



# Energia Solar: Recurs, Aplicacions, Tecnologies, Costos, Perspectives.

Conrad Meseguer. Director general de Novenergia II e&e Espanya

Cicle de jornades & debat sobre les fonts d'energia. Les energies primàries: entre la necessitat i l'estalvi.  
Associació i Col·legi d'Enginyers

**12 de desembre de 2012**

1. La història sobre el coneixement del Sol.
2. El Sol: paràmetres.
3. Energia primària del Sol.
4. Sistemes d'aprofitament del Sol.
5. Valoració tècnica dels sistemes actuals.
6. Valoració econòmica dels sistemes.
7. Prospectiva sobre l'energia solar.

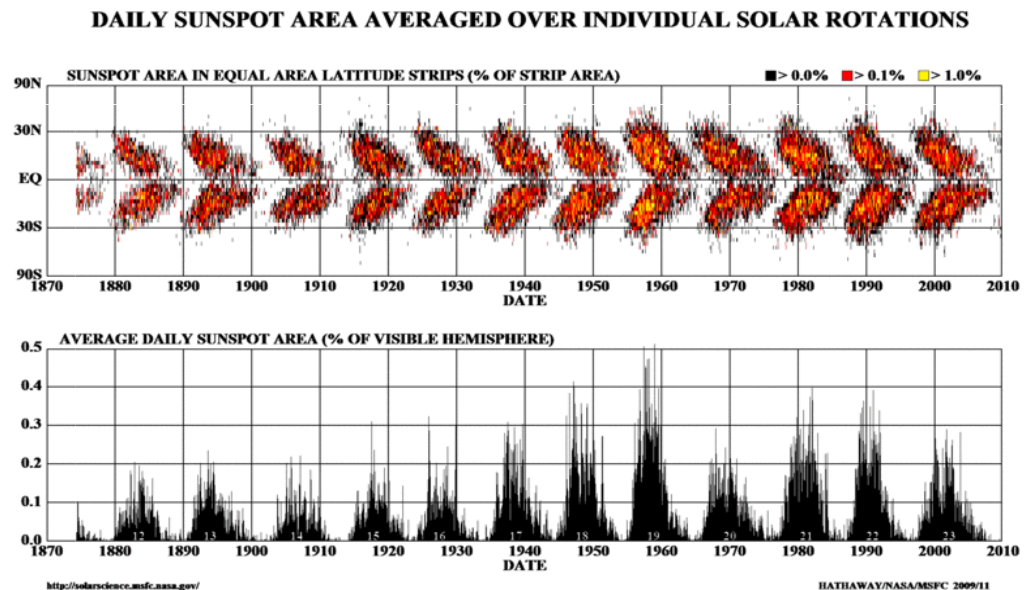
# La història sobre el coneixement del Sol

## Observacions terrestres

Les observacions del Sol es van iniciar amb els **eclipsis**. A la Xina es tenen escrits sobre el 2800aC, on es descriu un eclipsi. Civilitzacions com els Sumeris i Egipcis, també els registraven. L'astrònom grec Hiparc, i posteriorment Galileu, Kepler, Halley, i altres, van profunditzar en les observacions solars.

Les **taques solars** varen ser observades a la Xina i a Europa, uns anys abans de l'era cristiana. A l'edat mitjana, també ho varen fer la cultura àrab i la cristiana.

Els primers registres en continuïtat, de taques solars, els va iniciar David Fabricius i el seu fill al 1611. A partir del 1700, els astrònoms, amb el suport dels telescopis, disposen d'observacions en continu.



# La història sobre el coneixement del Sol

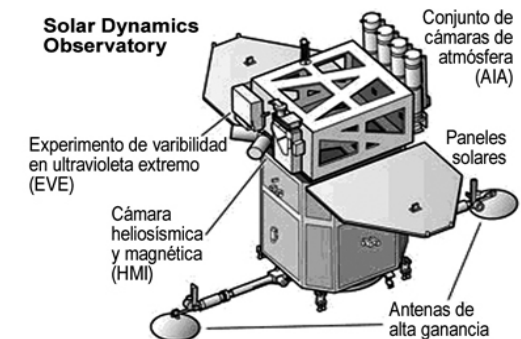
## Observacions amb satèl·lits

L'any 1969, les missions dels Mariners VI i VII, varen fer mesures de la radiació solar a l'espai, per seguretat dels vols a Mart.

El 7 de novembre del 1978, amb el programa NIMBUS-7, es va iniciar la mesura dels paràmetres del Sol. Per tant la sèrie de dades ja té 34 anys.

A partir de 1980, els satèl·lits SMM, ERBE, UARS, EUREKA, SOHO, ACRIMSAT i més recentment el SORCE, han estat els observadors. Des de finals del 1978, sempre han operat de manera simultània almenys dos mesuradors solars independents.

La darrera missió, llançada l'11 de febrer de 2010, es l'Observatori de Dinàmica Solar (SDO) de la NASA. Amb sensors d'alta precisió, preveu observar el Sol més de cinc anys.

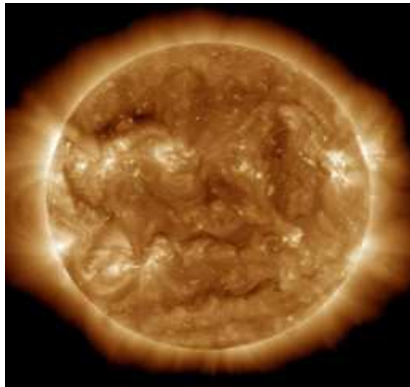


# El Sol: paràmetres

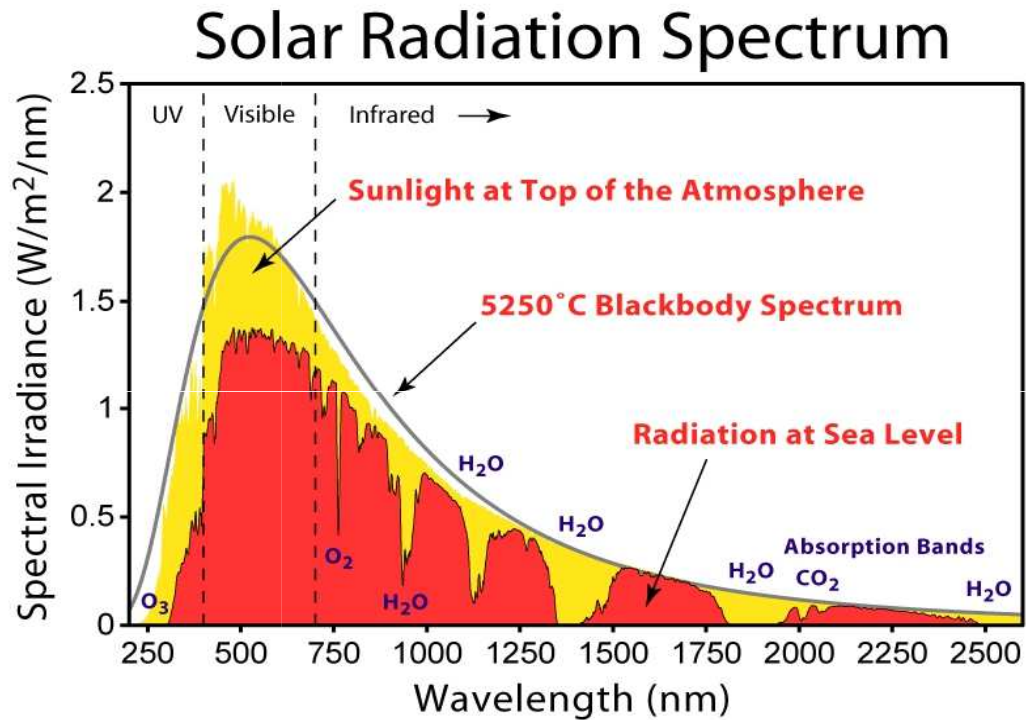
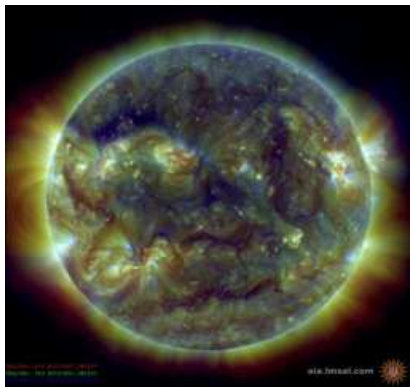
## L'espectre solar

A l'exterior de l'atmosfera de la Terra, la irradiació estàndard és de  $1.366 \text{ W/m}^2$  (Constant solar dels últims cicles) variable  $\pm 3\%$ , a causa de la el·lipticitat de l'òrbita terrestre i de l'activitat magnètica del Sol.

Imatges de la corona (SDO):  
193Å



211, 193 i 171Å

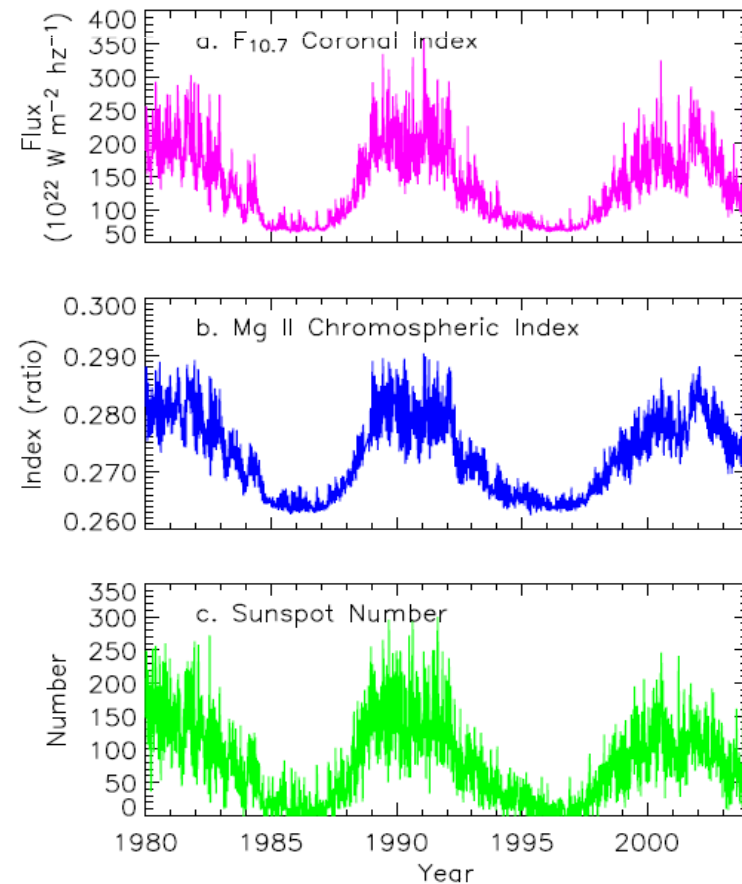
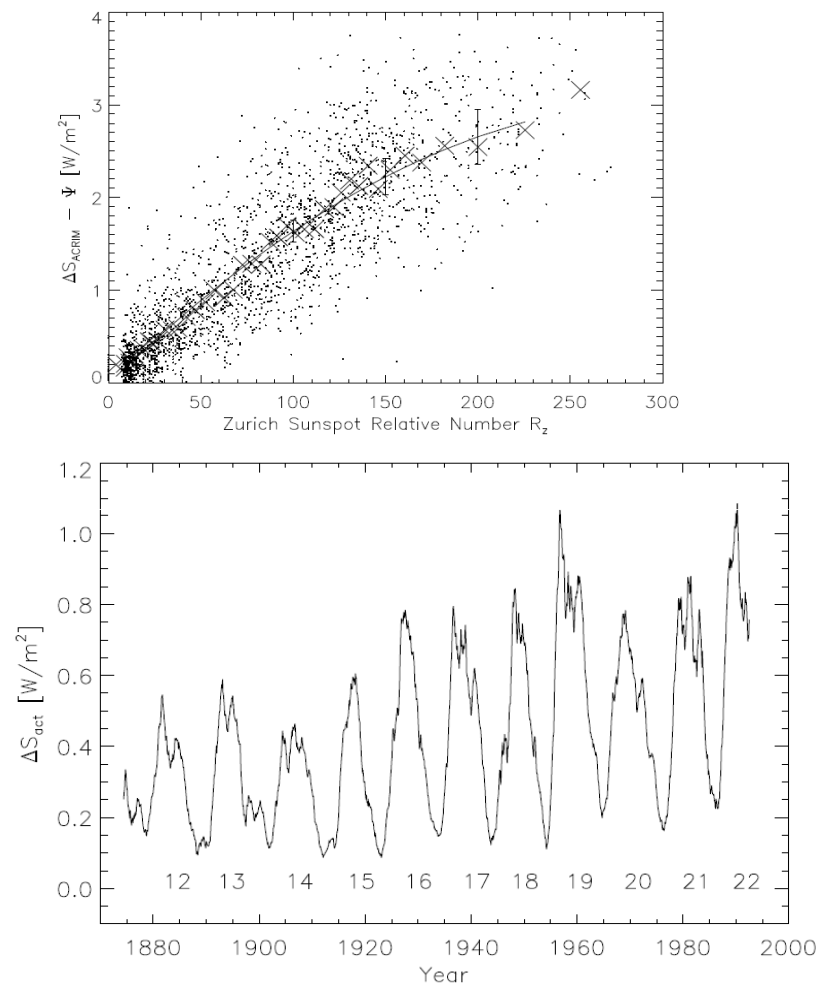


# El Sol: paràmetres

## Taques solars i radiació

1998.- Institute of Astronomy, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich, Switzerland 1998

2004.- World Radiation Center, Davos Dorf, Switzerland y Hulburt Center for Space Research, Washington.

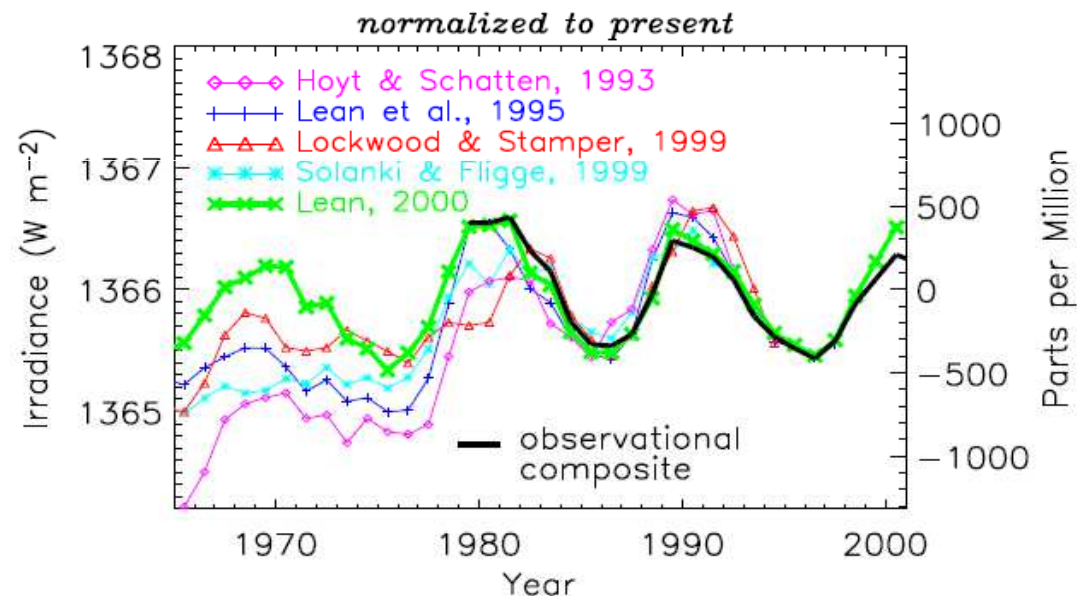
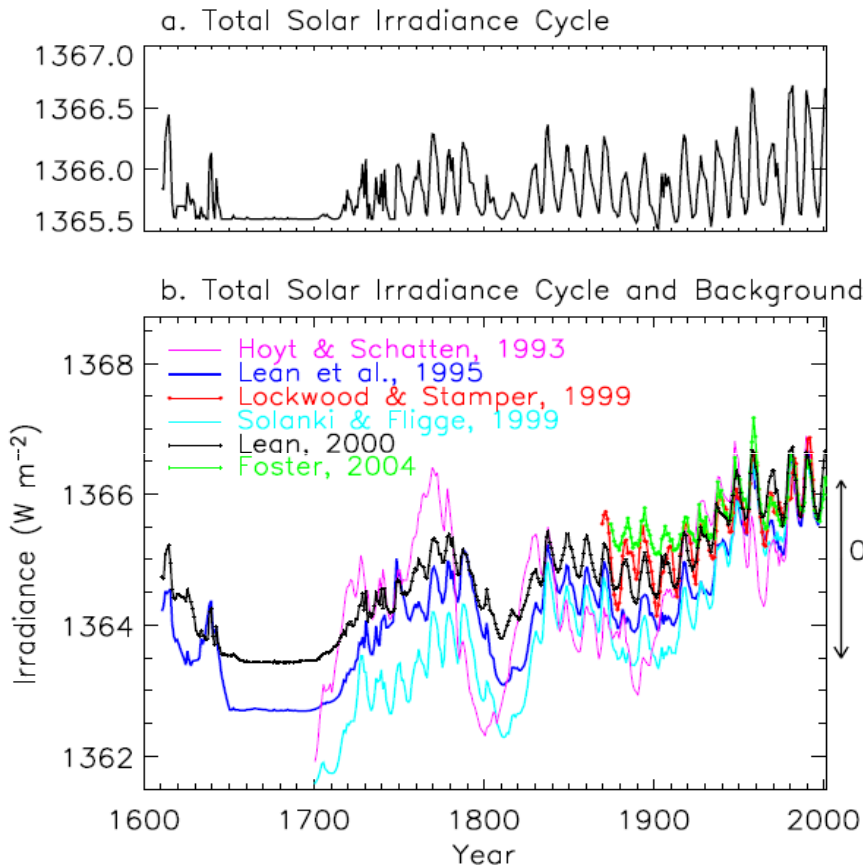


**Fig.** Shown are the time variations of daily values of three solar activity proxies that have been used in various ways to infer solar irradiance variations. The  $F_{10.7}$  cm radio flux in a) is available since 1947, and primarily reflects brightness changes in the corona whereas the Mg II index of chromospheric activity in b) is available only since 1978, and closely simulates changes in global brightness associated with faculae and plages. The sunspot number in c) is a generic indicator of solar activity, available since 1610.

# El Sol: paràmetres

## Variacions de la radiació solar

Les seves variacions segueixen un cicle de 28 dies (rotació sobre l'eix, amb amplituds de 0,2%), un de 11 anys (amplituds de l'ordre del 0,1%), i un altre en el que no hi ha taques solars entre 70 i 80 anys. Tot l'espectre (ultraviolat, visible, infraroig) varia al llarg dels cicles.

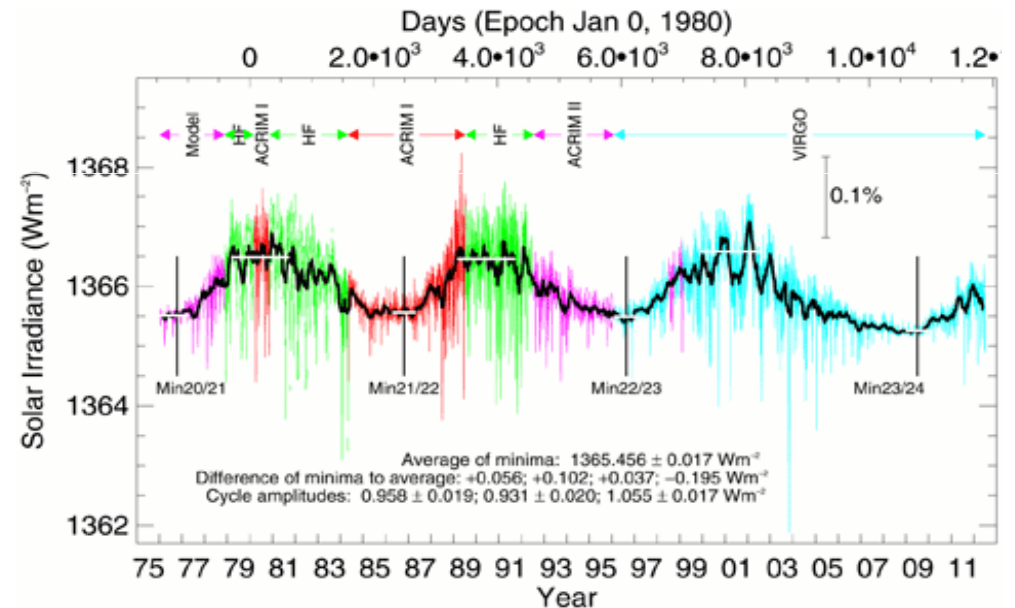
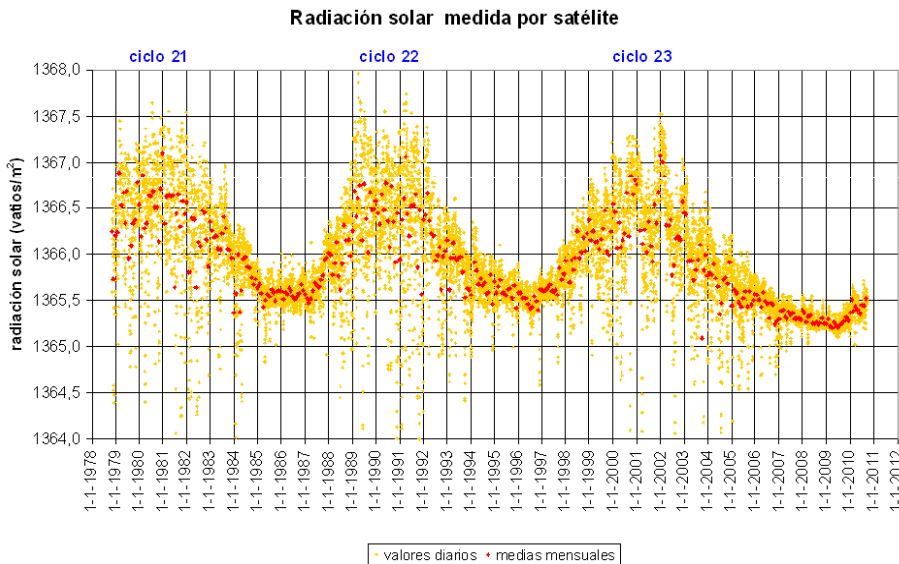
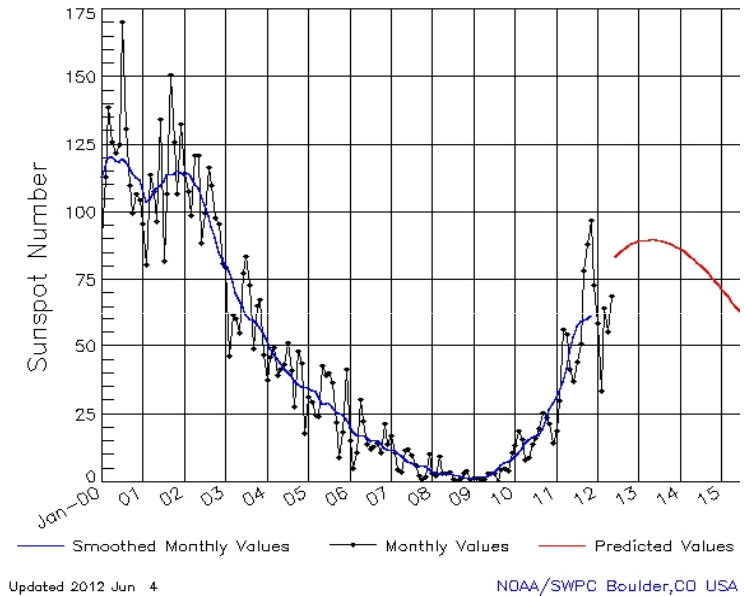


# El Sol: paràmetres

## Cicle Solar 24

Actualment la irradiació solar està al Cicle 24, en fase de creixement, després del mínim de l'any 2009-2010.

La radiació màxima del Cicle 24, a les primeres estimacions es produïa al 2012. Actualment el màxim es desplaça entre el 2013 i el 2014.

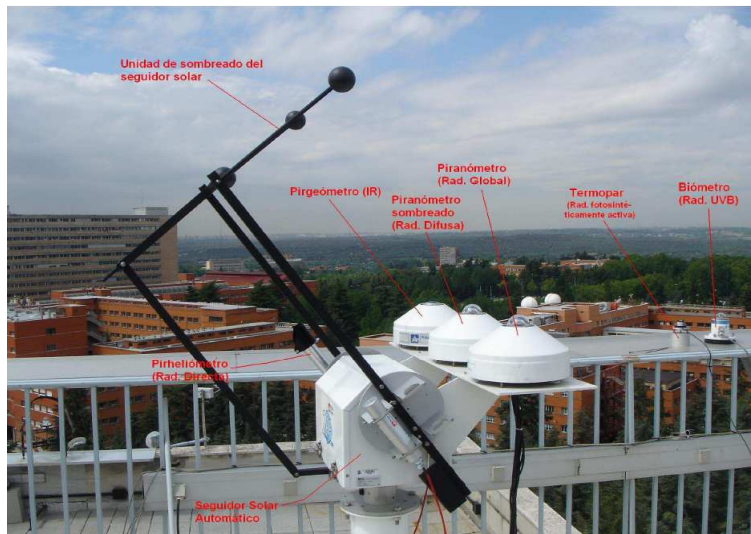




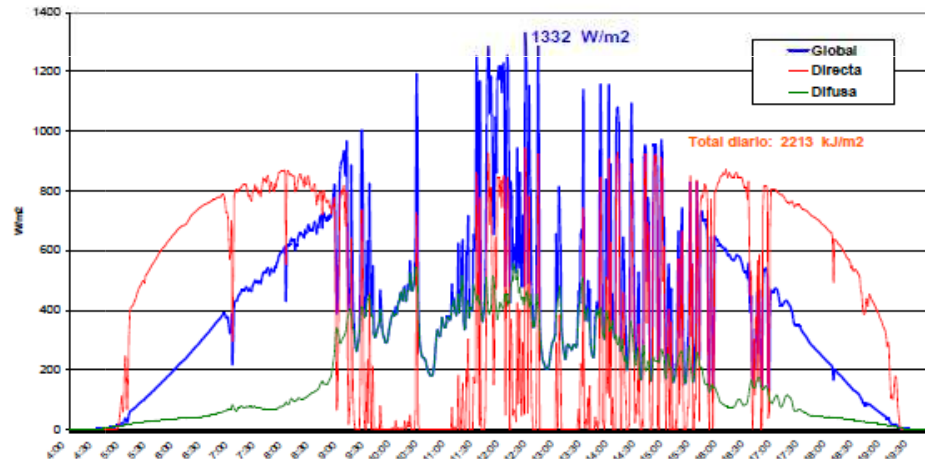
# El Sol: paràmetres

## Radiació solar a nivell del terra.

En els observatoris meteorològics, es mesura la radiació global, la directa i la difusa, sobre un pla horitzontal. El temps base es 10min.



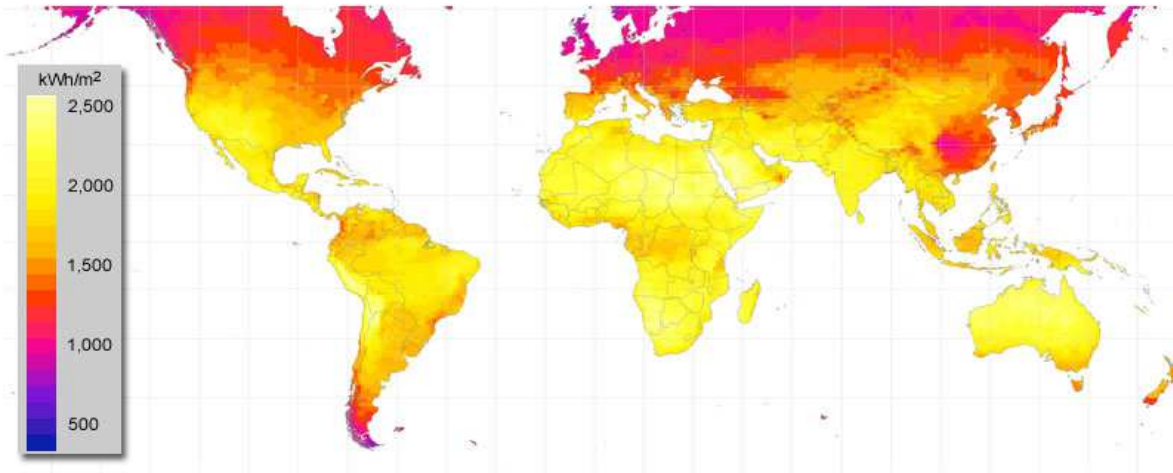
Radiación Global del día 10 de junio de 2012 - Día del máximo instantáneo mensual de MADRID



# El Sol: paràmetres

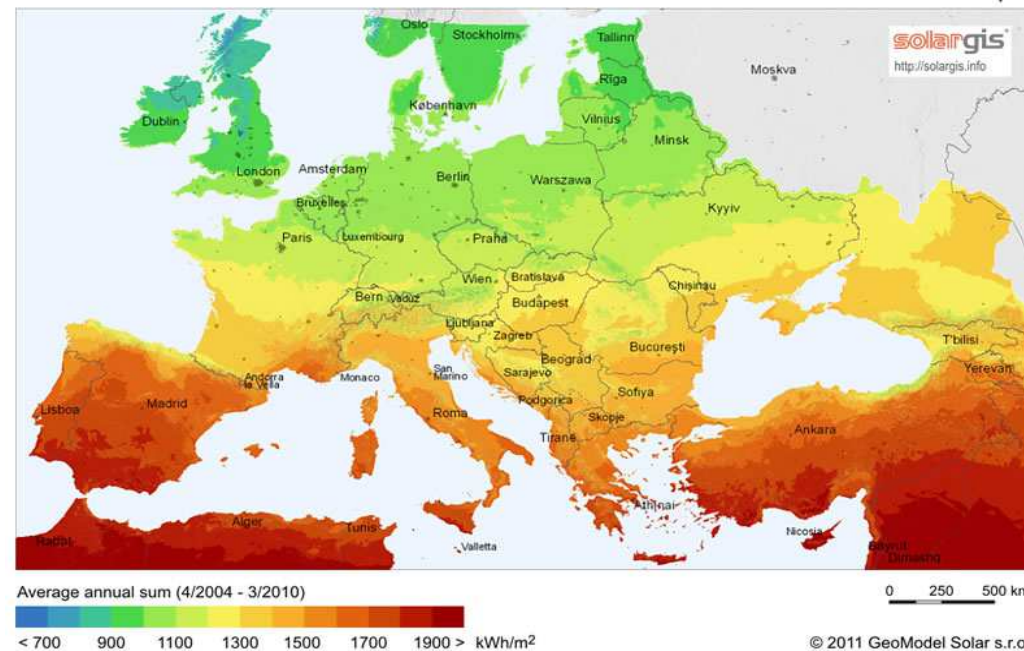
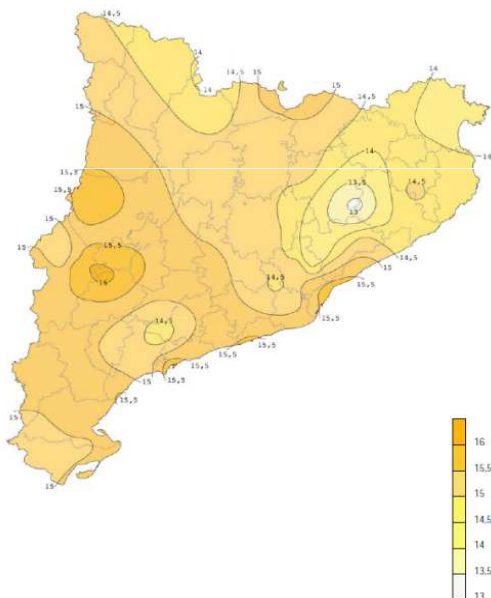
## Mapes de radiació global a nivell del terra

Yearly sum of global irradiance



Global horizontal irradiation

Europe



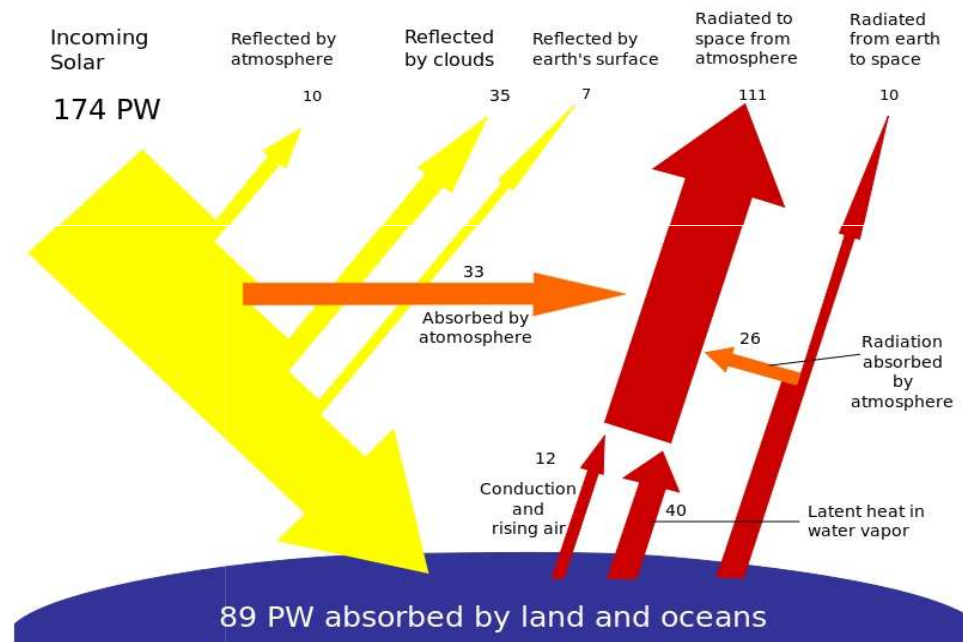
# Energia primària del Sol

## Dades globals

El Sol emet una potència de  $63,45\text{MW/m}^2$  (valor promig dels darrers cicles).

A l'**exosfera de la Terra**, la potència promig es de  $1,36\text{kW/m}^2$  ("constant" solar) i la potència absoluta rebuda es de  $1,74 \times 10^{17}\text{W}$ . (174PW). L'energia que es rep es d'uns 3.850.000EJ.

A **nivell del terra**, la potència màxima perpendicular al Sol (Irradiància) és de  $1\text{kW/m}^2$ . La potència absorbida es de 89PW. L'energia absorbida s'estima que es d'uns 2.000.000EJ.

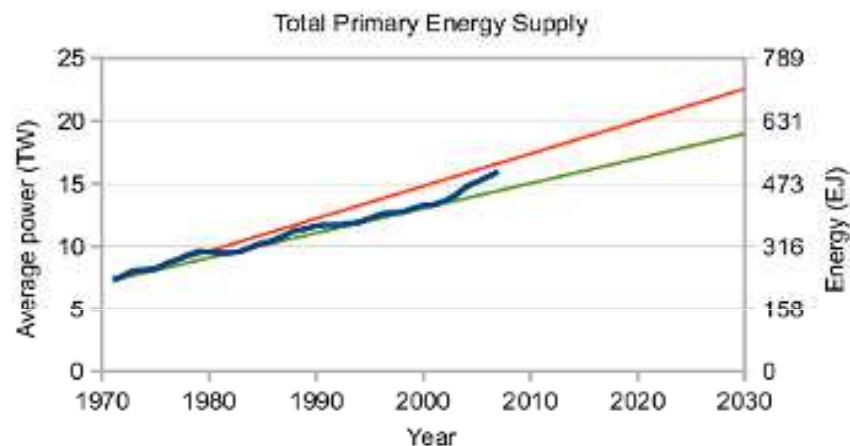


# Energia primària del Sol

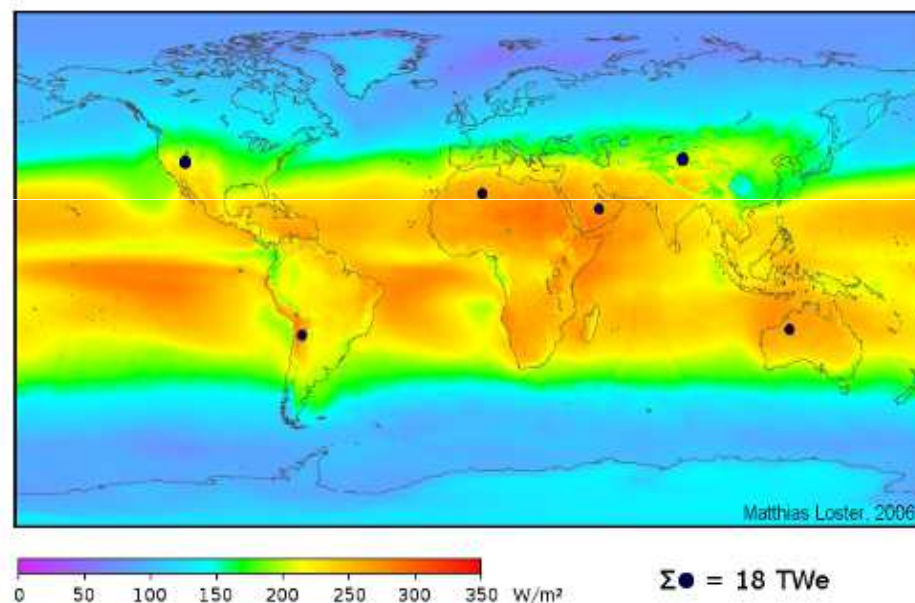
## Comparació d'energies primàries

Al 2007, l'energia primària consumida pel planeta va ser de 504EJ, amb una potencia promig de 16TW.

Per produir una potencia promig de 18TW, caldria cobrir les 6 àrees del punt negre, amb equips solars que tinguin un rendiment del 8%.

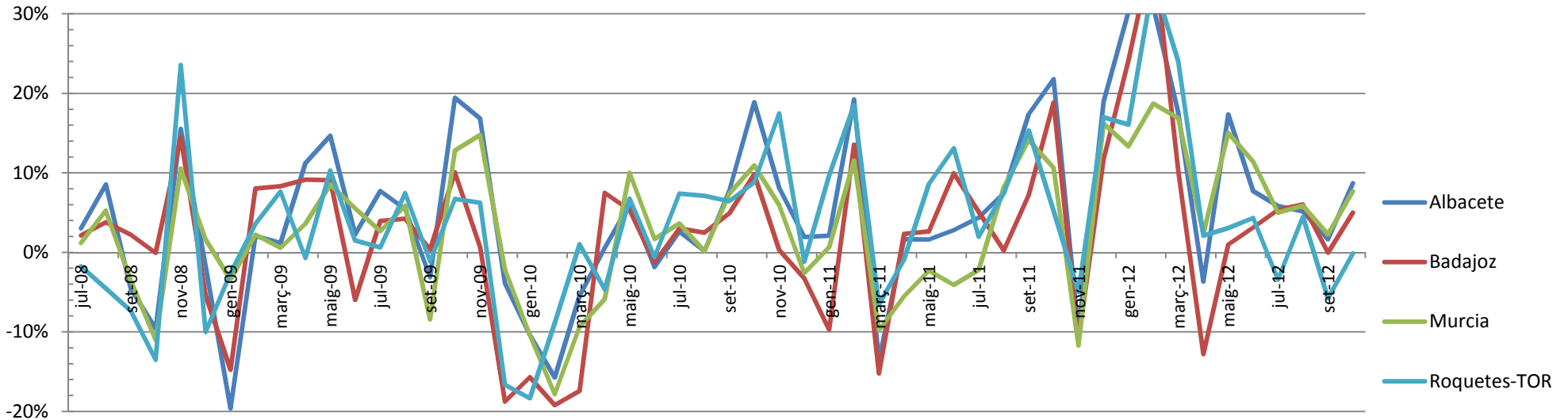


Ubicació/ Desert	Tamany del desert km <sup>2</sup>	Àrea ocupada km <sup>2</sup>	Irradiància / m <sup>2</sup>
Àfrica, Sahara	9.064.960	144.231	260
Australia, Great Sandy	388.500	141.509	265
China, Takla Makan	271.950	178.571	210
Middle-East, Arabian	2.589.910	138.889	270
South America, Atacama	139.860	136.364	275
U.S.A., Great Basin	492.100	170.455	220

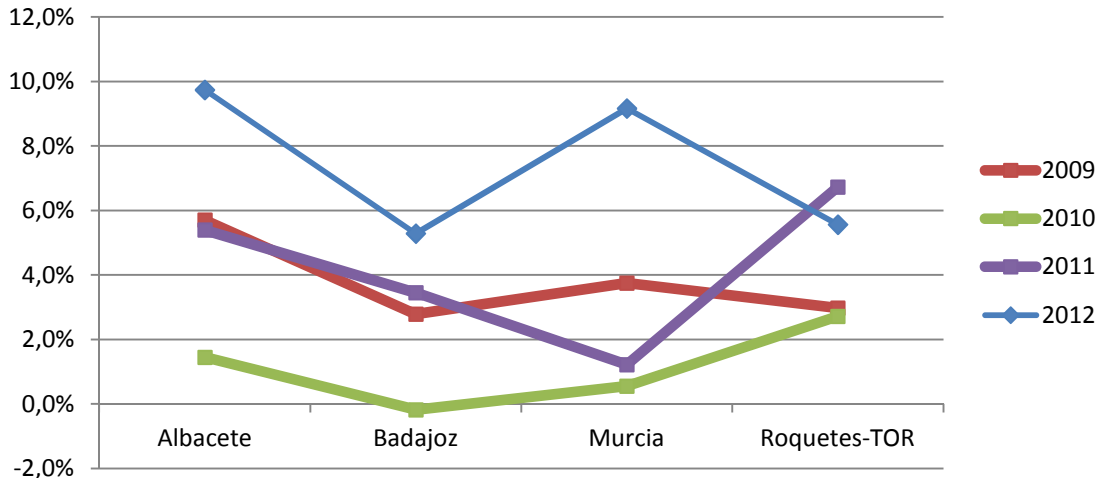


## Evolució de la radiació global mensual i anual: 4 punts de la Península.

Variació de la radiació global mensual respecte a radiació promig dels darrers 30 anys



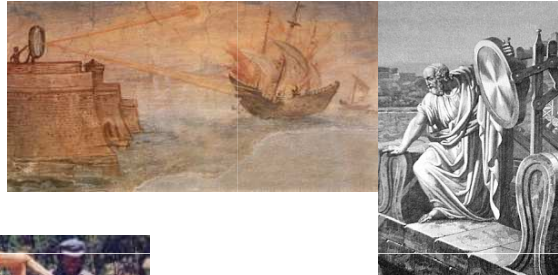
Variació de la radiació global anual respecte a la radiació promig dels darrers 30 anys



# Sistemes d'aprofitament del Sol

## La història (mites i realitats)

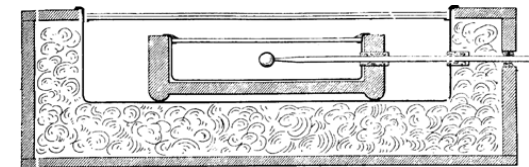
El mite d'Arquímedes (Siracusa)



Assecadors agrícoles

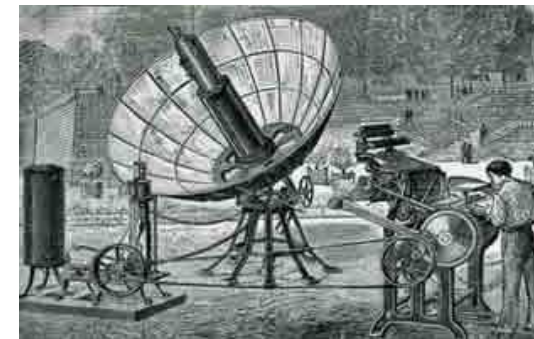


Benedict de Saussure, va crear un forn Solar al 1767.



Al 1839, Edmond Becquerel, va descobrir l'efecte fotovoltaic.

Al 1860, August Mouchet, va proposar concentradors.



# Sistemes d'aprofitament del Sol

## Sistemes comercials d'aprofitament del Sol

Producció de matèria orgànica (fotosíntesi):  
Agricultura.

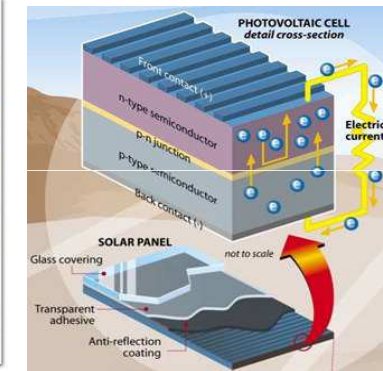
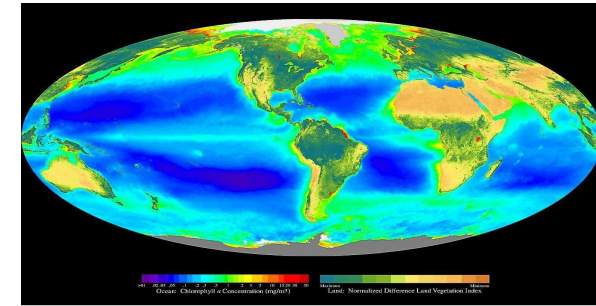
Enllumenat:

Producció d'energia tèrmica:  
Aire calent  
Aigua calenta / Aigua freda  
Assecatge

Producció d'electricitat:  
Fotovoltaica  
Termosolar

## Factors que afecten a les aplicacions

Radiació  
Temperatura  
Humitat  
Tecnologia d'absorció/reflexió



# Sistemes d'aprofitament del Sol.

## Panels solars tèrmics





# Sistemes d'aprofitament del Sol.

## Plantes Termosolars

Stirling



Fresnel



Torre

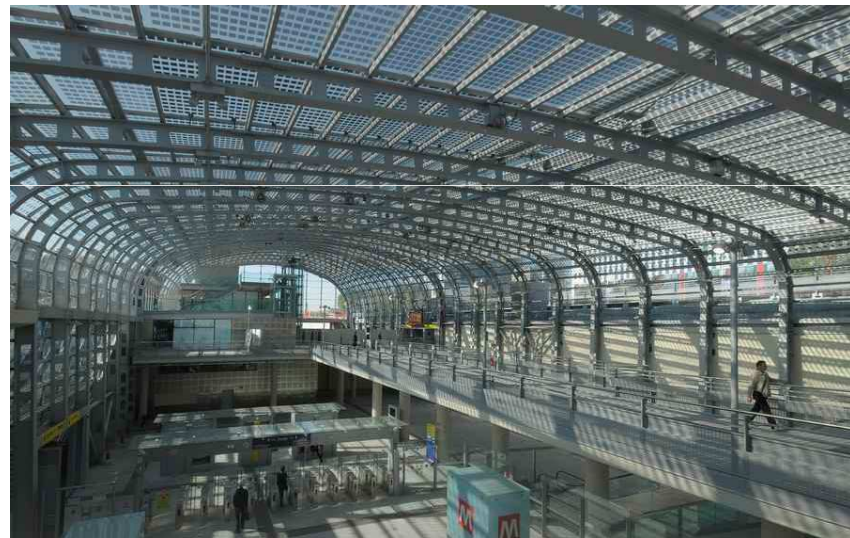


Parabòlic



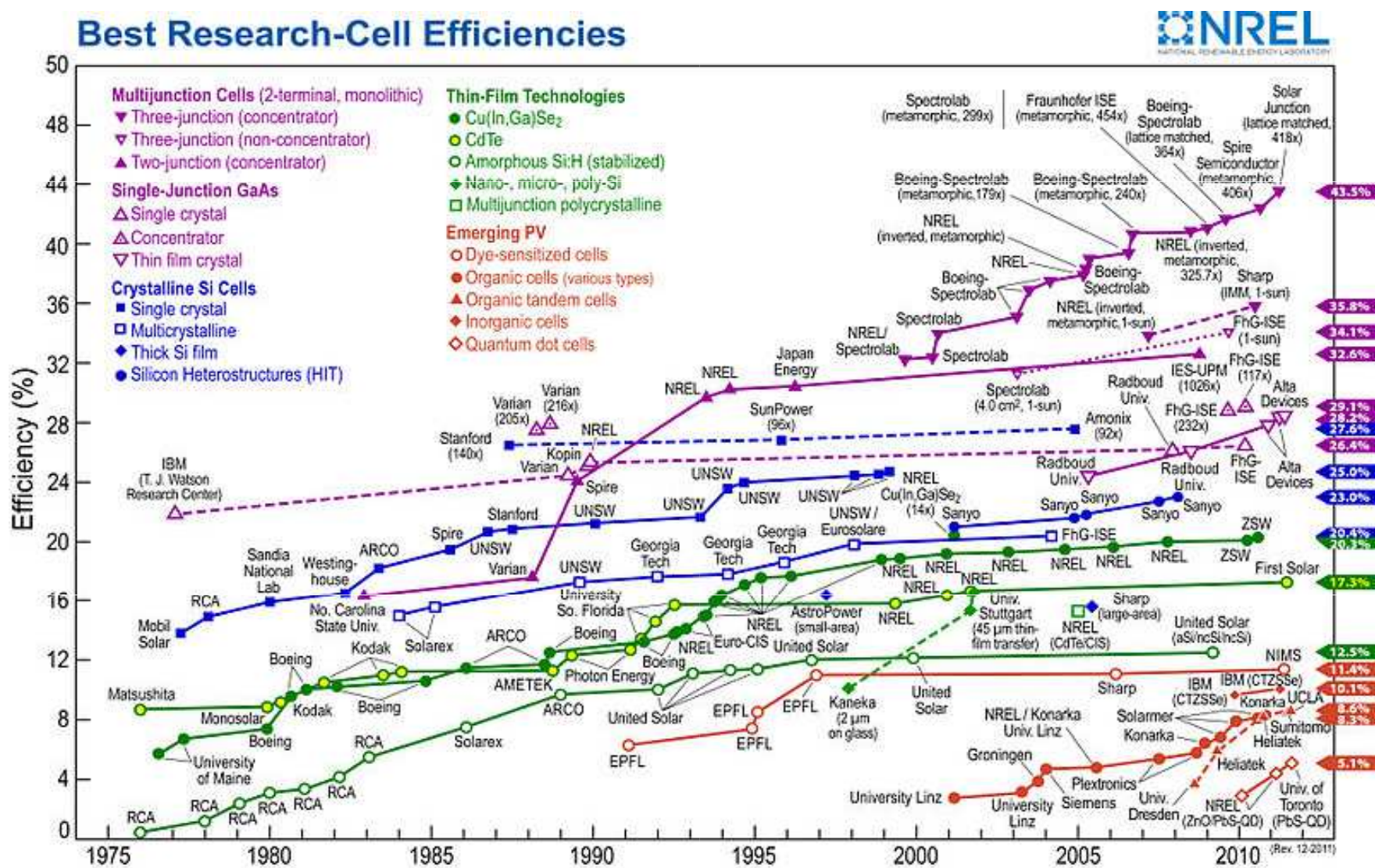
# Sistemes d'aprofitament del Sol.

## Sistemes Fotovoltaics



# Sistemes d'aprofitament del Sol.

## Mòduls Fotovoltaics: rendiment de les Cèl·lules



# Valoració tècnica dels sistemes actuals

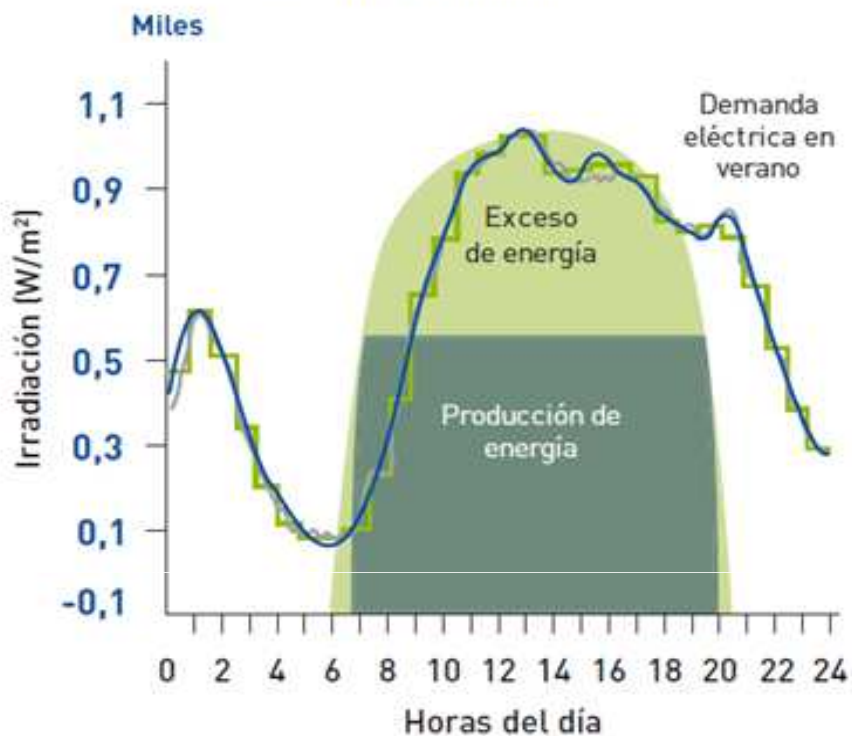
## Paràmetres destacables

Sistema Solar	Rendiment	Potències comercials	Superfície estimada	Energia Total útil
Fotosíntesi	1%		64% total sup. 87.000.000km <sup>2</sup>	3.000EJ
Agrícola	1% -3% microalgues		1% total sup. 1.300.000km <sup>2</sup>	50EJ
Solar tèrmica	40% (a 70°C) 80% (a 15°C)	1-1.000kW	2.600MW 3.700.000m <sup>2</sup> EUR 2010	1.000h/any
Termosolar	15-19% 25% torre	50-350MW	2.200MW	2.200 a 2.900h/any
Fotovoltaica	14-18% 43% laboratori	<200MW	69.000MW	1.200 a 2.000h/any

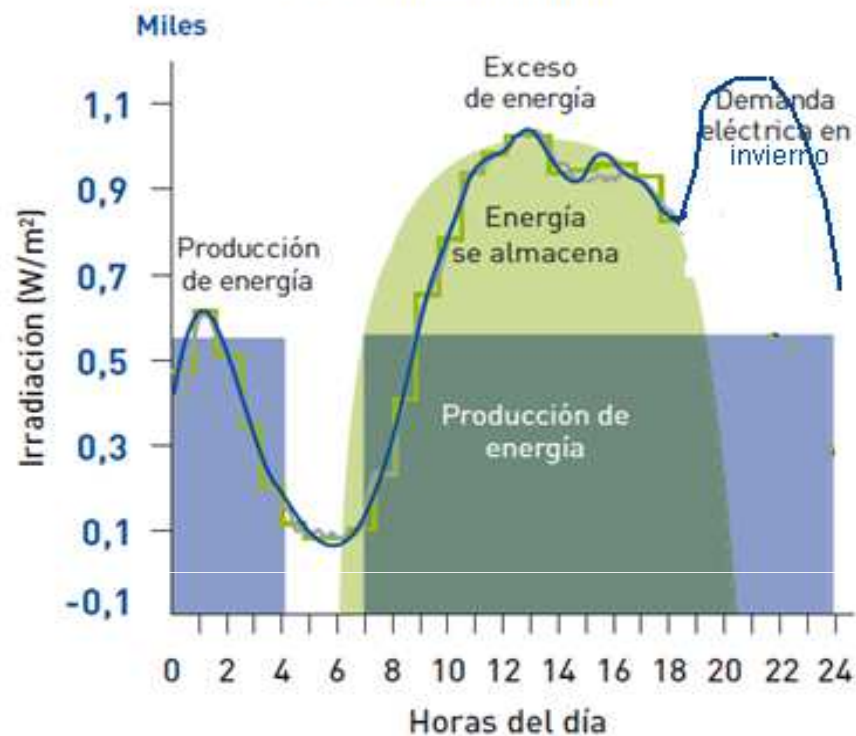
# Valoració tècnica dels sistemes actuals

## Gestionabilitat dins del sistema elèctric

Il·lustratiu de funcionament de una planta sin almacenamiento



Il·lustratiu de funcionament de una planta con almacenamiento



## Valoració econòmica dels sistemes

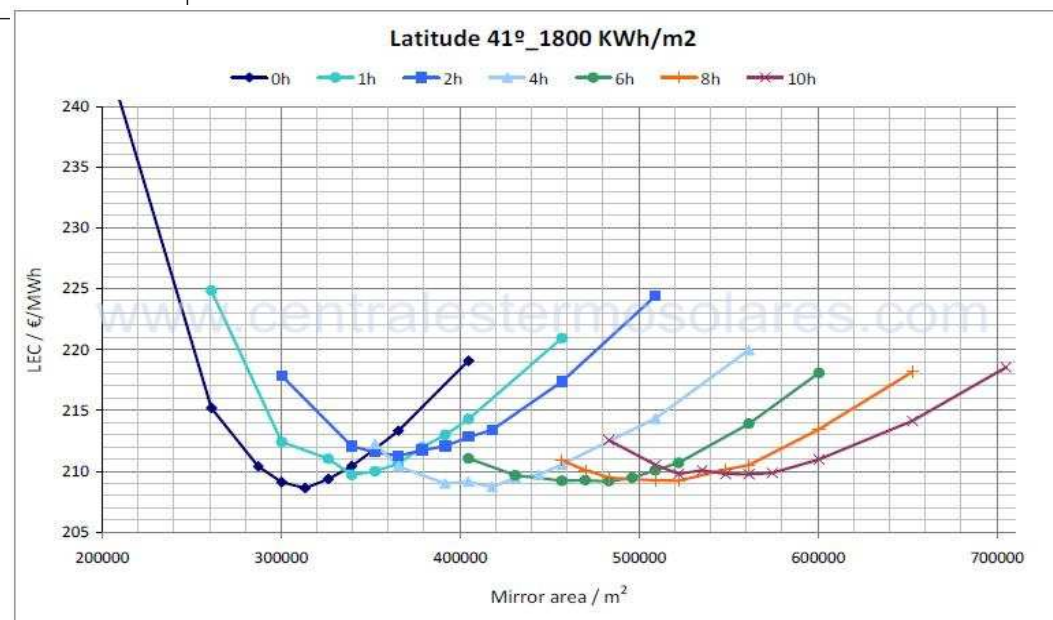
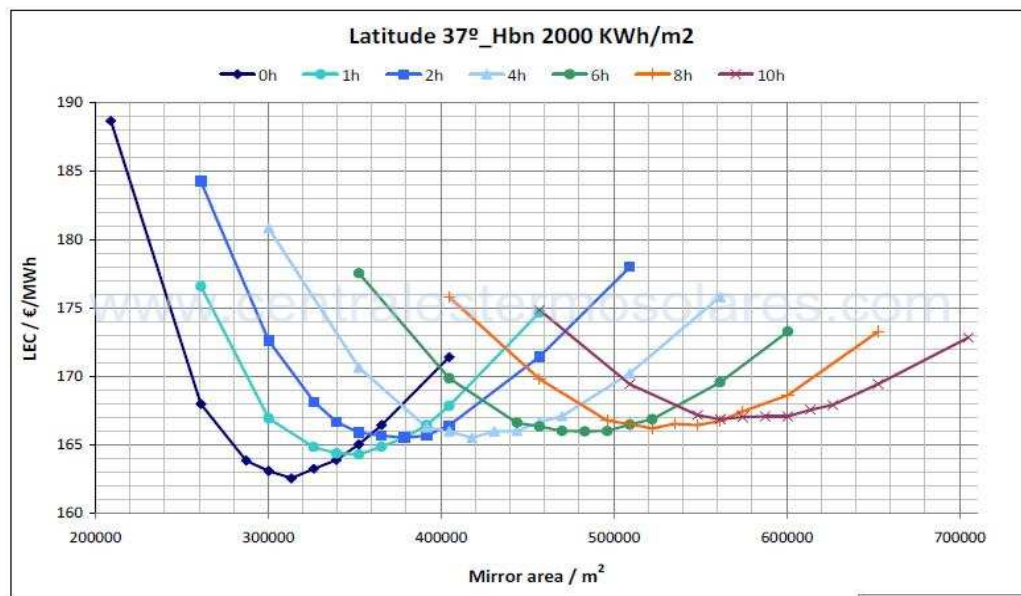
### Paràmetres del mercat actual

Es consideren els costos d'inversió actuals, així com els costos operatius. S'inclou una rendibilitat raonable, (TIR) sense considerar una estructuració financera dels projectes.

Sistema Solar	Inversió "claus en ma"	Costos Operatius OPEX	Cost de l'energia neta produïda
Solar tèrmica	800 - 1.200€/kW	20 - 35€/MWh	10 - 20€/MWh
Termosolar	3.500 - 7.500€/kW	20 -25€/MWh	165 - 240€/MWh
Fotovoltaica	900 - 1.500€/kW	15 - 30€/MWh	70 - 180€/MWh

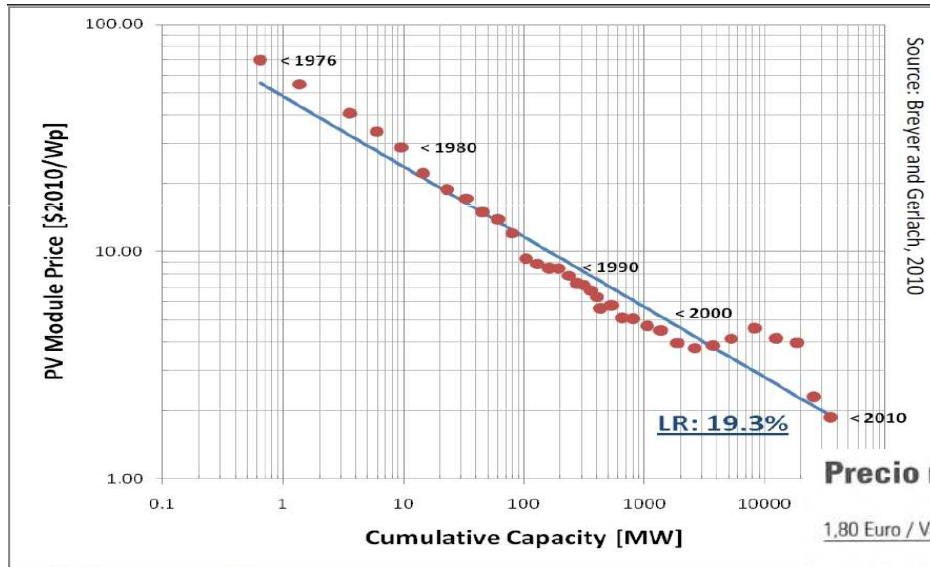
# Valoració econòmica dels sistemes

## Cost de producció de plantes termosolars (50MW, parabòlic)

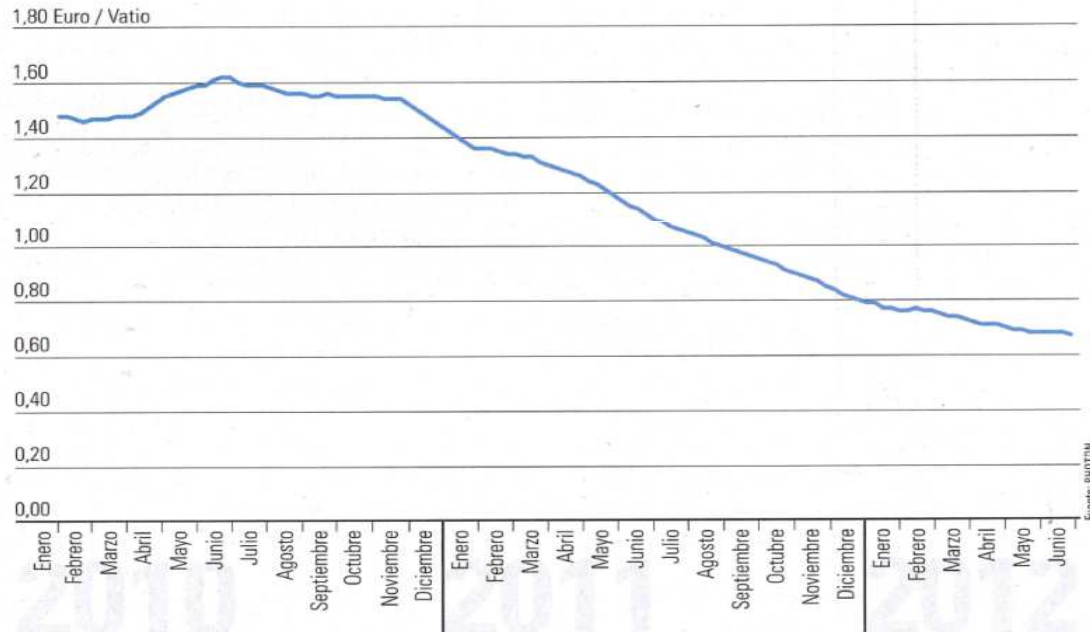


# Valoració econòmica dels sistemes

## Fotovoltaica: Evolució preus dels mòduls solars



Precio medio para módulos solares asiáticos



Equivalència USD a EUR del 0,77



# Valoració econòmica dels sistemes

## Fotovoltaica: Costos de producció i Paritats

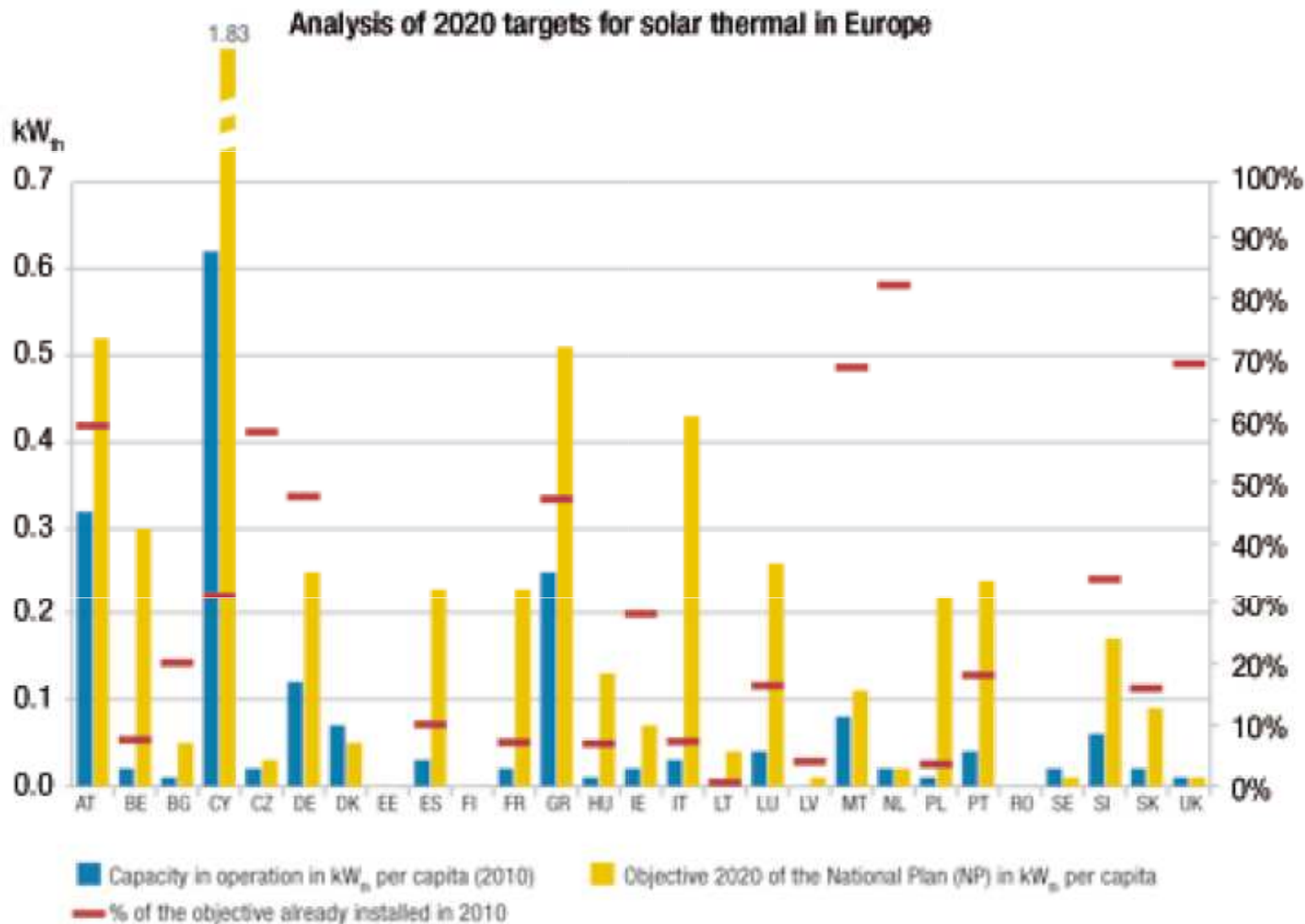
Escenari de 20 anys de vida, 1% de manteniment, 4% d'interès i TIR del 5%.

Cost (ctsEUR/kWh)	2.400	2.200	2.000	1.800	1.600	1.400	1.200	1.000	800
Inversió final	kWh/kWp.any	kWh/kWp.any	kWh/kWp.any	kWh/kWp.any	kWh/kWp.any	kWh/kWp.any	kWh/kWp.any	kWh/kWp.any	kWh/kWp.any
200 EUR/kWp	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,4	1,7	2,0	2,5
600 EUR/kWp	2,5	2,7	3,0	3,3	3,8	4,3	5,0	6,0	7,5
1.000 EUR/kWp	4,2	4,5	5,0	5,6	6,3	7,1	8,3	10,0	12,5
1.400 EUR/kWp	5,8	6,4	7,0	7,8	8,8	10,0	11,7	14,0	17,5
1.800 EUR/kWp	7,5	8,2	9,0	10,0	11,3	12,9	15,0	18,0	22,5
2.200 EUR/kWp	9,2	10,0	11,0	12,2	13,8	15,7	18,3	22,0	27,5
2.600 EUR/kWp	10,8	11,8	13,0	14,4	16,3	18,6	21,7	26,0	32,5
3.000 EUR/kWp	12,5	13,6	15,0	16,7	18,8	21,4	25,0	30,0	37,5
3.400 EUR/kWp	14,2	15,5	17,0	18,9	21,3	24,3	28,3	34,0	42,5
3.800 EUR/kWp	15,8	17,3	19,0	21,1	23,8	27,1	31,7	38,0	47,5
4.200 EUR/kWp	17,5	19,1	21,0	23,3	26,3	30,0	35,0	42,0	52,5
4.600 EUR/kWp	19,2	20,9	23,0	25,6	28,8	32,9	38,3	46,0	57,5
5.000 EUR/kWp	20,8	22,7	25,0	27,8	31,3	35,7	41,7	50,0	62,5

# Prospectiva sobre l'energia solar

## Energia Solar Tèrmica

Dades europees d'ESTIF (2011).

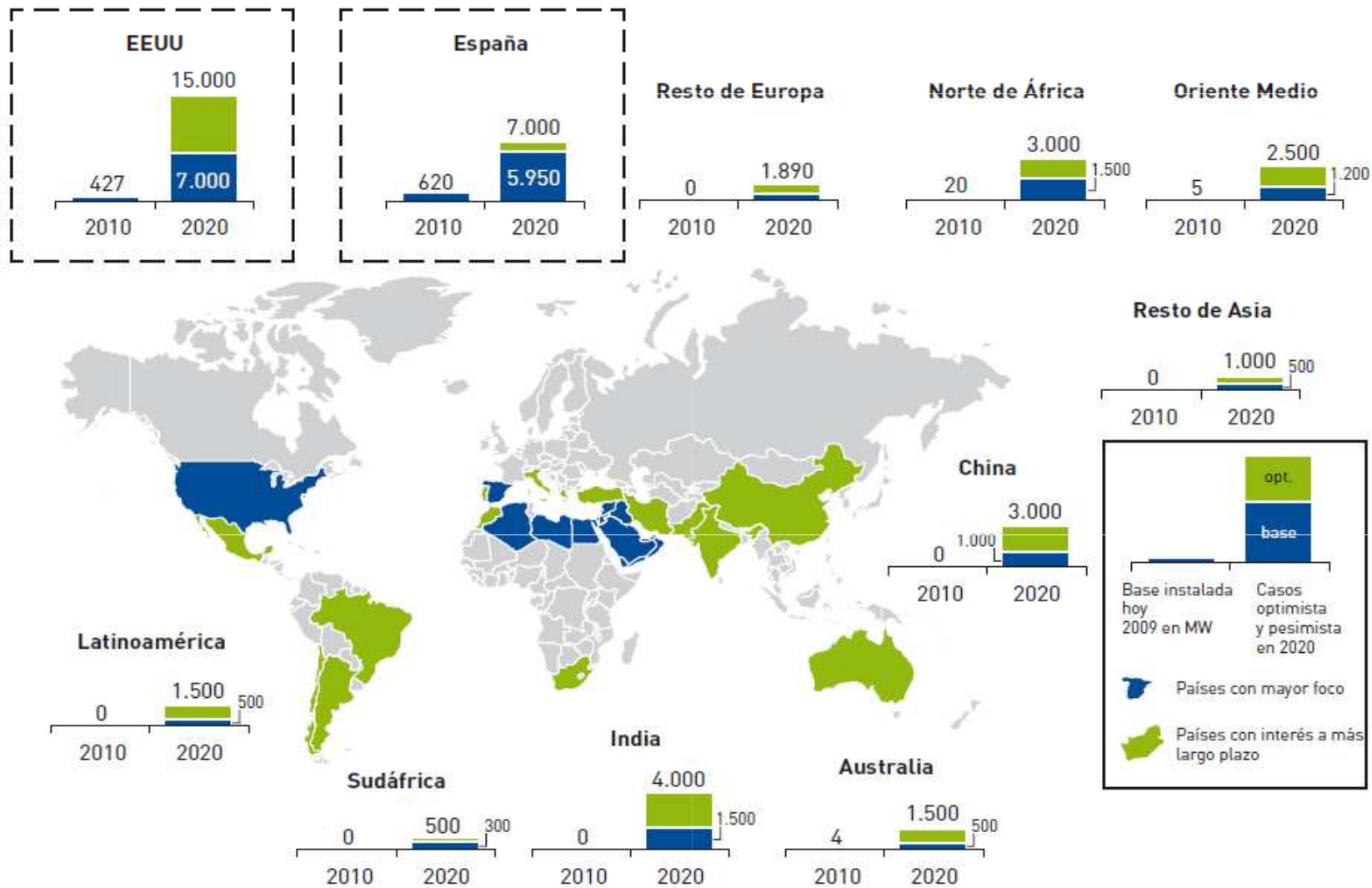


# Prospectiva sobre l'energia solar

## Plantes Solars Termoelectriques

Dades mundials de BCG (2010) i IDAE (PER).

Evolución esperada de capacidad de generación con tecnología solar termoelectrica hasta 2020

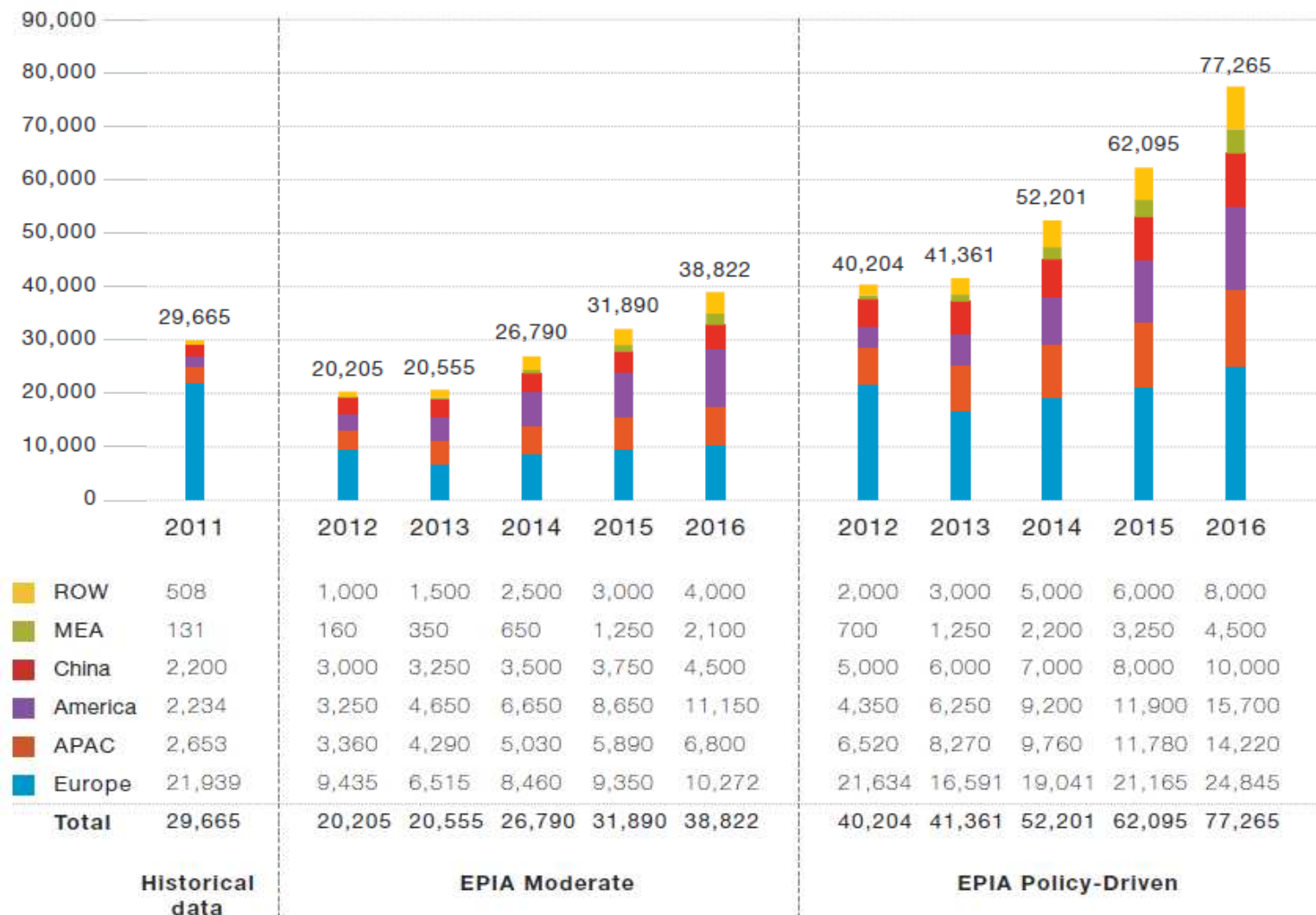


# Prospectiva sobre l'energia solar

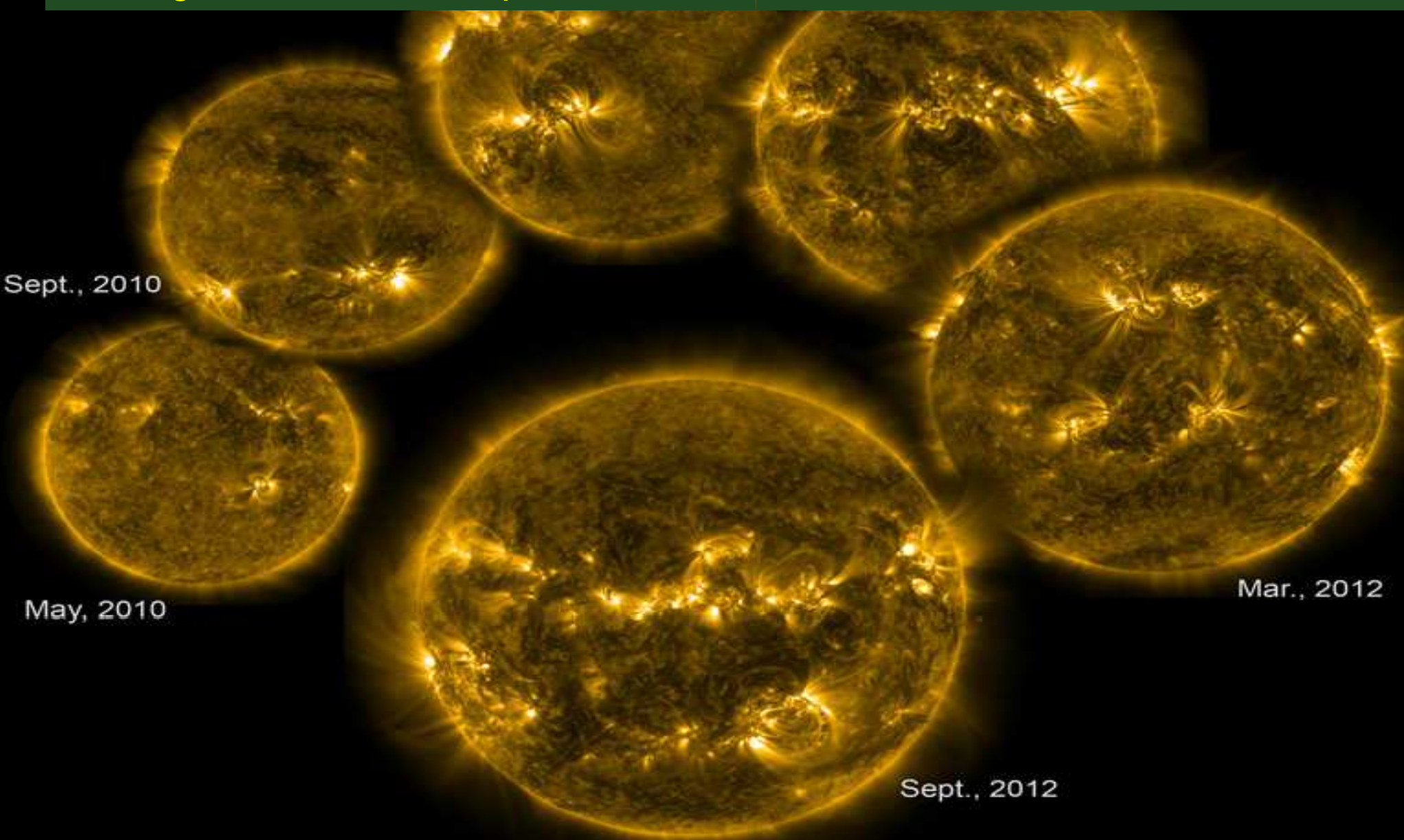
## Energia Solar Fotovoltaica

Dades mundials d'EPIA (2012).

Evolution of global annual market scenarios per region (MW)



# L'energia solar: una font primària amb futur



Progressing towards Solar Max

