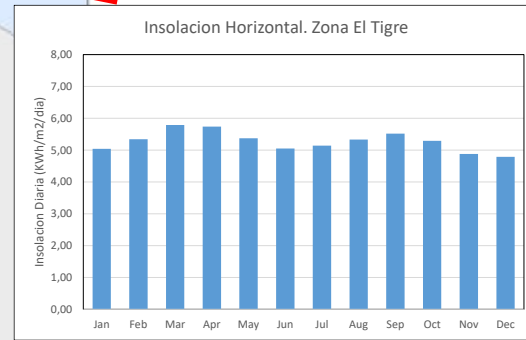
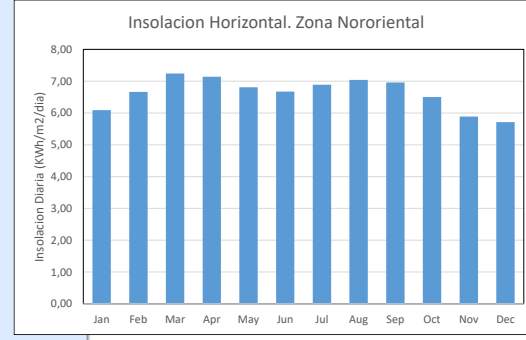
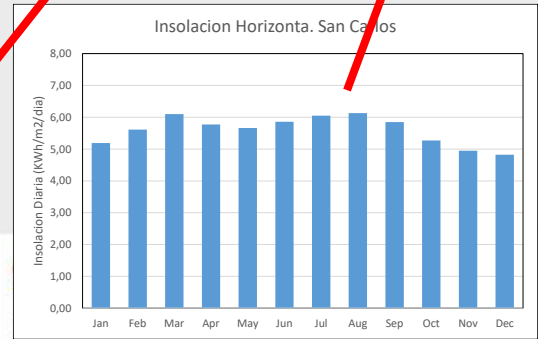
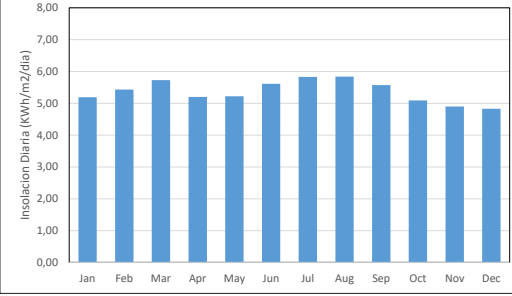
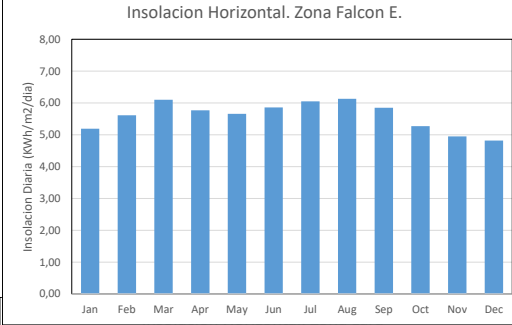
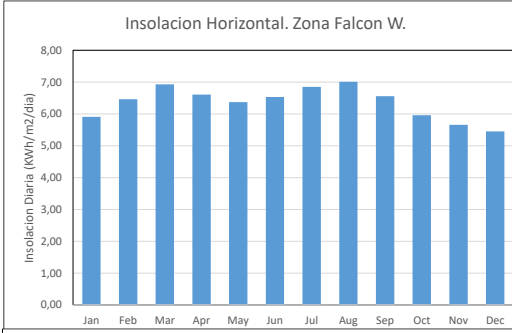
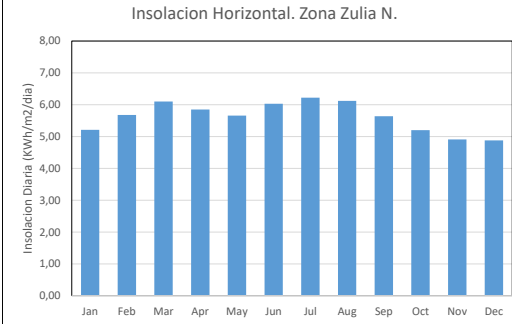
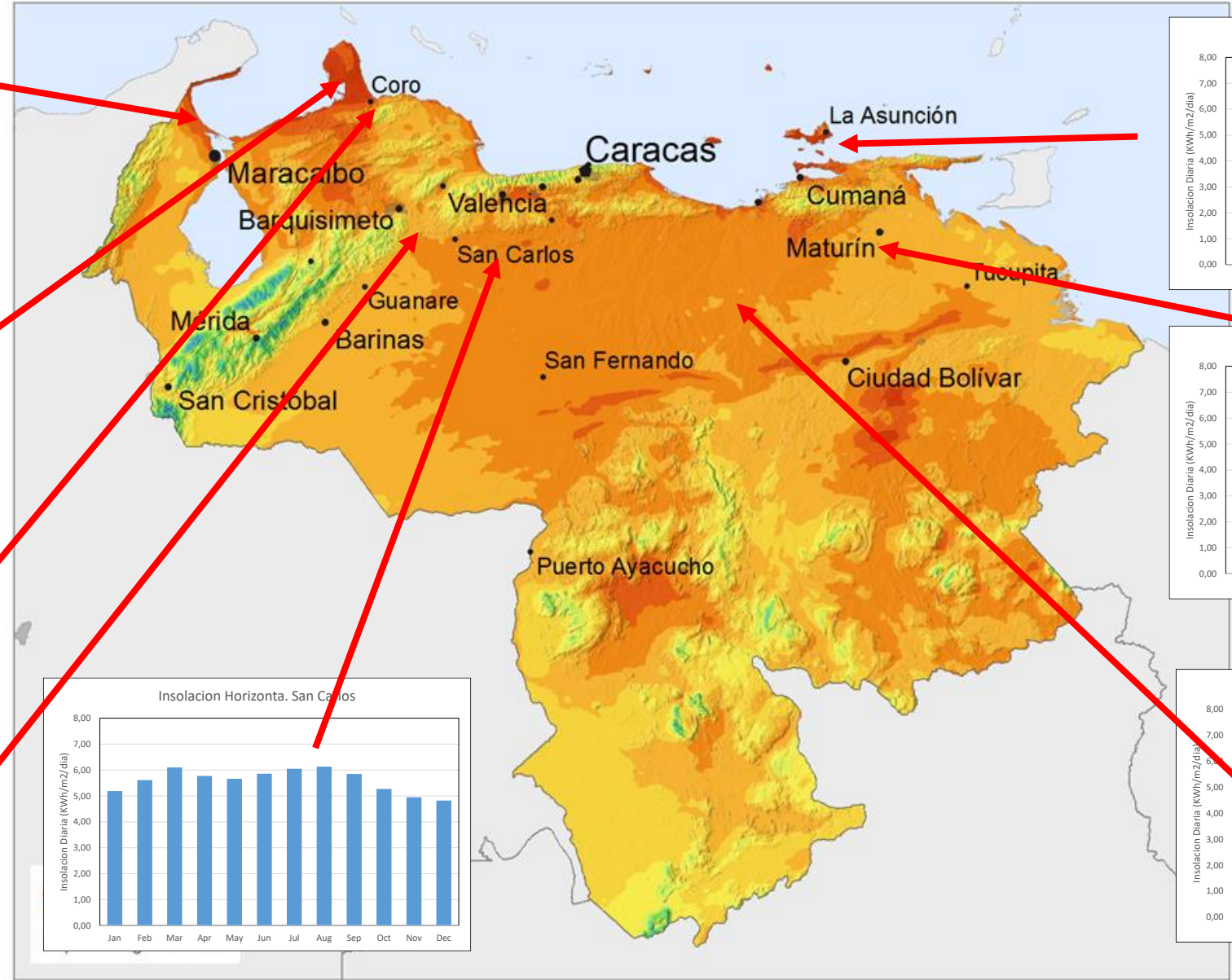


Average annual sum, period 1999-2013



Global Horizontal Irradiation (GHI)

Venezuela



Average annual sum, period 1999-2013

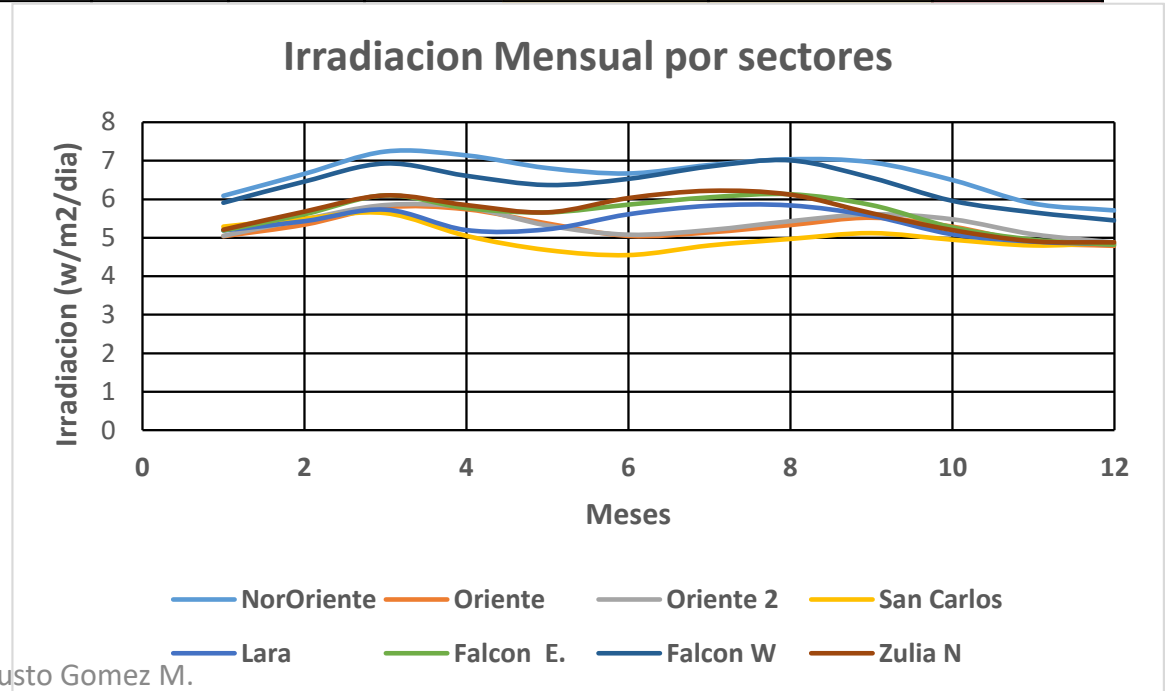


ING. Jesus Augusto Gomez M.

RADIACIÓN SOLAR MENSUAL POR SECTORES

SECTOR	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Promedio Anual (KWh/m2/día)	Promedio Anual (KWh/m2/Año)	CV %
NorOriente	6,09	6,66	7,24	7,14	6,81	6,67	6,89	7,04	6,96	6,5	5,89	5,71	6,63	2419,95	7,492
Oriente	5,04	5,34	5,79	5,74	5,37	5,05	5,14	5,33	5,52	5,29	4,88	4,79	5,27	1923,55	5,927
Oriente 2	5,05	5,48	5,85	5,79	5,32	5,08	5,2	5,43	5,61	5,48	5,09	4,88	5,35	1952,75	5,708
San Carlos	5,29	5,5	5,64	5,05	4,68	4,55	4,8	4,97	5,12	4,95	4,8	4,87	5,01	1828,65	6,487
Lara	5,19	5,43	5,73	5,2	5,22	5,61	5,83	5,84	5,57	5,09	4,9	4,83	5,37	1960,05	6,495
Falcon E.	5,19	5,61	6,1	5,77	5,66	5,86	6,05	6,13	5,85	5,27	4,95	4,82	5,60	2044,00	7,993
Falcon W	5,91	6,46	6,93	6,61	6,37	6,53	6,85	7,01	6,56	5,96	5,66	5,45	6,35	2317,75	7,959
Zulia N	5,21	5,68	6,1	5,85	5,66	6,03	6,22	6,12	5,64	5,2	4,91	4,88	5,62	2051,30	8,420

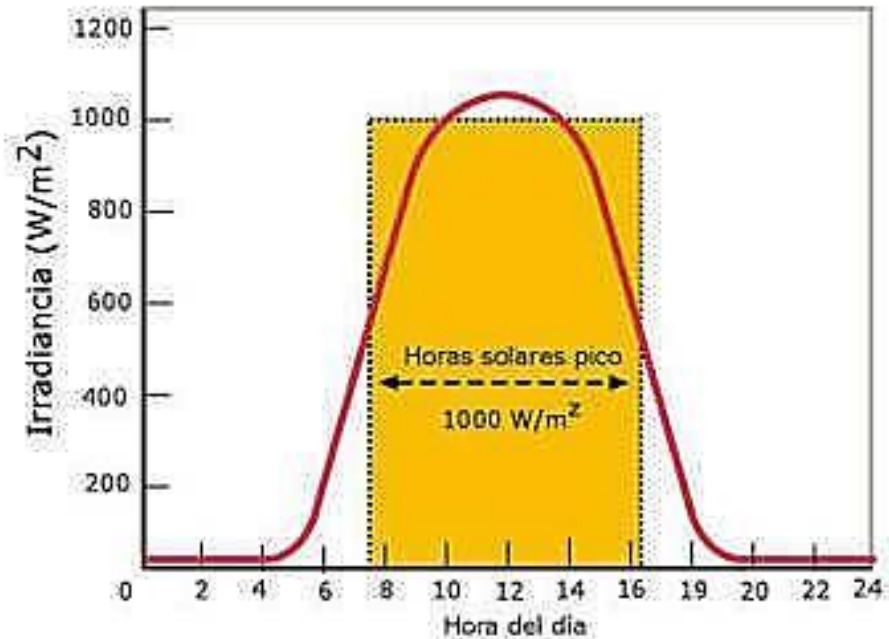
RADIACION SOLAR (KWh/día)	Clasificación
<4,7	Marginal
4,7 a 4,9	Regular
4,9 a 5,2	Bueno
5,1 a 5,5	Excelente
5,5 a 6,1	Premium
>6,1	Supremo



Variación horaria de la radiación

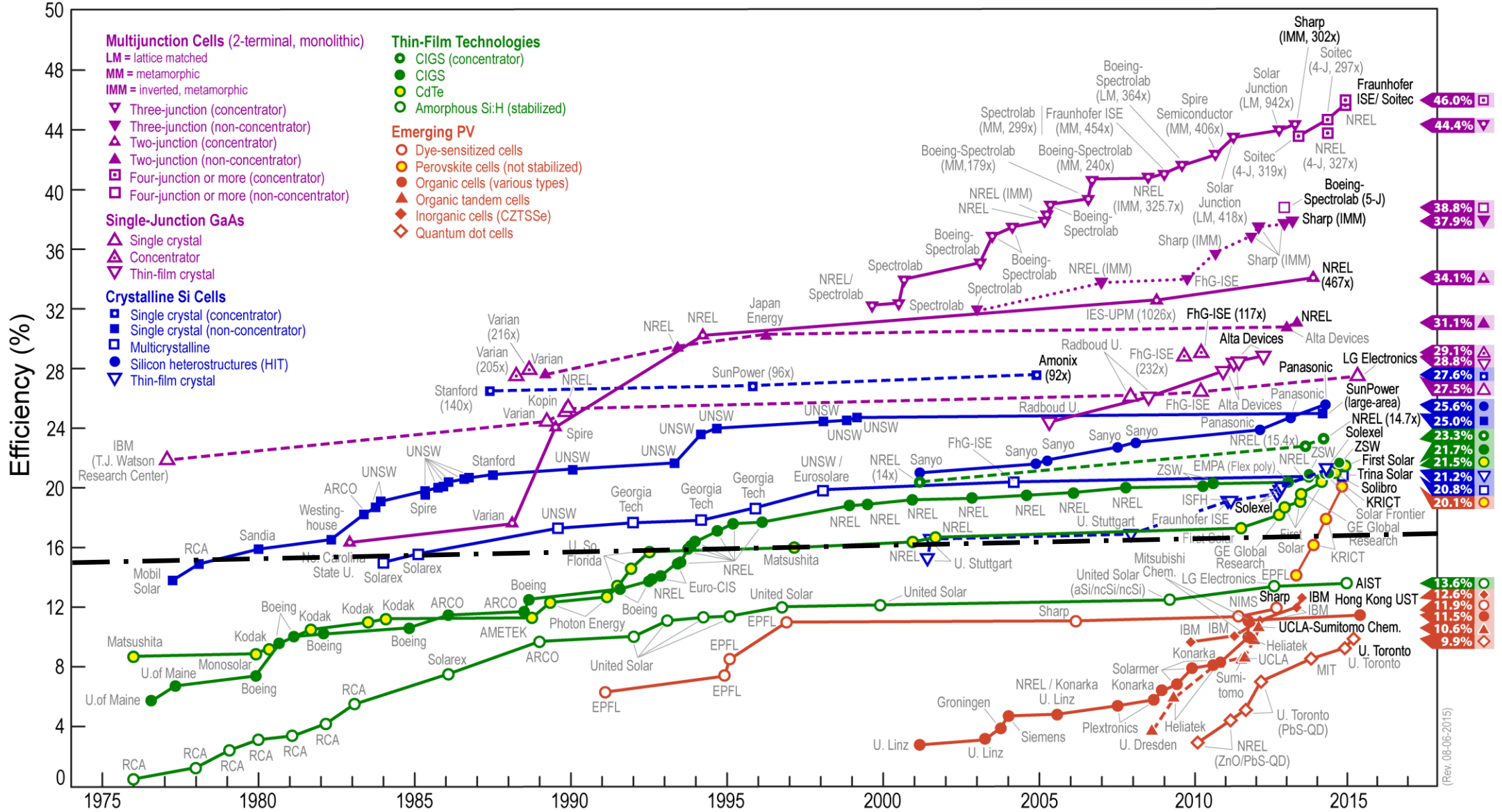
HORAS	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0,19	0,22	0,27	0,31	0,28	0,21	0,22	0,24	0,28	0,30	0,27	0,22
12	0,72	0,79	0,86	0,86	0,75	0,61	0,67	0,73	0,77	0,77	0,74	0,71
15	0,72	0,81	0,86	0,83	0,71	0,57	0,64	0,71	0,72	0,68	0,65	0,66
18	0,22	0,27	0,28	0,27	0,22	0,19	0,22	0,23	0,21	0,16	0,14	0,16
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

HORAS PICO SOLARES



EFICIENCIA DE LOS PANELES SOLARES (2015)

Best Research-Cell Efficiencies



ING. Jesus Augusto Gomez M.

(Rev. 08-06-2015)

PLANTA SOLAR 100 MW

RADIACION : 2200 KWh/año/m²= 6,0 KWh/m²/día

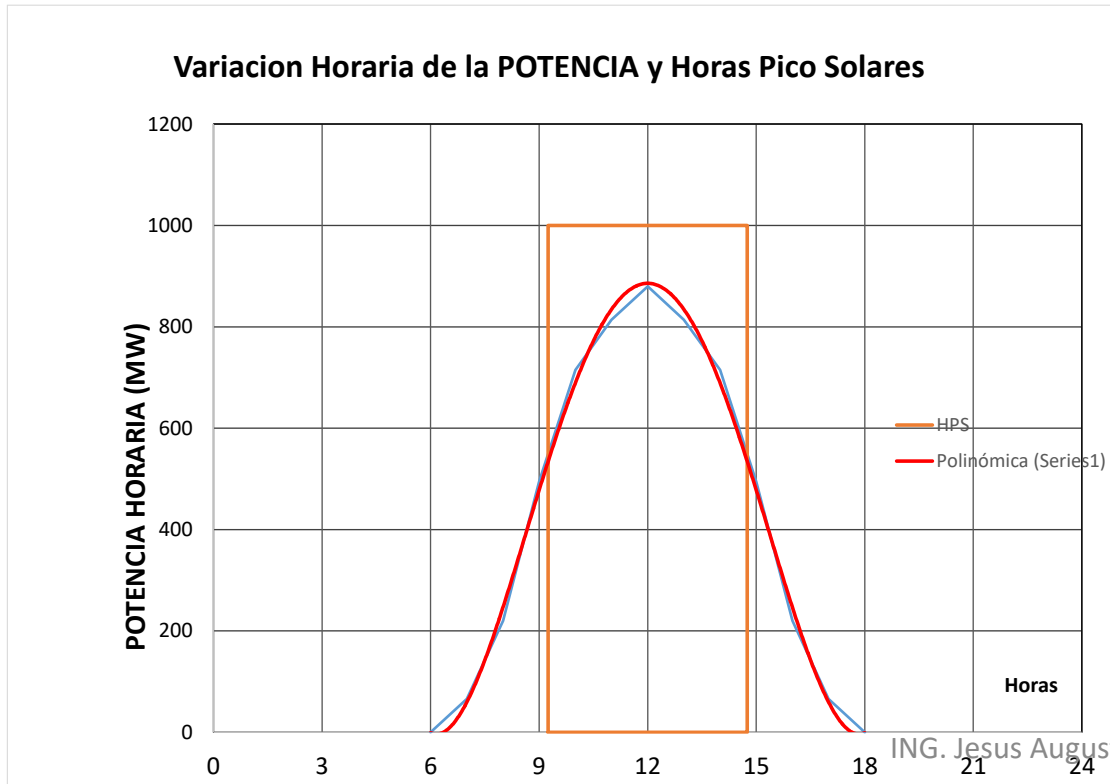
No. Horas por año =2200 (6 Horas /día)

Energía Anual = P*2200; para P=100 MW → **E=220 GWh/año**

No. Módulos =100 MW/250 Wp=400.000 mod

$E=A*\epsilon *(1-PR)*Rad.$

$E=A*0,15*(1-0,25)*2200$ → **A=888.8*10³ m²= 89 Ha**



HORA	POTENCIA (MW)
6	0,00
7	6,60
8	22,00
9	49,50
10	71,50
11	81,40
12	88,00
13	81,40
14	71,50
15	49,50
16	22,00
17	6,60
18	0,00

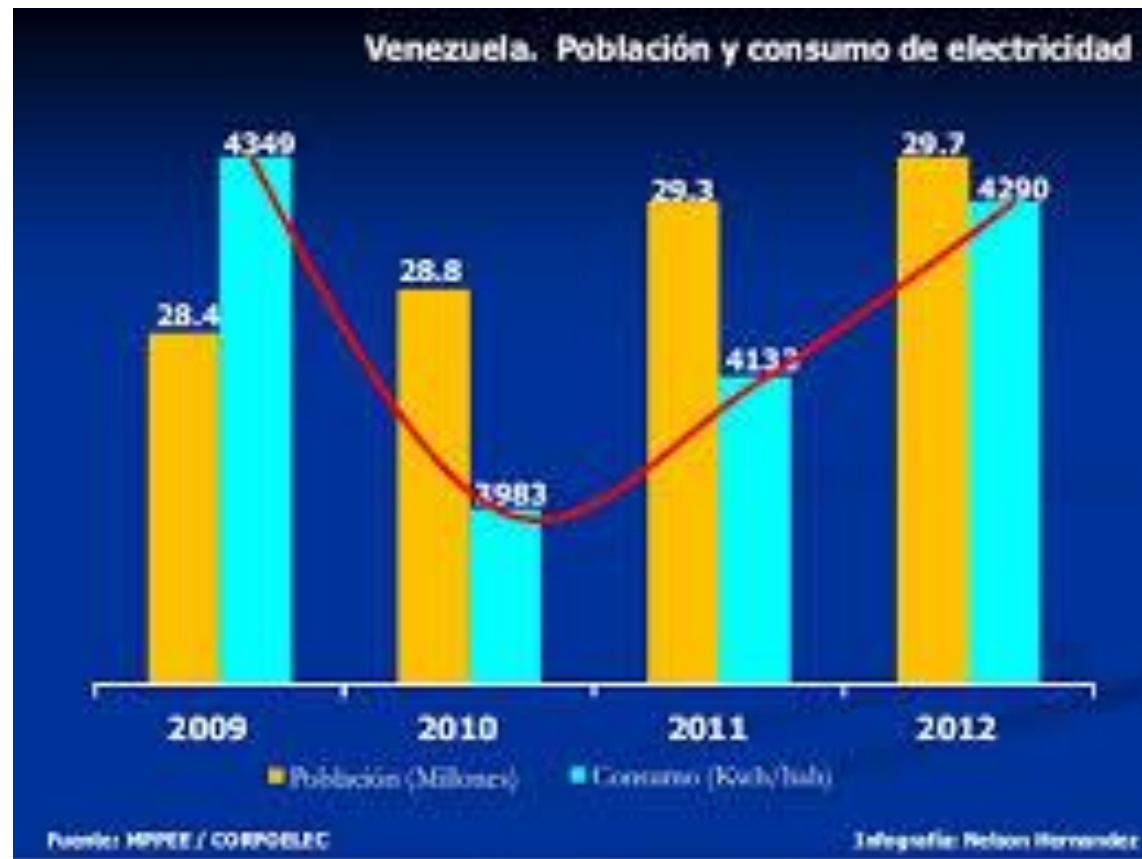
VENEZUELA. CONSUMO PER CAPITA

Cifras del Banco Mundial, del Instituto Nacional de Estadística (INE), de la Organización Latinoamericana de Energía y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal), revelan que Venezuela cuenta con una generación neta de 4.179 kilovatios por hora por habitante (Kwh/hab)

“Para 2012, la energía eléctrica bruta generada por el Sistema Interconectado Nacional (SIN) alcanzó **127.804,26 GWh**”.

Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica. Anuario Estadístico 2013. Sector Eléctrico Venezolano

Para 1990 el consumo de energía eléctrica por persona fue de 2. 837 kilovatios hora (kWh/hab), mientras que **al cierre de 2012 la cifra se ubicó en 4.262 kWh/hab.**

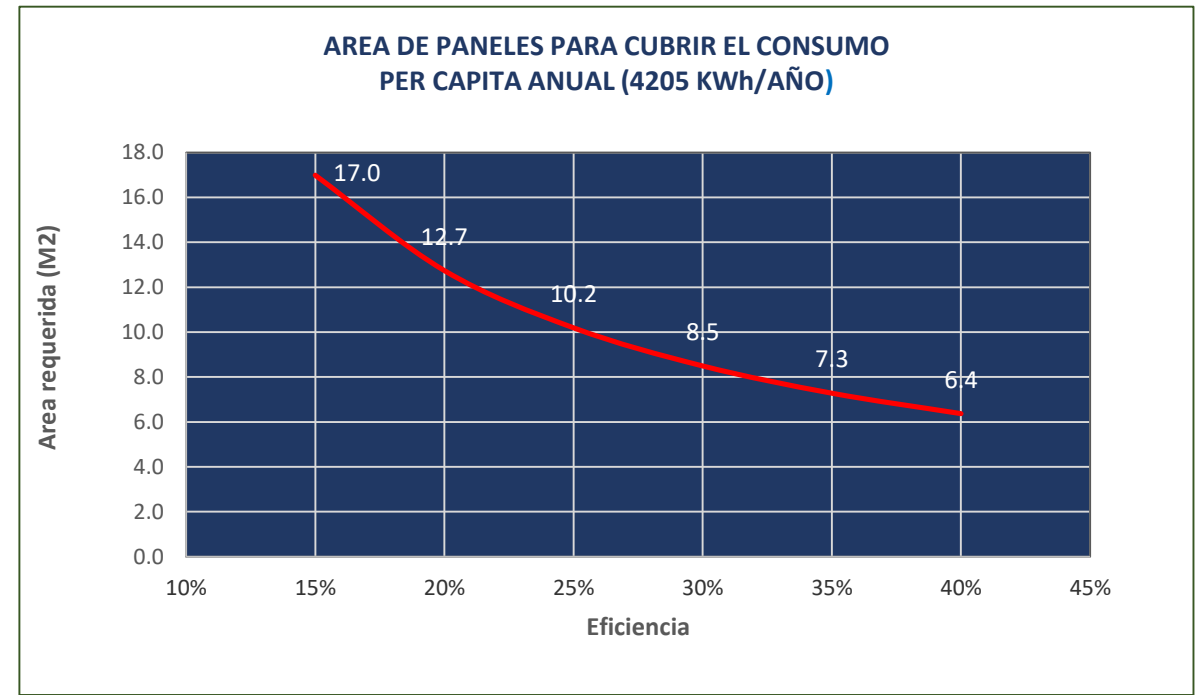
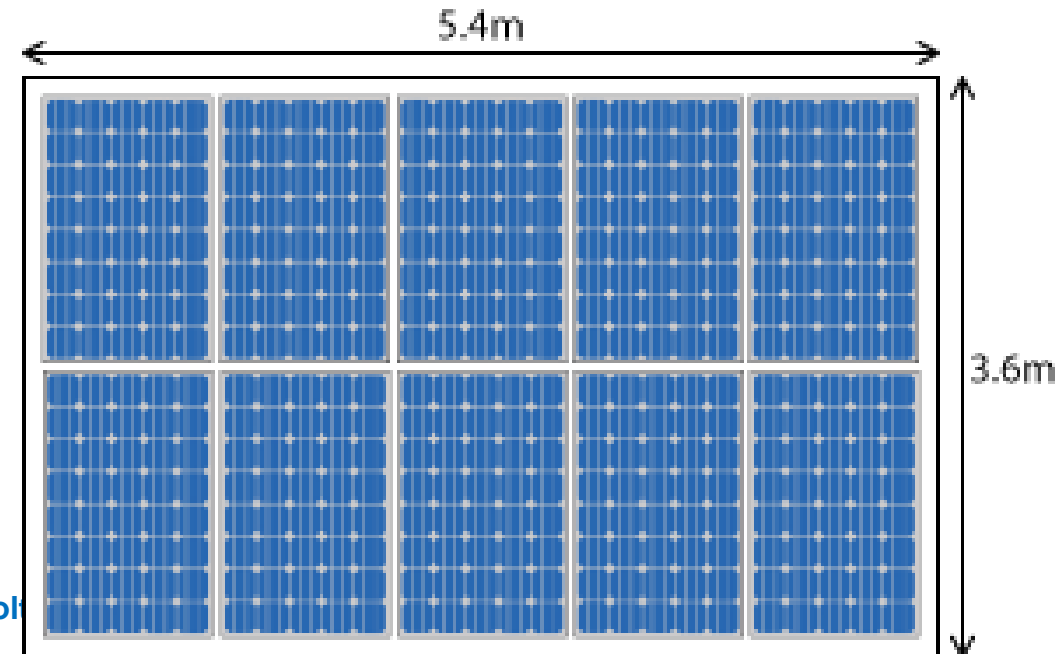
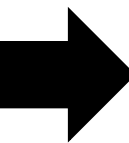


$$*E = A * \epsilon * (1 - PR) * IS$$

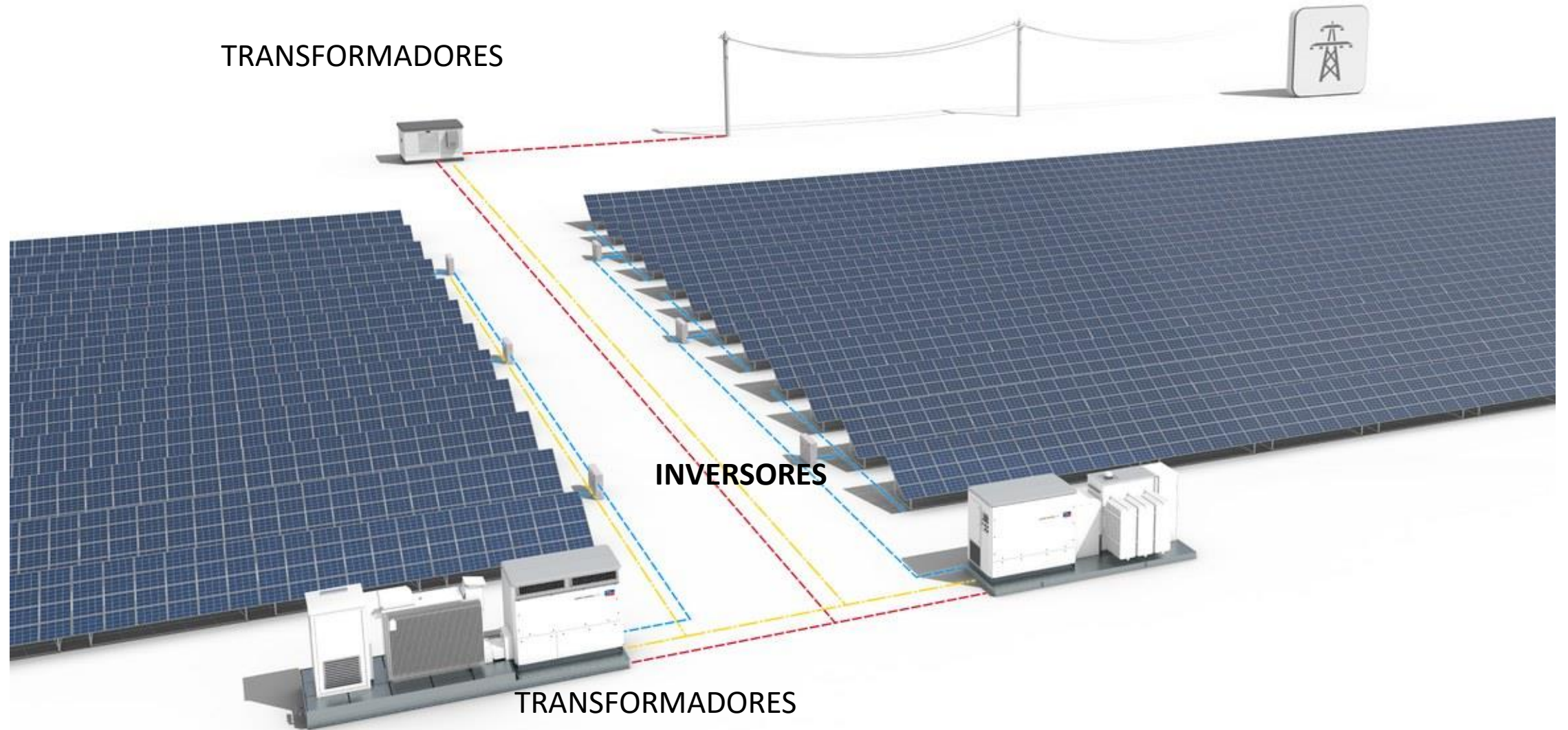
E= Energía	MWh	4205
ϵ = Eficiencia	%	15%
PR= Perdidas	%	25%
IS = Irradiación	KWh	2200
A= Area	M2	??



A = 17 M2



COMPONENTES PRINCIPALES DE UNA PLANTA SOLAR

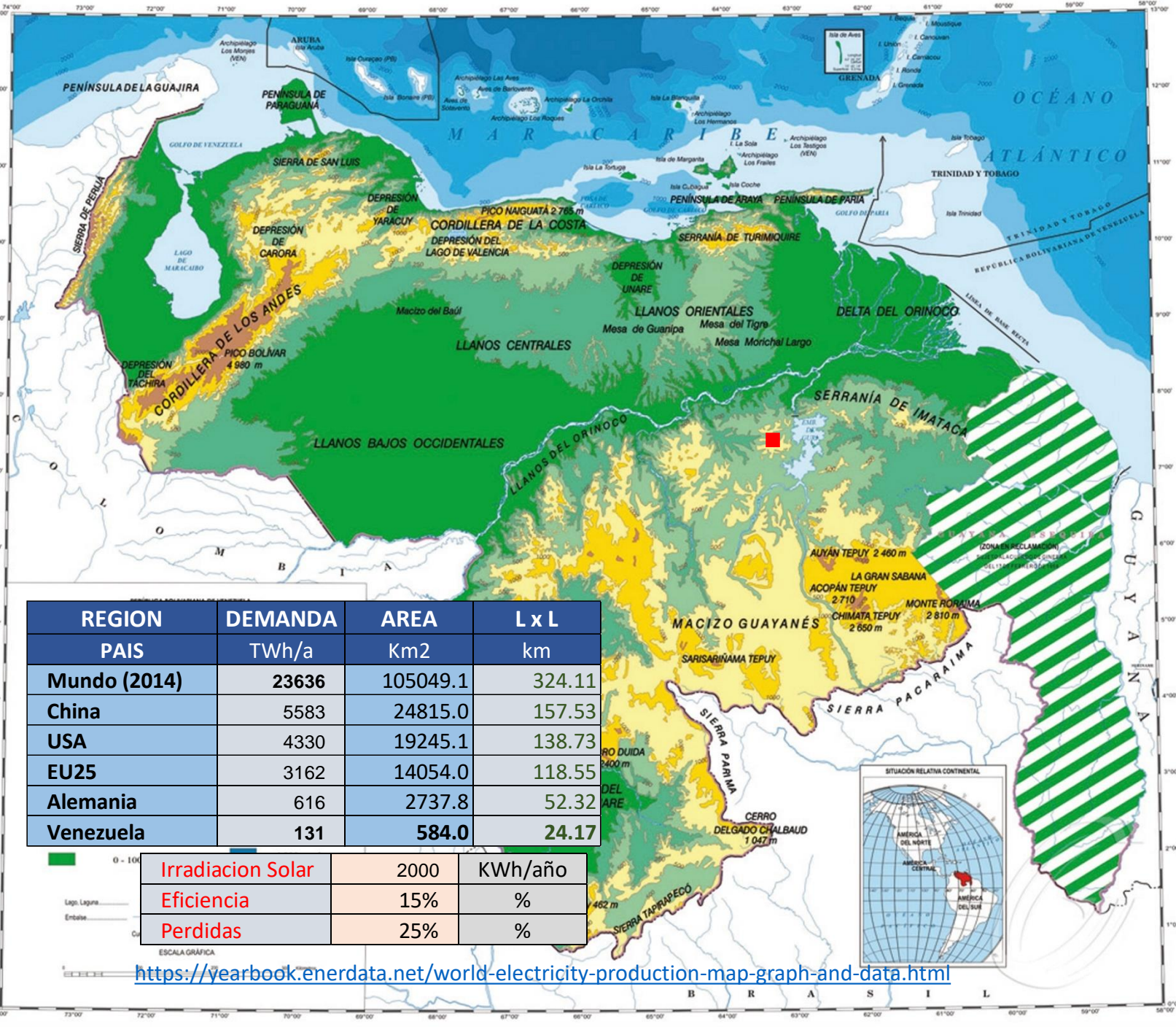


ÁREAS REQUERIDAS

Irradiacion Solar	2000	KWh/año
Eficiencia	15%	%
Perdidas	25%	%

REGION	DEMANDA	AREA	L x L
PAIS	TWh/a	Km2	km
Mundo (2014)	23636	105049.1	324.11
China	5583	24815.0	157.53
USA	4330	19245.1	138.73
EU25	3162	14054.0	118.55
Alemania	616	2737.8	52.32
Venezuela	131	584.0	24.17

<https://yearbook.enerdata.net/world-electricity-production-map-graph-and-data.html>



REGION	DEMANDA	AREA	L x L
PAIS	TWh/a	Km2	km
Mundo (2014)	23636	105049.1	324.11
China	5583	24815.0	157.53
USA	4330	19245.1	138.73
EU25	3162	14054.0	118.55
Alemania	616	2737.8	52.32
Venezuela	131	584.0	24.17

Irradiacion Solar	2000	KWh/año
Eficiencia	15%	%
Perdidas	25%	%

AREAS REQUERIDAS

GURI

COTA 271 msnm A= 4200 KM 2

<https://yearbook.enerdata.net/world-electricity-production-map-graph-and-data.html>