

29 de noviembre de 2016

Organizadores:



Marco tecnológico para la implantación de las energías renovables en los invernaderos

Manuel Pérez García

Unidad de Modelado y Control Automático

CIESOL centro mixto UAL-CIEMAT

Grupo de Investigación ARM-UAL (TEP-197)

mperez@ual.es

www.ciesol.es

Contenido

- **Introducción y justificación.**
- **Demandas energéticas en invernaderos.**
- **Tecnologías renovables en agricultura intensiva.**
- **Conclusiones.**

Contexto energético:

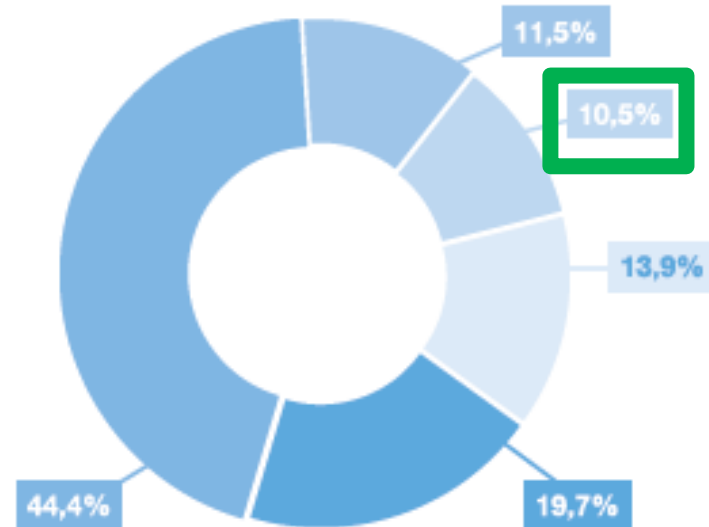
- Externalidades ambientales.
- Aspectos socio-económico y geopolíticos
- Caso particular, **agricultura intensiva**:
 - Indispensable en tareas agronómicas
 - Contribuye al incremento de la producción y su gestionabilidad comercial
 - Eventual valor añadido en un marco de trazabilidad
 - Industria auxiliar

Algunos números elementales

Estructura del consumo final por sectores en Almería en 2013



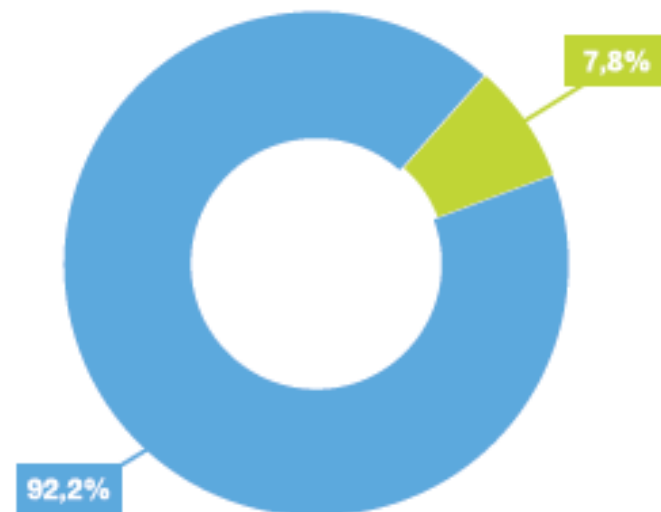
Total: 924,9 ktep



Participación en el consumo total de energía final en 2013



Total: 11.792,1 ktep



Sistema de Información Multiterritorial de Andalucía (SIMA)

(Megavatios/hora)

[Año=2014]



04001



Otro periodo

Filtrar

Pulsando el botón de Filtrar...

	Sectores						
Territorio	Agricultura	Industria	Comercio-Servicios	Sector residencial	Administración-servicios públicos	Resto	Total
Andalucía	1.362.778	8.022.977	6.645.649	12.081.423	3.657.084	278.936	32.048.847
Almería	332.291	507.420	530.845	918.660	406.795	16.146	2.712.157
Cádiz	82.497	2.146.007	830.304	1.380.396	484.633	31.261	4.955.098
Córdoba	112.387	472.613	589.809	1.131.361	316.293	25.975	2.648.438
Granada	185.877	420.886	662.209	1.317.683	378.474	22.768	2.987.898
Huelva	119.245	1.888.482	371.055	657.689	275.379	12.634	3.324.484
Jaén	189.112	679.971	412.754	961.654	269.199	23.306	2.535.996
Málaga	82.550	376.323	1.690.857	2.742.328	749.063	73.296	5.714.417
Sevilla	258.819	1.531.276	1.557.816	2.971.650	777.249	73.550	7.170.360

Fuente: Endesa Distribución Eléctrica

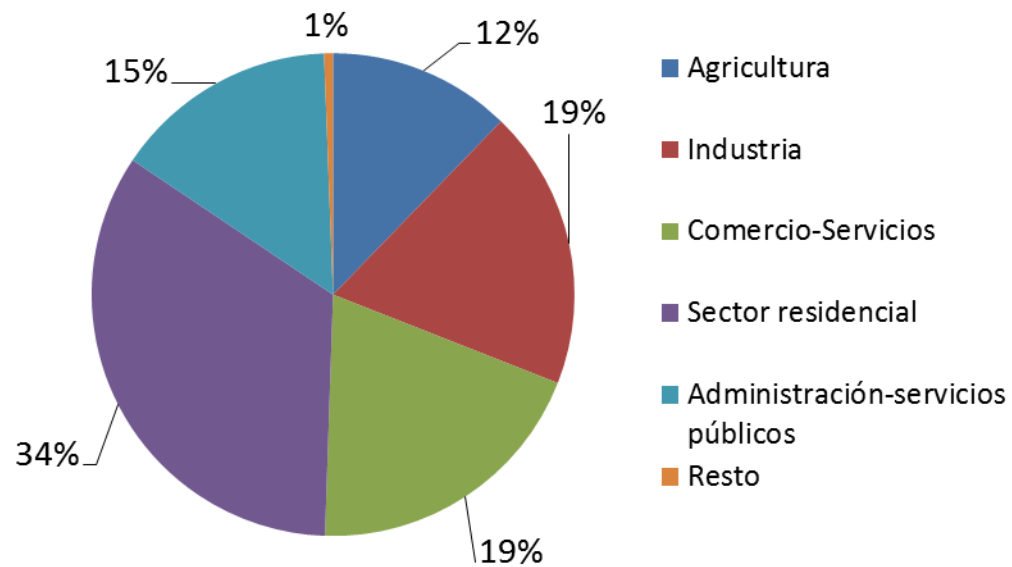
(*)La información suministrada corresponde únicamente a la energía eléctrica distribuida por la empresa Endesa Distribución Eléctrica

Datos clave para Almería, sector Agricultura (2014):

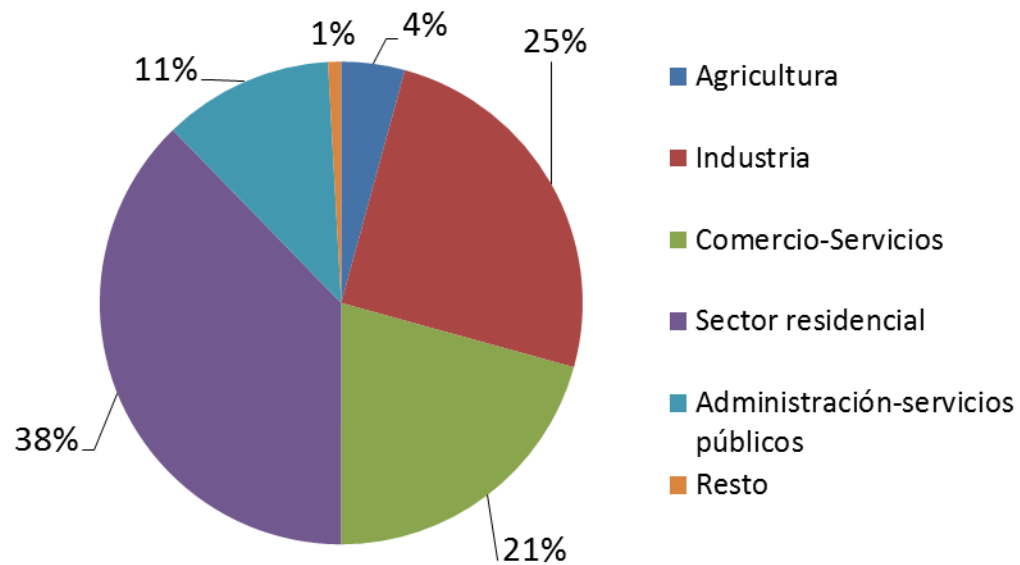
Consumo bruto : 332.291 MWh (el mayor de Andalucía)

Tasa de part.: 12% (Andalucía, 4%)

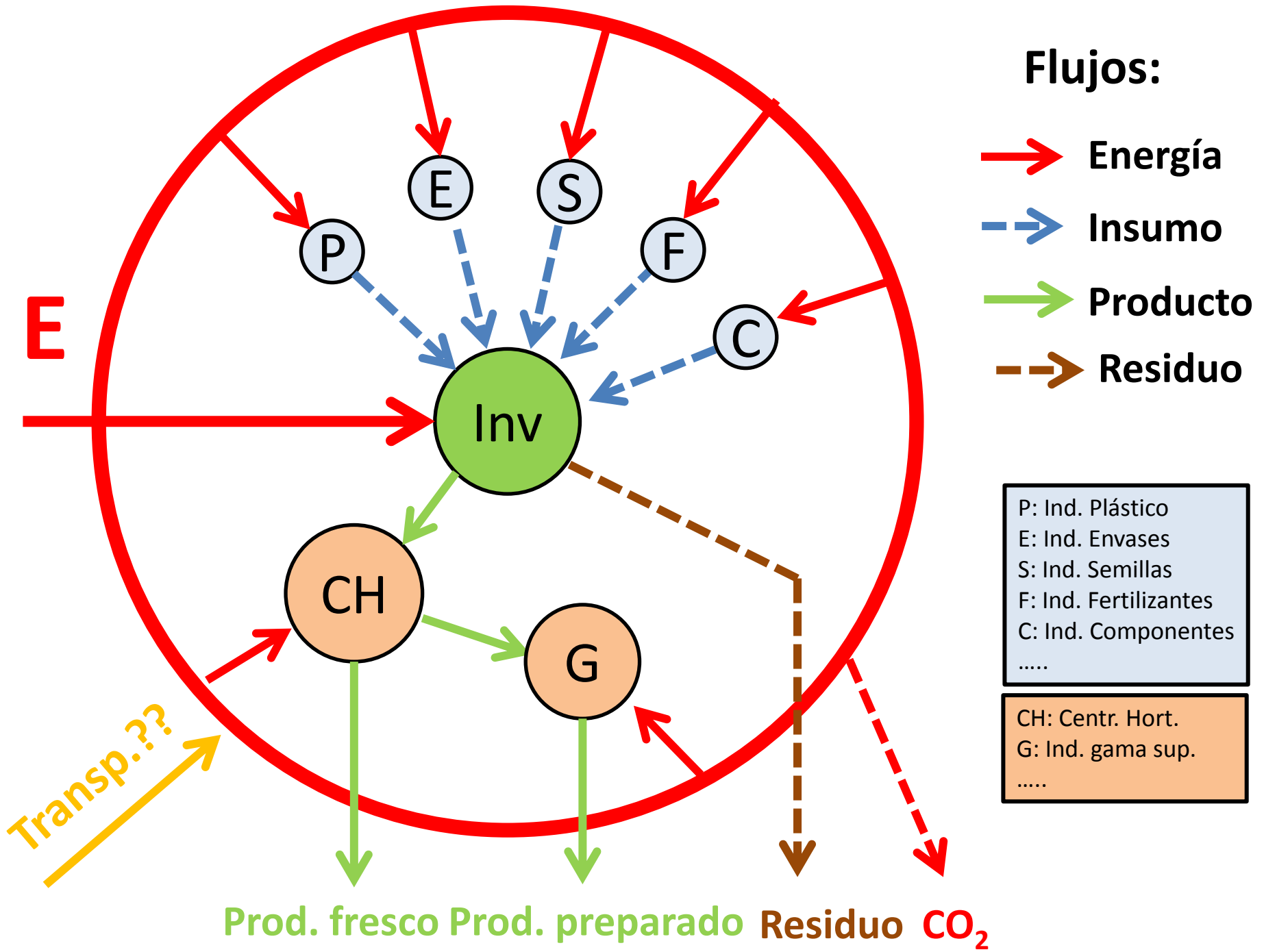
Almería

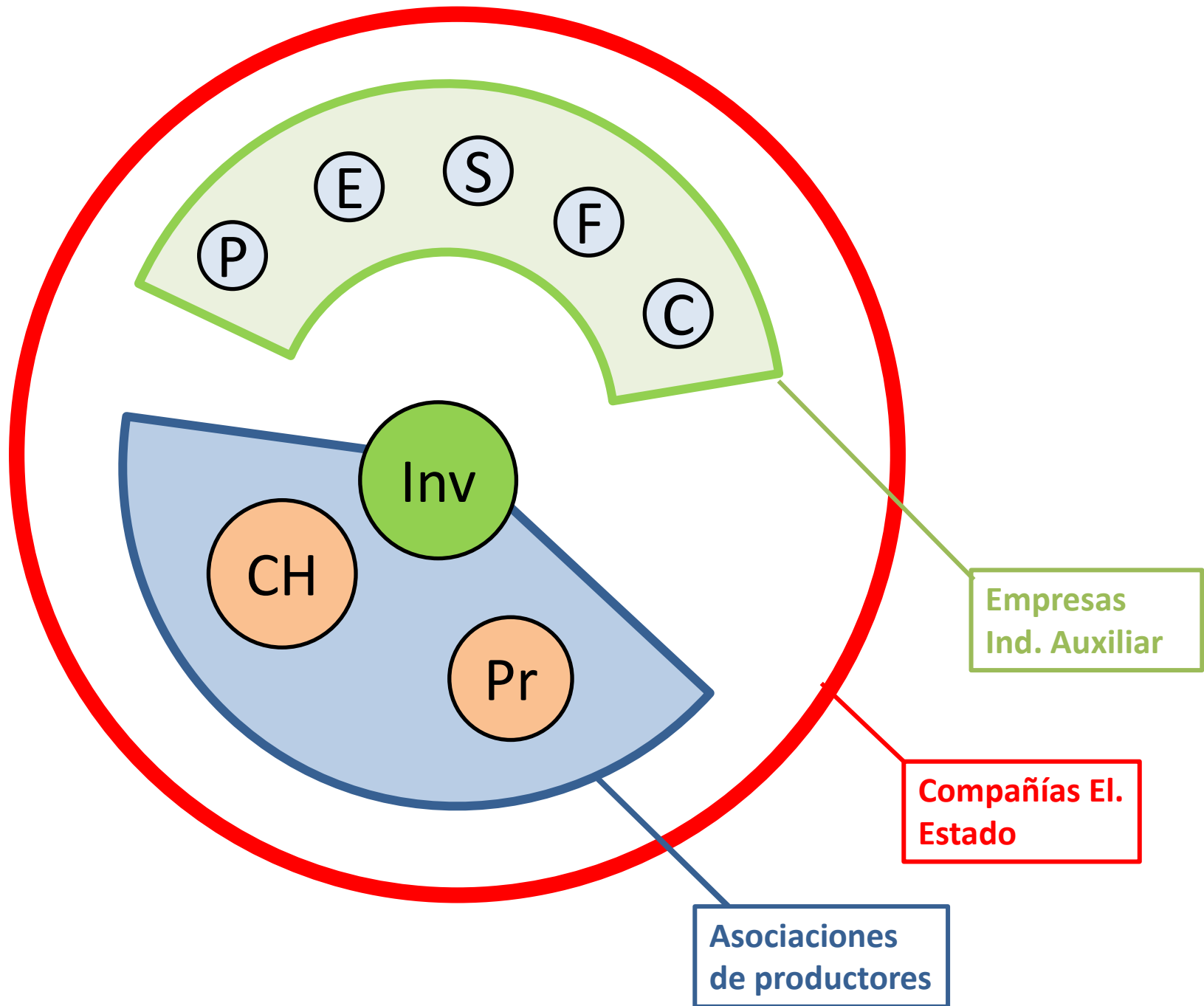


Andalucía



Modelo de flujos centrado en invernadero





Anécdota...



Empresas ▾

Contáctenos

Español

-A+

Buscar



Productos

Le asesoramos

Gestione online

Más energía



Acceso clientes

Regístrate

Empresas > Productos > Preferente



Imprimir



Compartir

Preferente



CONTRATAR



[Ver condiciones](#)

- **30%** de descuento **indefinido** en su consumo de electricidad.
- Tarifa adaptada para suministros con potencia máxima contratada **superior a 15 kW (Tarifa de acceso 3.0.A)**.

Demandas energéticas en invernaderos:

E-Q

- **Control de clima**
 - Calefacción
 - Refrigeración
 - Ventilación
 - Dehumidificación
- **Riego/fertirriego**
- **Iluminación**
- **Operaciones**
- **Monitorización y control**
- **Otros servicios**
 - Desalación
 - Solarización
 - Solución nutritiva

Resumen de cargas (térmicas):

Calefacción/Refrigeración

Cargas:

300-500 MJ/m²año

100-300 W_{th}/m²

Resumen de cargas (eléctricas):

Tabla 4. Estructura de costes de producción anual de una explotación tipo.
En euros/ha

	Campaña 2013-2014		Campaña 2014-2015		Variación
	Euros	% gastos anuales	Euros	% gastos anuales	%
Gastos corrientes					
Mano de obra	22.949	39,9	23.109	40,5	0,7
Semillas y plantones	5.093	8,8	5.205	9,1	2,2
Agua	1.495	2,6	1.542	2,7	3,1
Fertilizantes	3.890	6,8	3.647	6,4	-6,3
Fitosanitarios	3.182	5,5	3.151	5,5	-1,0
<i>Control químico</i>	2.418	4,2	2.284	4,0	-5,5
<i>Control biológico</i>	764	1,3	866	1,5	13,4
Energía	1.262	2,2	1.258	2,2	-0,3
Servicios	5.865	10,2	5.214	9,1	-11,1
<i>Transporte</i>	1.888	3,3	1.883	3,3	-0,3
<i>Comunicaciones</i>	391	0,7	391	0,7	0,0
<i>Costes financieros y seguros</i>	3.586	6,2	2.939	5,2	-18,0
Otros gastos	1.636	2,8	1.635	2,9	-0,1
Total gastos corrientes	45.373	78,8	44.762	78,5	-1,3
Gastos de amortización					
Arena/tierra	319	0,6	319	0,6	0,1
Estiércol/sustrato	1.894	3,3	1.945	3,4	2,7
Estructura de invernaderos	4.460	7,7	4.463	7,8	0,1
Plástico	3.341	5,8	3.361	5,9	0,6
Sistema de riego	724	1,3	732	1,3	1,1
Balsa de riego	438	0,8	435	0,8	-0,6
Otros	1.017	1,8	1.016	1,8	-0,1
Total gastos de amortización	12.192	21,2	12.271	21,5	0,6
Total gastos anuales	57.565	100,0	57.033	100,0	-0,9

Fuente: Instituto Nacional de Estadística; Delegación Provincial de la Consejería de Empleo de la Junta de Andalucía; Estación Experimental de Cajamar 'Las Palmerillas' y empresas del sector, Servicio de Informes Técnicos de Negocio Agroalimentario y Cooperativo de Cajamar. Elaboración propia.



1.260 €/ha
0,125 €/kWh
10.080 kWh/ha
30.000 ha
302.400 MWh

1,008 kWh/m²

Estimación directa:

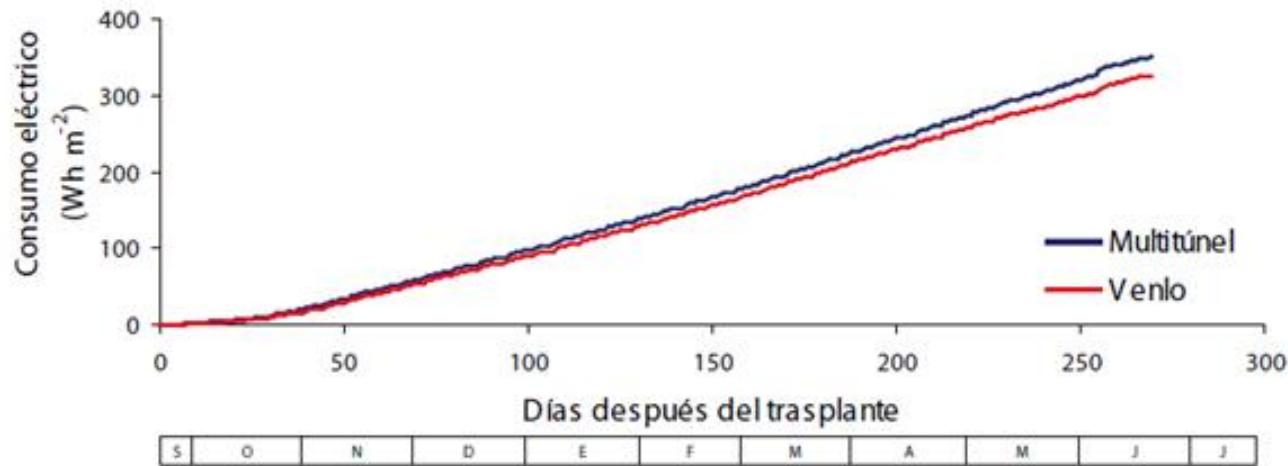


Figura 3.11 Evolución del consumo eléctrico general acumulado durante el experimento en cada uno de los invernaderos.

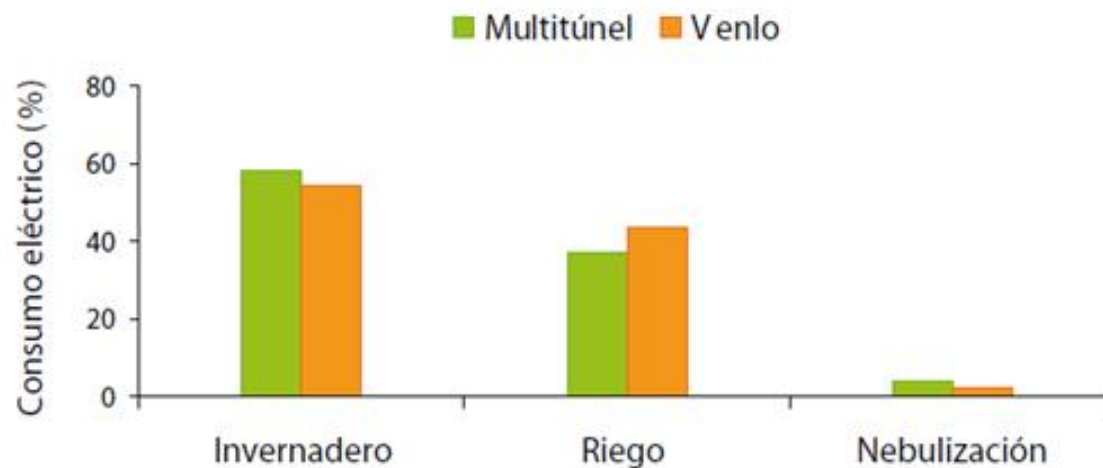


Tabla 12. Valores de producción de tomate en diferentes tipos de invernaderos y países

País	Tipo de invernadero	P	GER	C	GWP	ADP	AAP	EUP	POP	W
España	Multitúnel con plástico ^a	16,5	4,0		0,25	1,7	1,0	0,49	0,054	28,8
Holanda	Venlo de cristal con calefacción ^b	56,5	30,9	31,0	1,93	14,7	3,2	0,85	0,215	14,1
Holanda	Venlo de cristal con cogeneración ^c	56,5	5,0		0,84		1,3	1,85	0,241	
Holanda	Venlo con cogeneración e iluminación ^c	76,5	11,9	39,0	1,18		1,6	1,97	0,092	
Francia	Túnel con cubierta plástica ^d	14,6	5,2		0,51		1,4		0,850	34,2
Francia	Multitúnel de plástico con calefacción ^d	44,0	31,6		2,02		3,4		0,460	28,4
Francia	Cristal con calefacción ^d	44,0	31,3	85,3	2,01		3,4		0,447	28,4
Italia	Plástico ^e	9,6	16,2		0,74		5,7	2,10	0,300	88,9
R. Unido	Cristal con calefacción ^f		130,0		9,40	100	12,0	1,50		39,0
Suecia	Cristal con calefacción ^g		42,0		3,30					
Canadá	Plástico con calefacción ^h	56,4	52,7	88,0	2,88					

P: producción [kg/m²].

GER, necesidades de energía global (Global Energy Requirement) [MJ/kg].

C, porcentaje de las necesidades debidas a la calefacción [%].

GWP, potencial de calentamiento global (Global Warming Potential) [kg CO₂eq/kg].

ADP, agotamiento abiótico (Abiotic depletion) [kg Sb eq/t].

AAP, acidificación del aire (Air acidification) [kg SO₂ eq/t].

EUP, eutrofización (Eutrophication) [kg PO₄⁻³ eq/t].

POP, oxidación fotoquímica (Photochemical oxidation) [kg C₂H₄ eq/t].

W, necesidades de agua [m³/t].

Fuente: ^aTorrellas et al. (2012); ^bTorrellas et al. (2013); ^cvan Zundert (2012); ^dBoulard et al. (2011); ^eCellura et al. (2012); ^fWillinas et al. (2006); ^gCarlsson-Kanyanma (1998); ^hHendricks (2012).

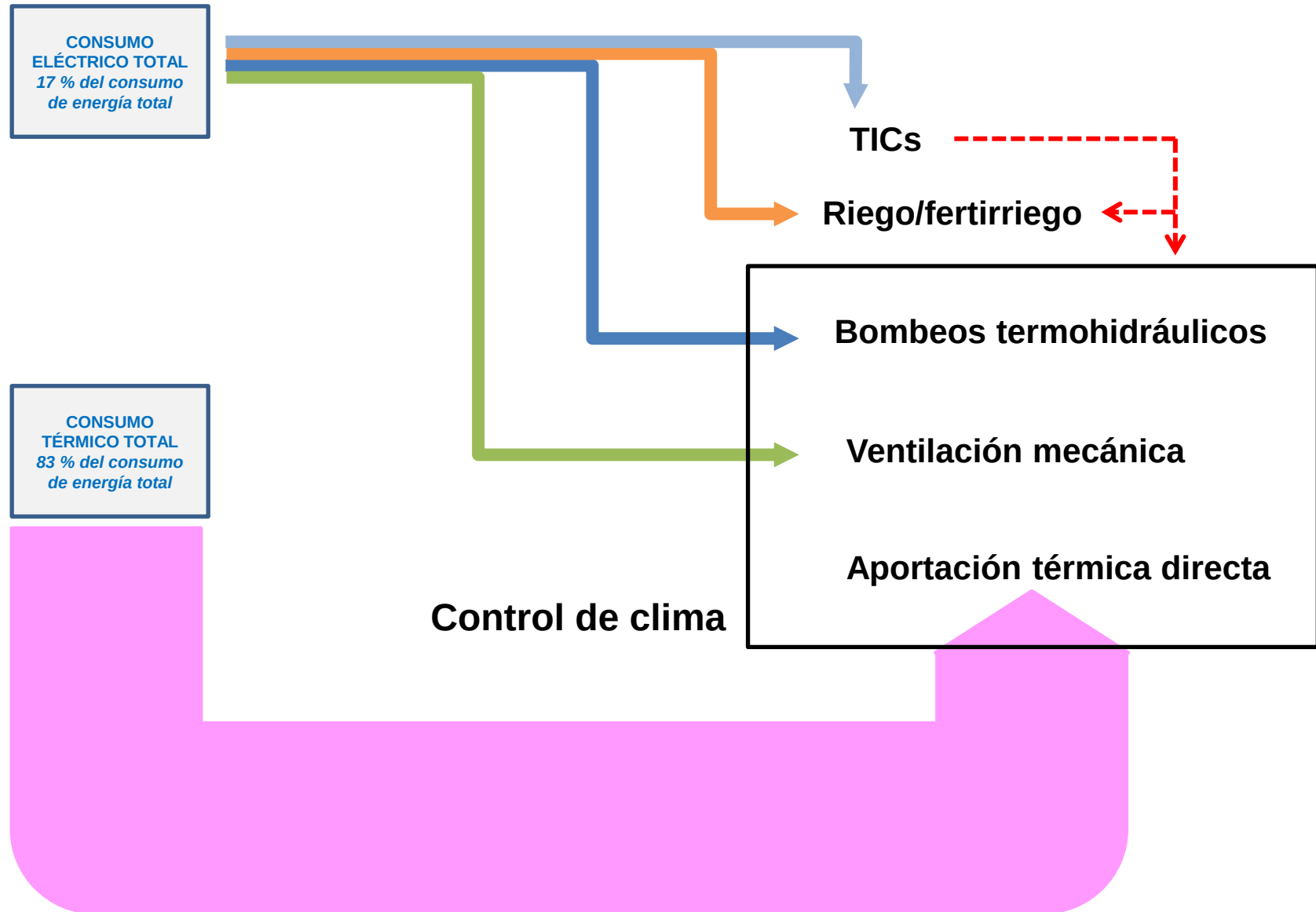
Tomate España

GER 4 MJ/kg

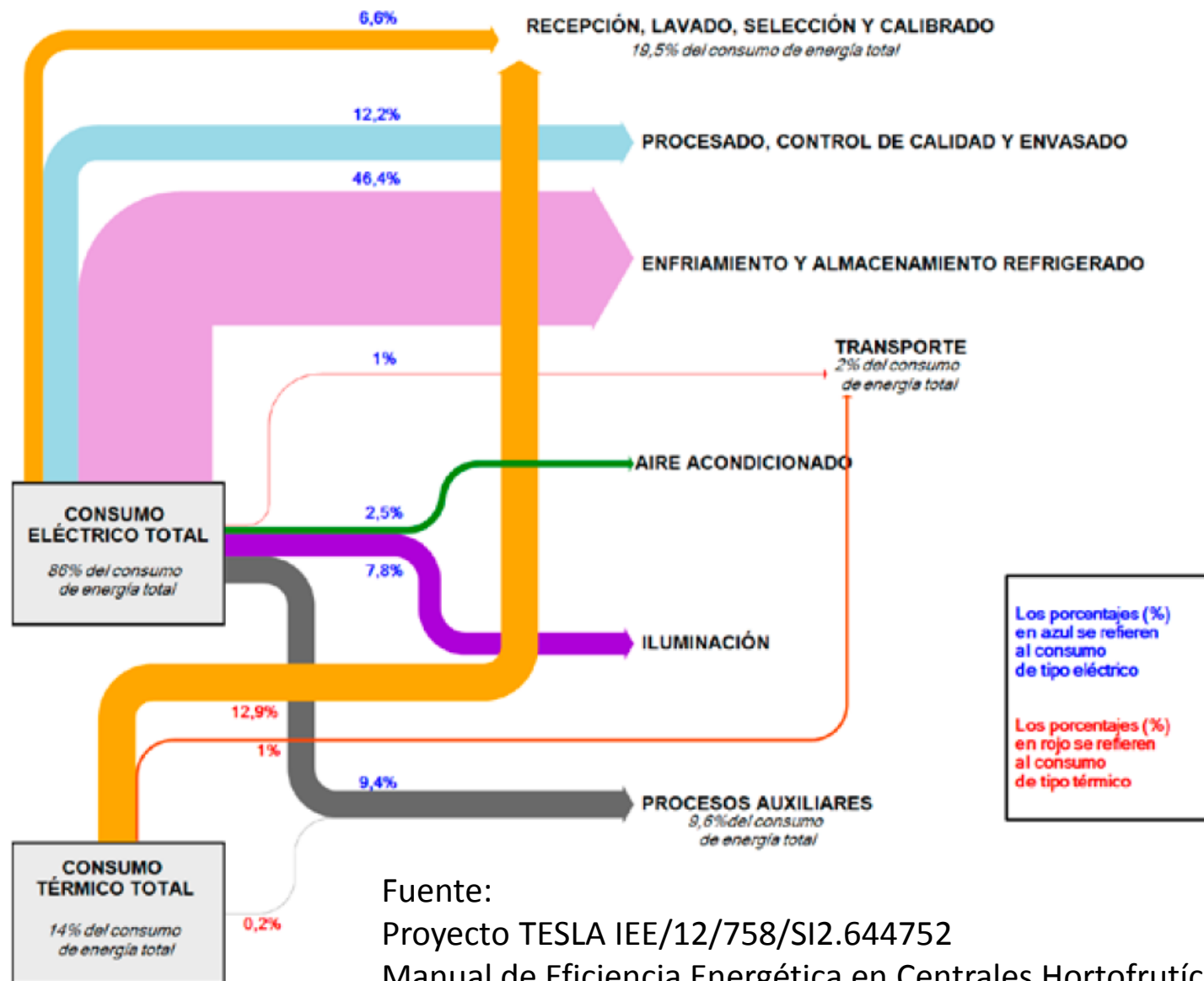
P 16,5 kg/m²

GER/m² 66 MJ/m²
18,3 kWh/m²

Estructura energética en un invernadero (climatizado)



Estructura energética en centrales hortofrutícolas



Fuente:

Proyecto TESLA IEE/12/758/SI2.644752

Manual de Eficiencia Energética en Centrales Hortofrutícolas

<http://teslaproject.chil.me/download-doc/63912>

Fase de producción	Consumo eléctrico (kWh)	%
Refrigeración	512.224	53,81
Manipulación	135.414	14,22
Instalaciones auxiliares	101.204	10,63
Iluminación	86.927	9,13
Lavado y secado	71.718	7,53
Climatización	28.229	2,97
Transporte	11.064	1,16
Sistemas informáticos	5.174	0,54
TOTAL	951.954	100

Tabla 13. Balance energético de electricidad

Fuente: Elaboración propia con datos de las auditorías energéticas realizadas en 2010.



Ninguna en Almería!!!

Consumo refrigeración (estudio TESLA):
25 KWh/t



Consumo refrigeración (ALM):
10 KWh/t



Consumo eléctrico inv ALM
(1 kWh/m², 25 kg/m²):
40 KWh/t
51 KWh/t
(EUPHOROS)



Manual de ahorro y eficiencia
energética del sector
Centrales Hortofrutícolas



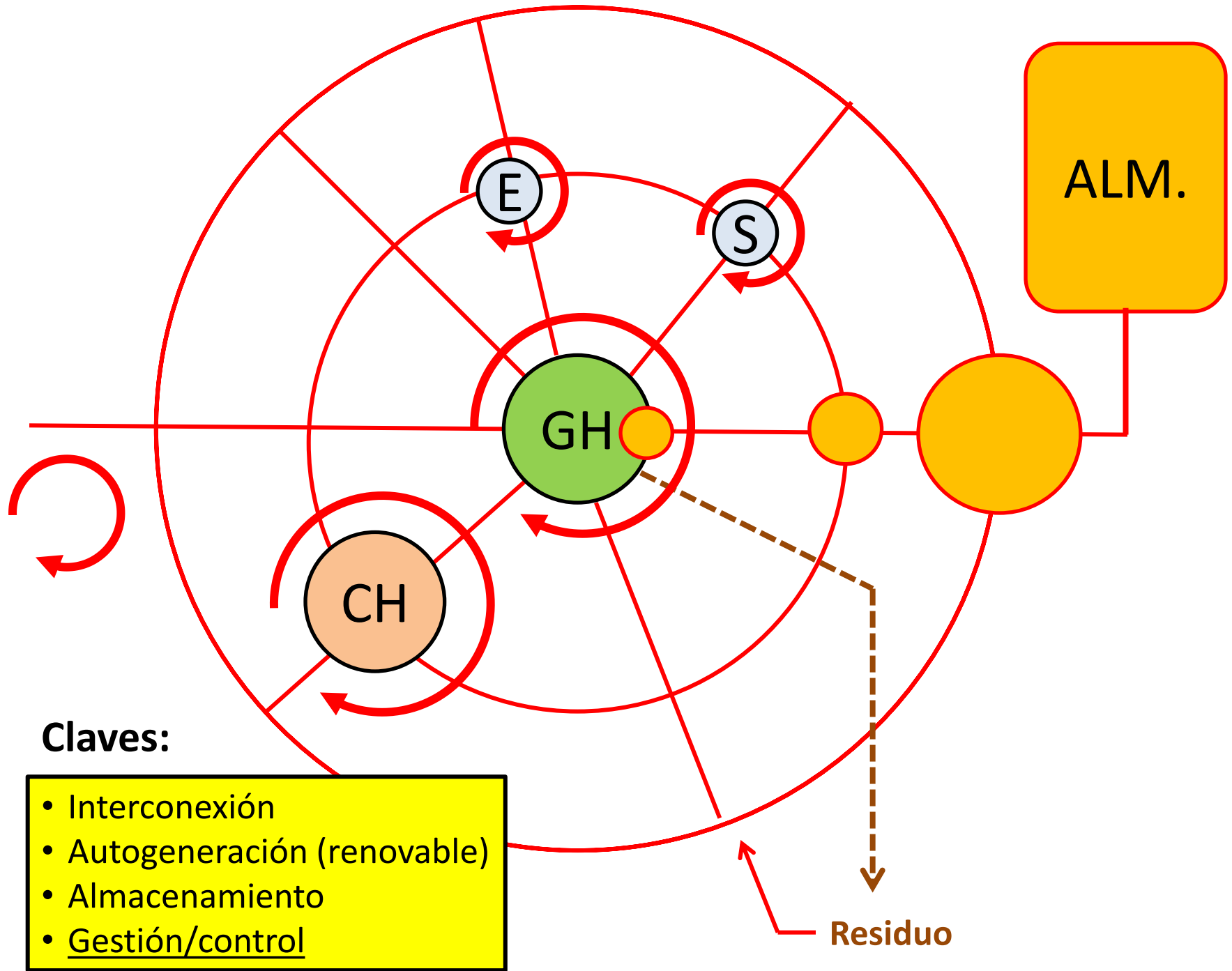
Fuente:

Proyecto financiado con la colaboración de:

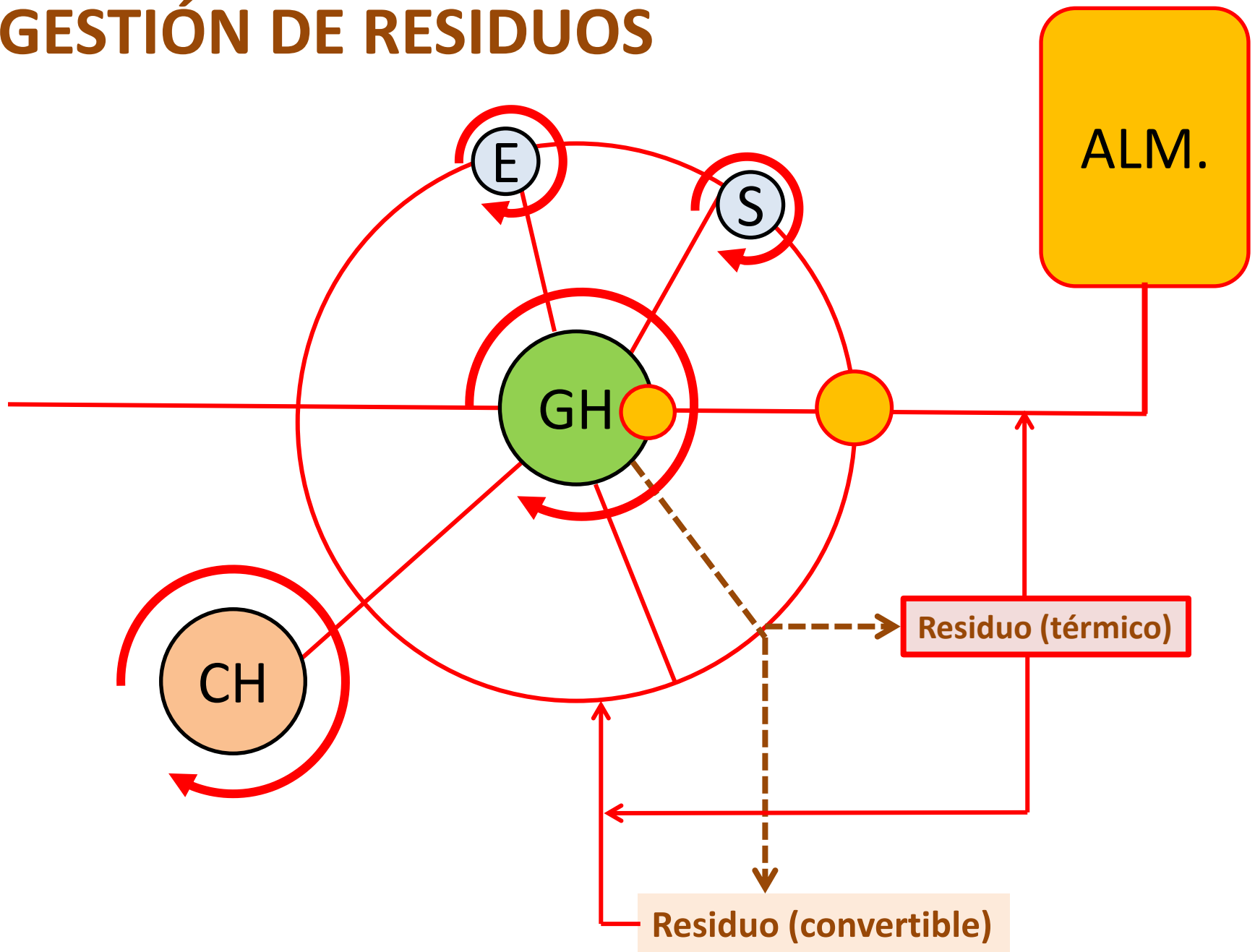


Tecnologías renovables en agricultura intensiva

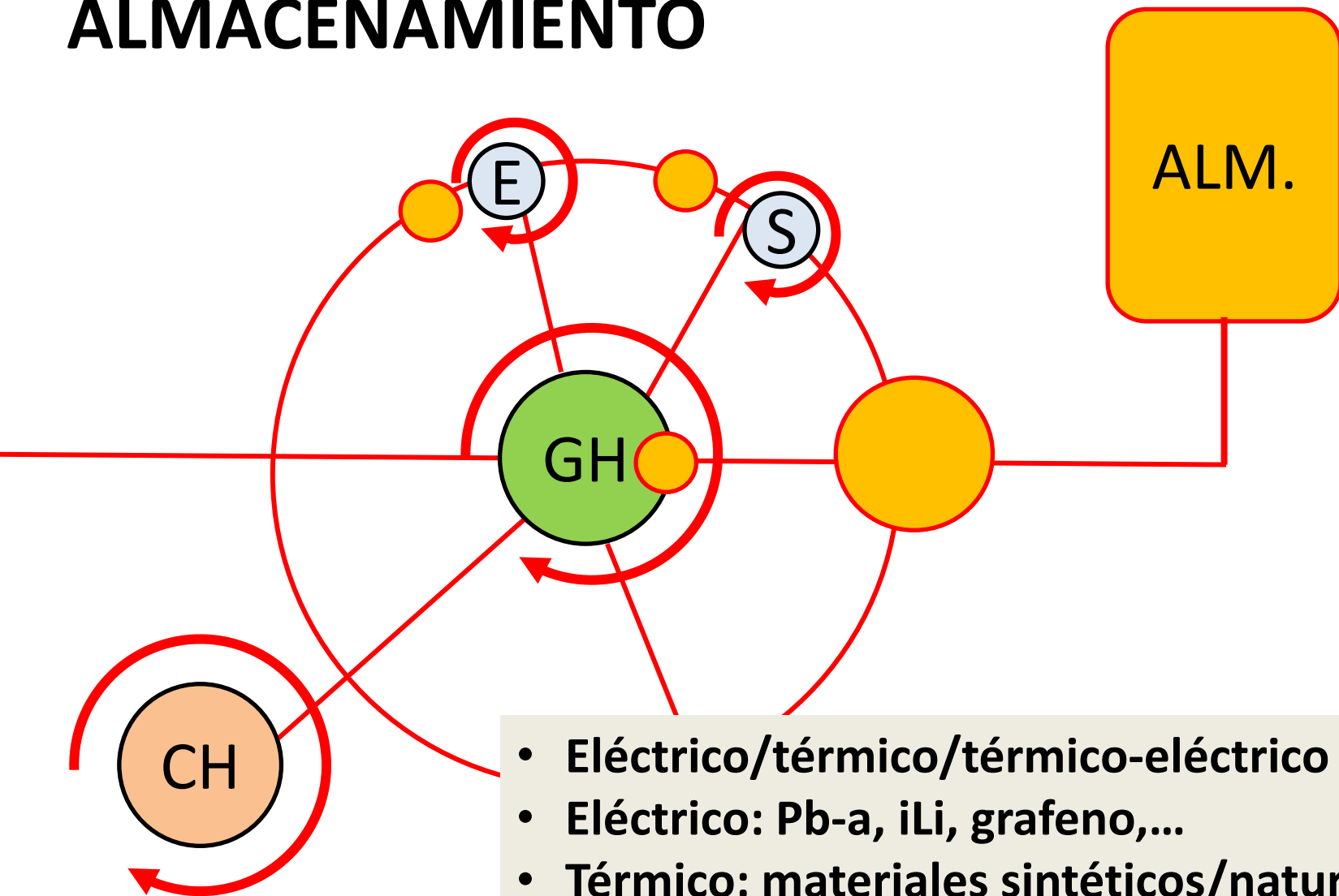
Modelo de flujos (energéticos) distribuido



GESTIÓN DE RESIDUOS



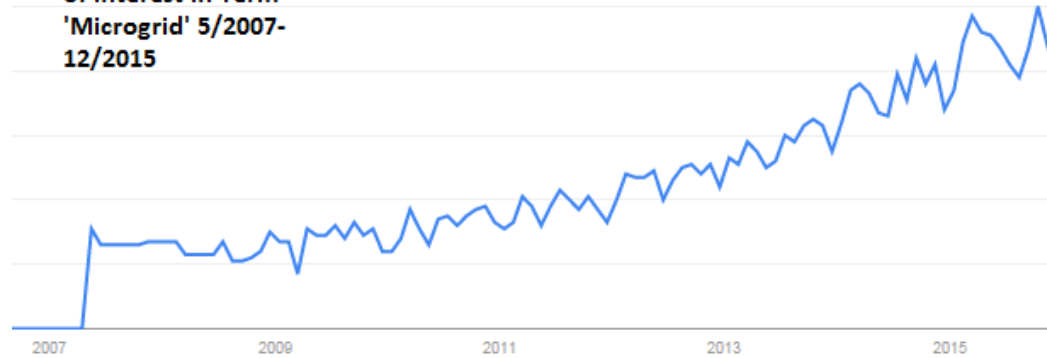
ALMACENAMIENTO



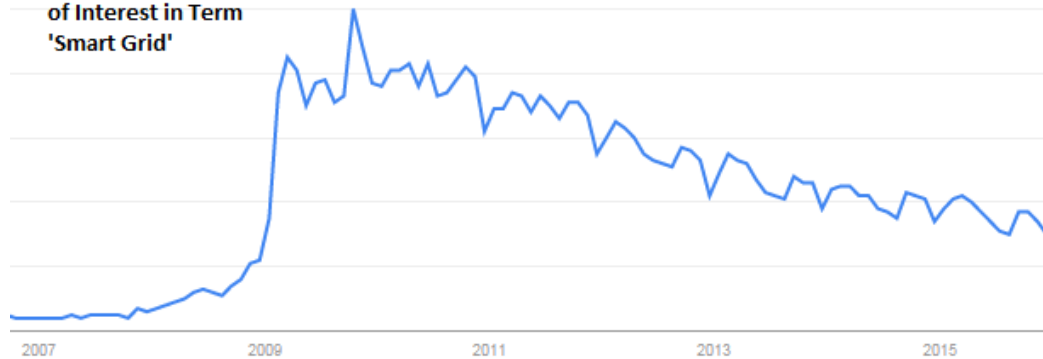
- Eléctrico/térmico/térmico-eléctrico
- Eléctrico: Pb-a, iLi, grafeno,...
- Térmico: materiales sintéticos/naturales.
- Densidad de almacenamiento.
- Operación: instantánea, diaria, estacional

What Will Keep Microgrid Development Trending Upward in 2016?

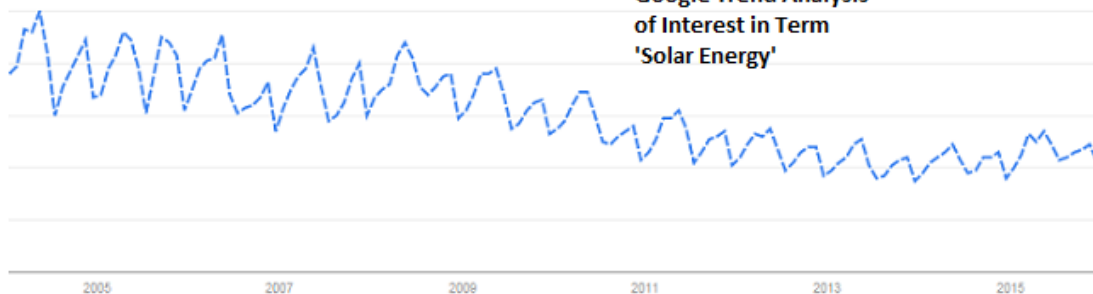
Google Trends Analysis
of Interest in Term
'Microgrid' 5/2007-
12/2015



Google Trend Analysis
of Interest in Term
'Smart Grid'



Google Trend Analysis
of Interest in Term
'Solar Energy'

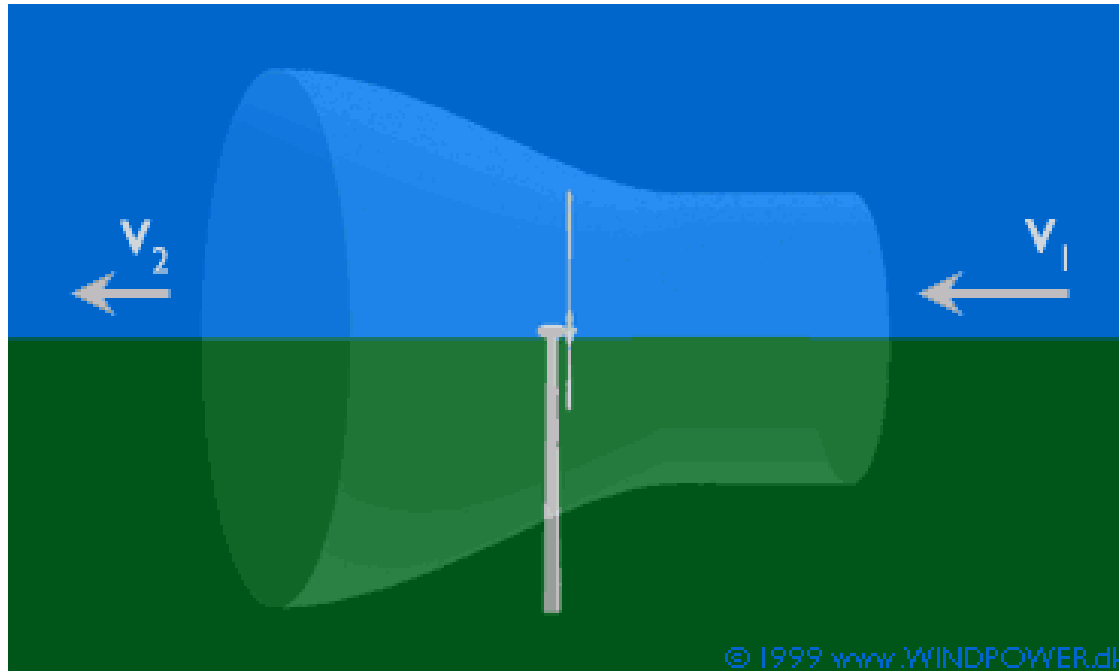


Tecnologías renovables:

- Eólica
- Solar fotovoltaica
- Solar térmica
- Biomasa
- Geotermia

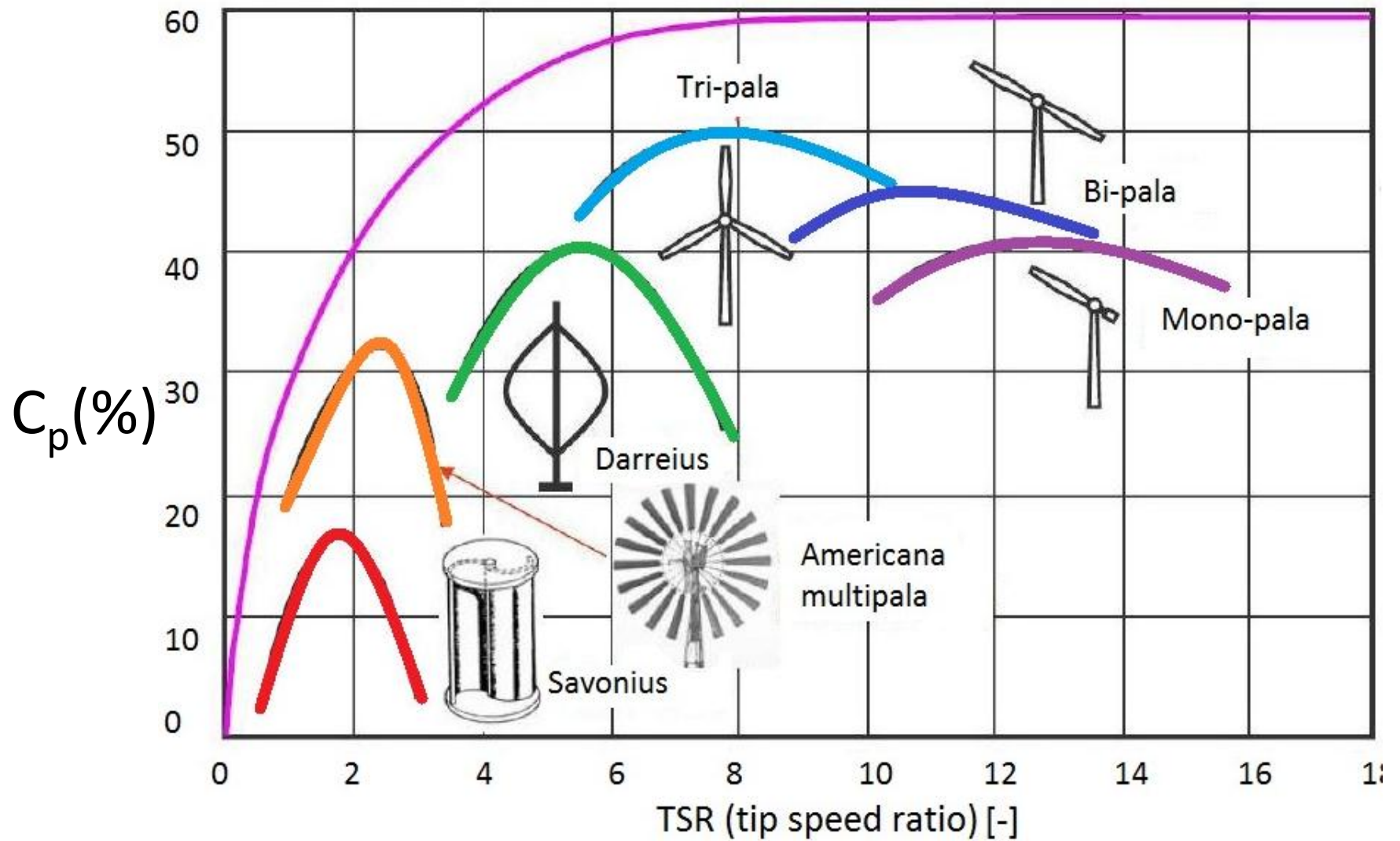
+ Ap. pasivos!!!!

Eólica



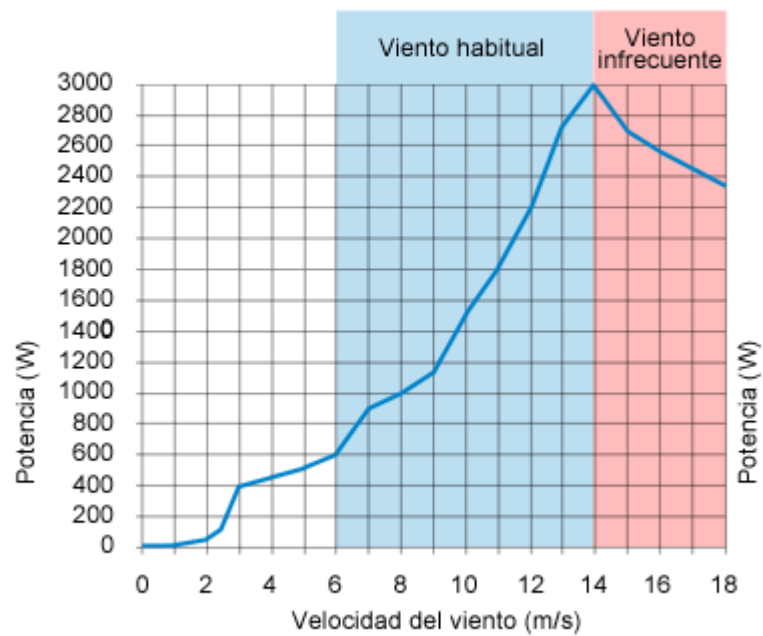
$$P_e = C_p \frac{1}{2} \rho v^3$$

$$C_{p(max)} = \frac{16}{27} = 0,59$$

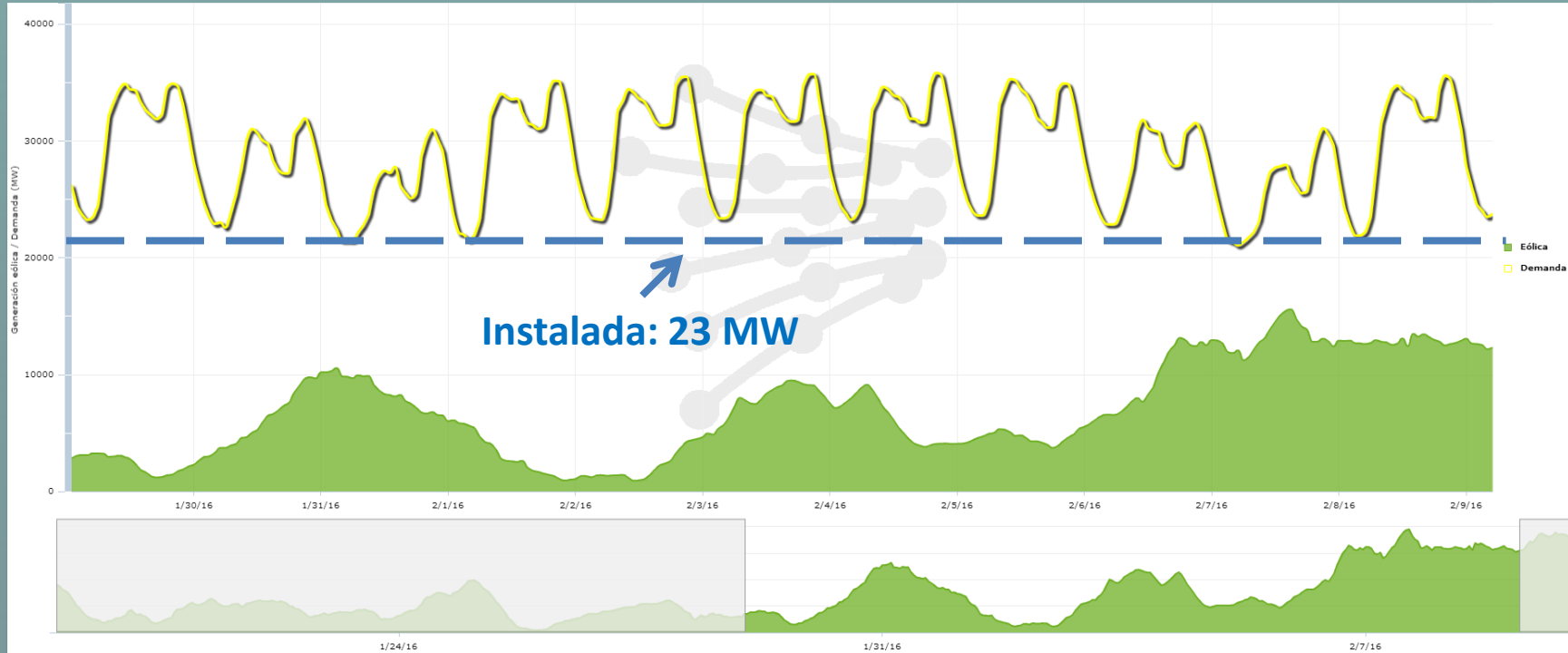




Aerogenerador Ecosolar Aero 1000W



Generación eólica por intervalos y su aportación a la cobertura de la demanda



Periodo a visualizar:

3 semanas

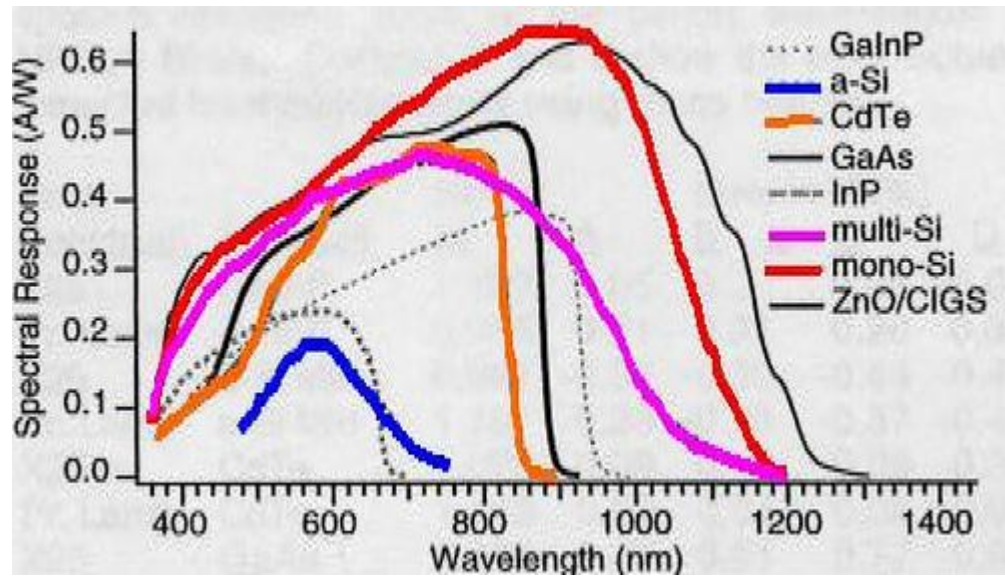
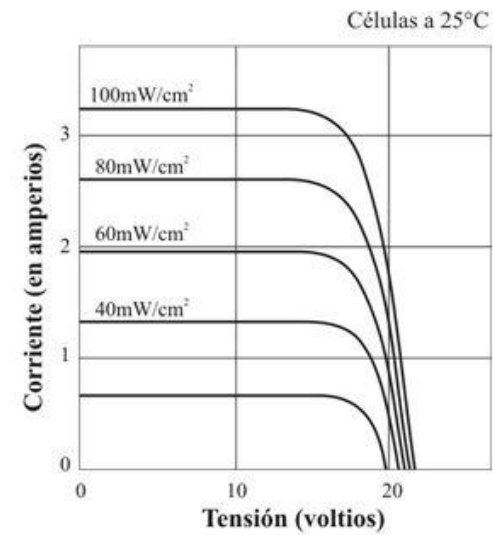
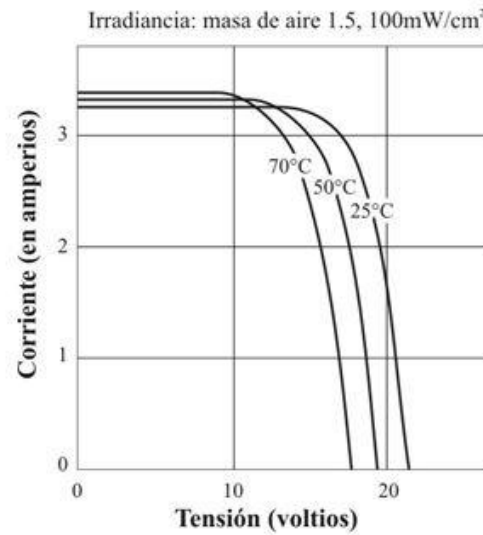
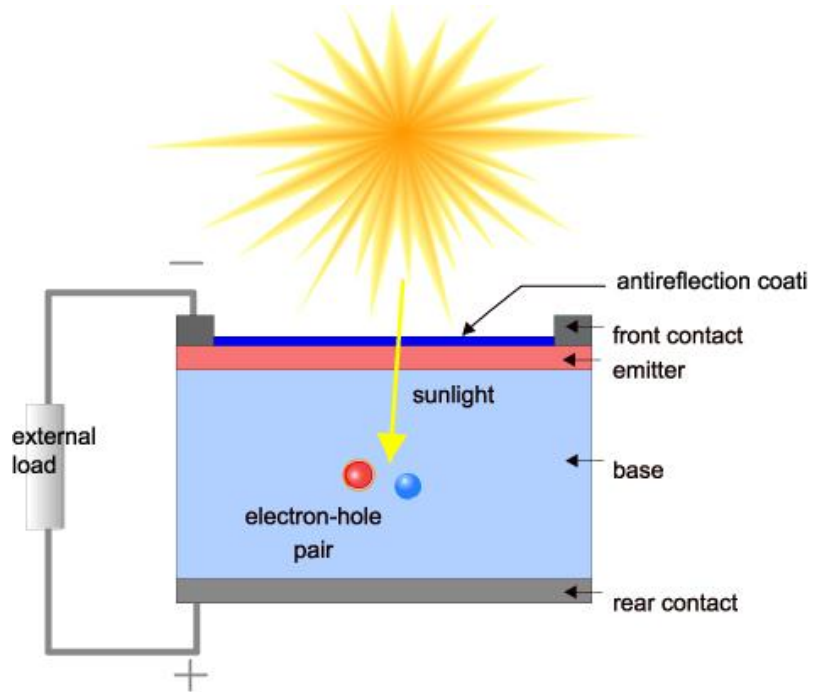
hasta el día

2016-02-09

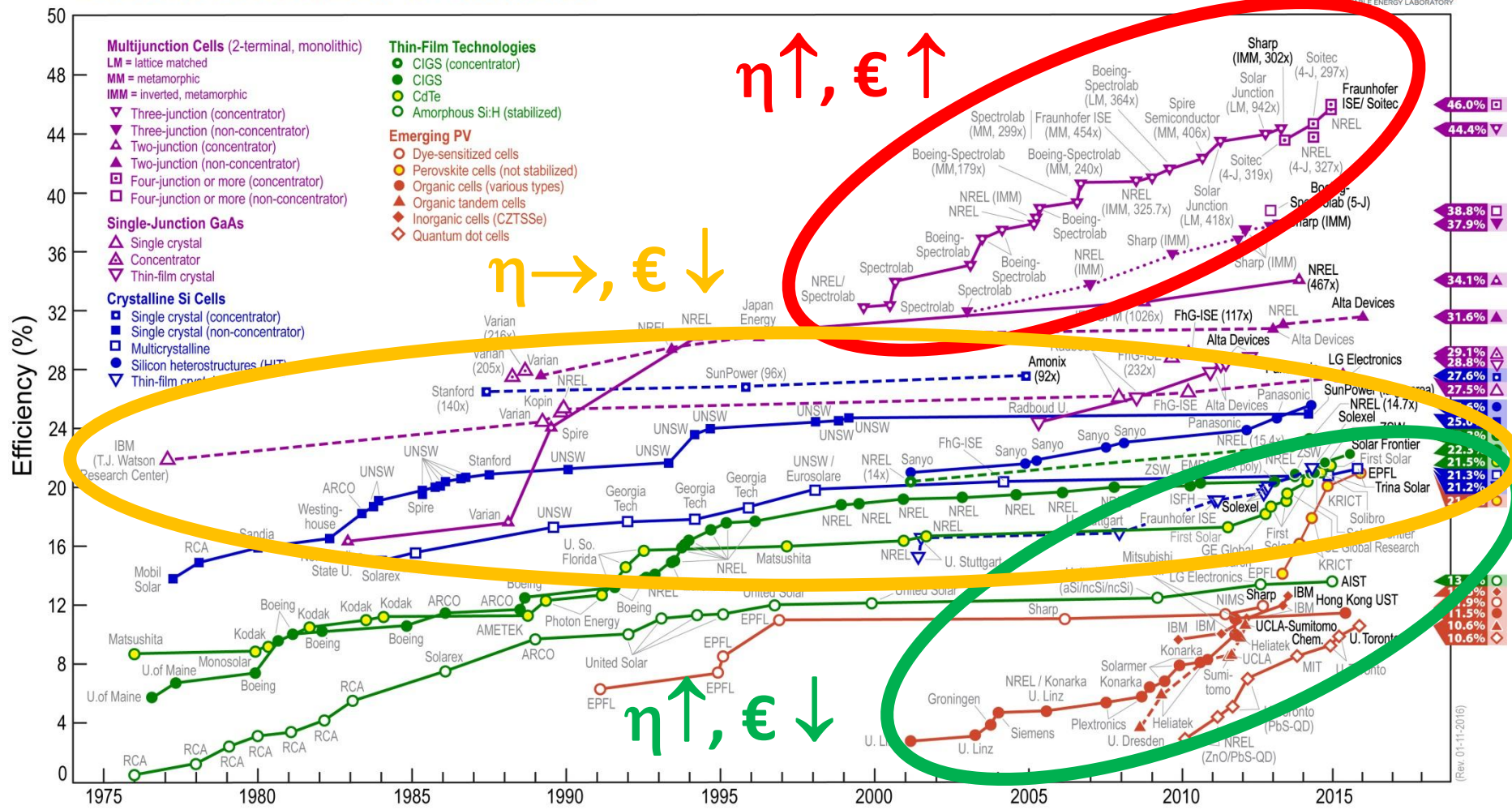
Consultar

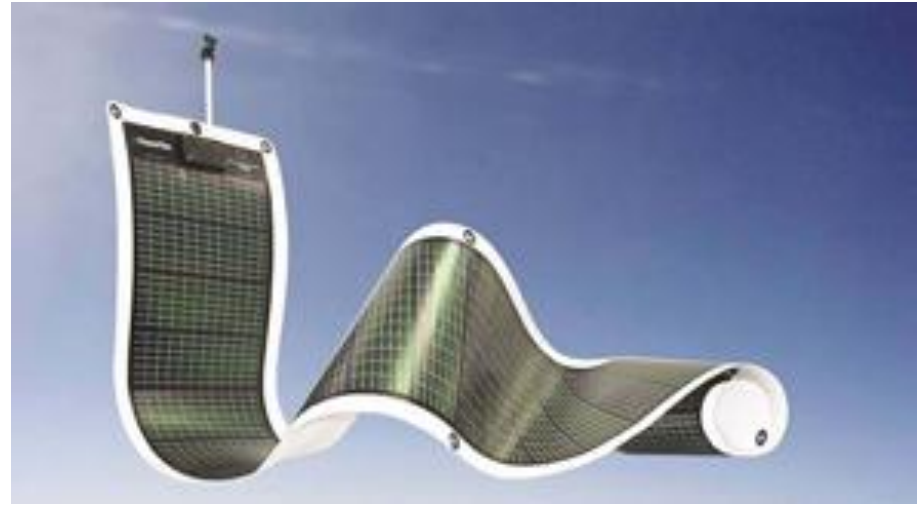
Ayuda

Solar Fotovoltaica



Best Research-Cell Efficiencies



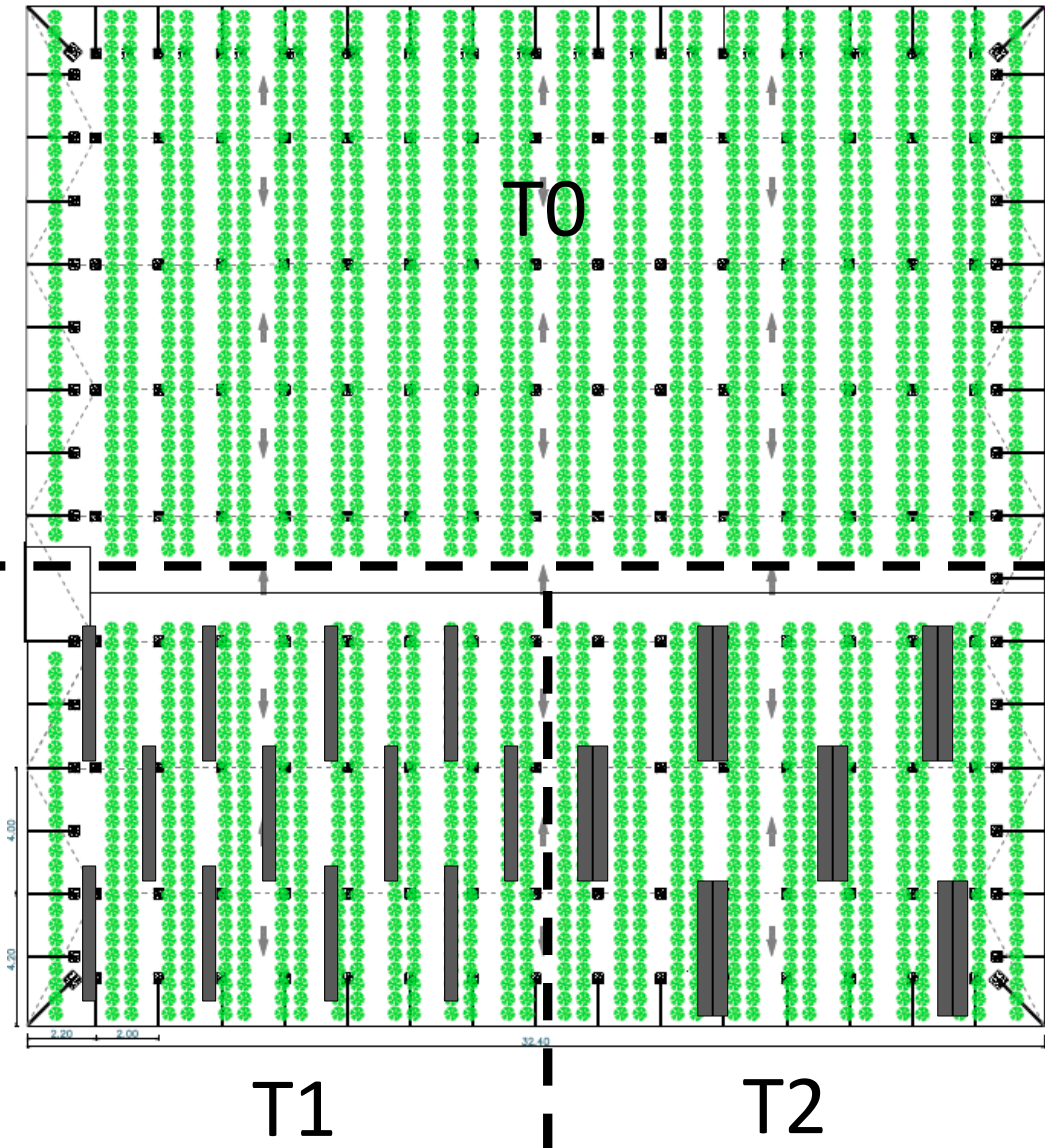


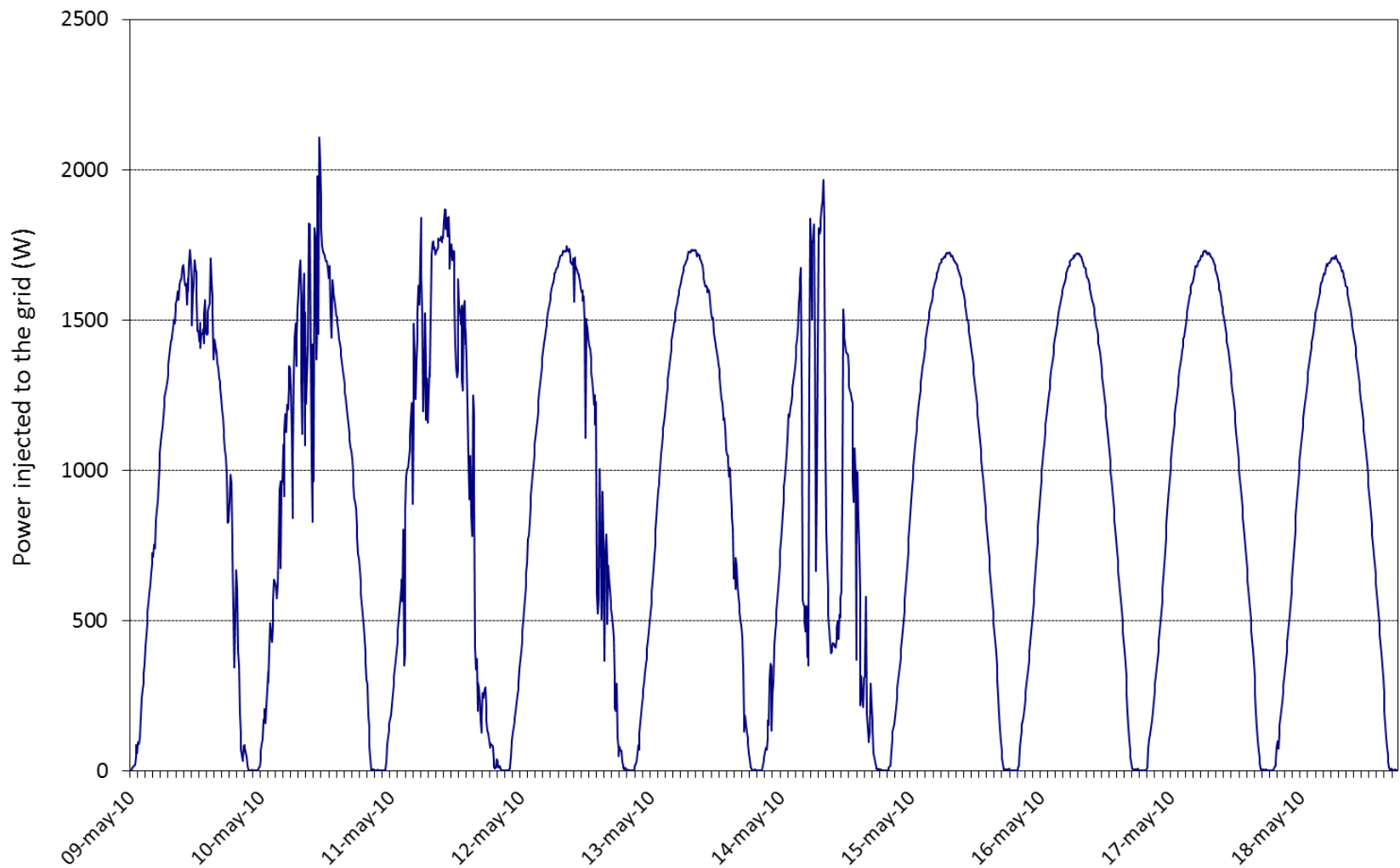


Algunas experiencias y números

Finca UAL-ANECOOP
(Pérez Alonso *et al.* 2013)
(Callejón *et al.*, 2012)

10 %





E: 8,25 kWh/m²

Tamaño fruto

Sonneveld et al. (2010)

E: 20 kWh/m²

Q: 576 MJ/m²

Sonneveld et al. (2011)

E: 29 kWh/m²

Q: 518 MJ/m²

Yano et al. (2011)

E: 8 kWh/m²

-25 % en peso fresco
(cebolleta)

Cossu et al. (2015)

E: 5,6 kWh/m²

Cossu et al. (2014)

E: 112 kWh/m²

-18 % en peso fresco
(plantas tomate)
no recuperable con
iluminación

<https://youtu.be/DgrC6f4jpfA>



Relevancia del dimensionado

$$E_L^d = PR P_{PV} H_{P(s)}$$

Ventilación

- 200 kWp (24000 Ah)

- 60 kWp

Riego

- 6 kWp (1000 Ah)

- 4 kWp (1,6 KWp)



Diseño optimizado (Reca *et. al*, 2015)



Image © 2016 DigitalGlobe

Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO

Google[™] earth

Invernaderos con energía solar, la última moda en China

Publicado por Ana Isan el 30 de noviembre de 2012

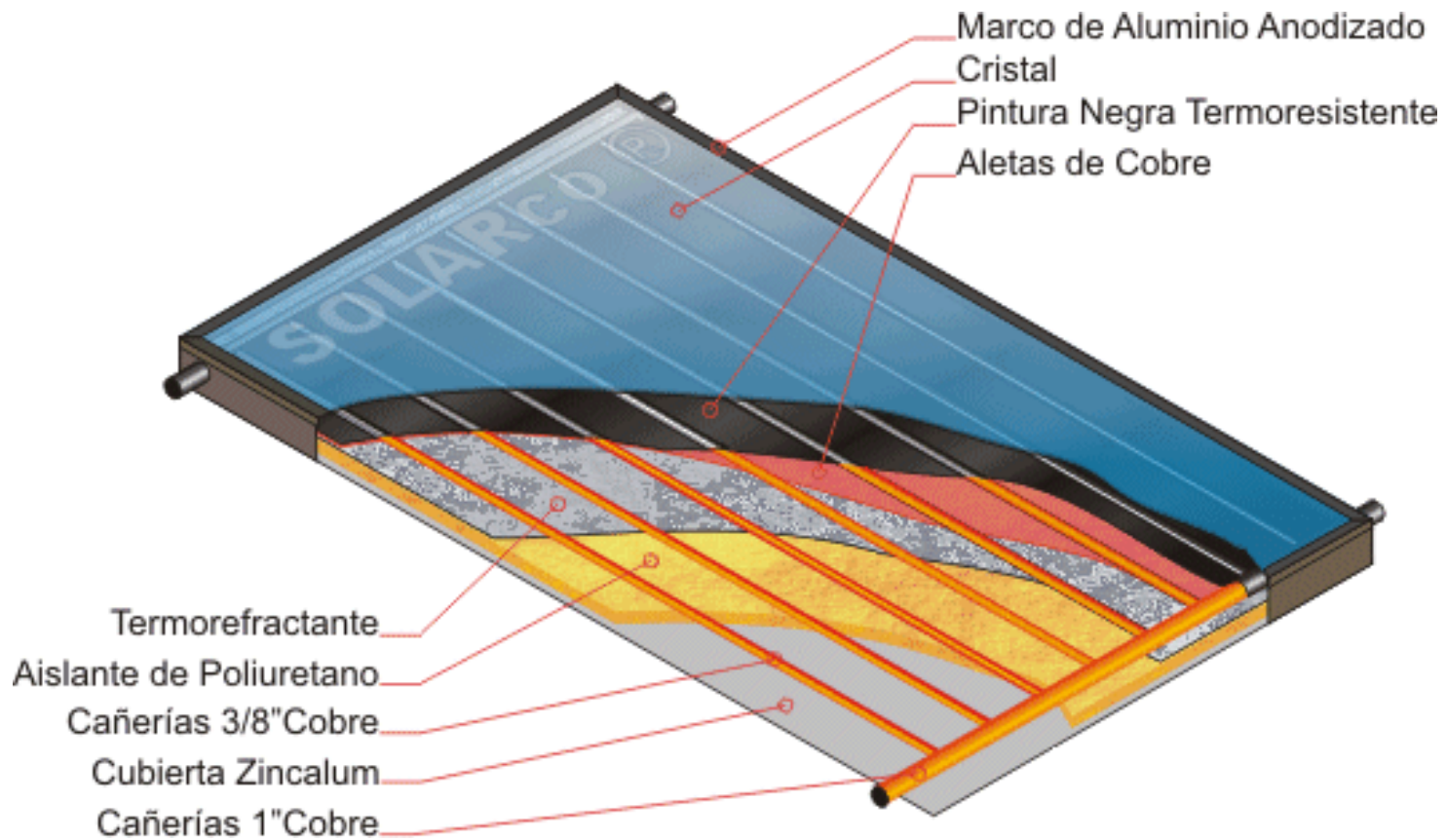


Colocar paneles de energía solar en el techo de los invernaderos es una interesante opción para la agricultura que hace furor en China. Se trata de un **nuevo modelo** de invernadero que utiliza como **techo** unas placas fotovoltaicas

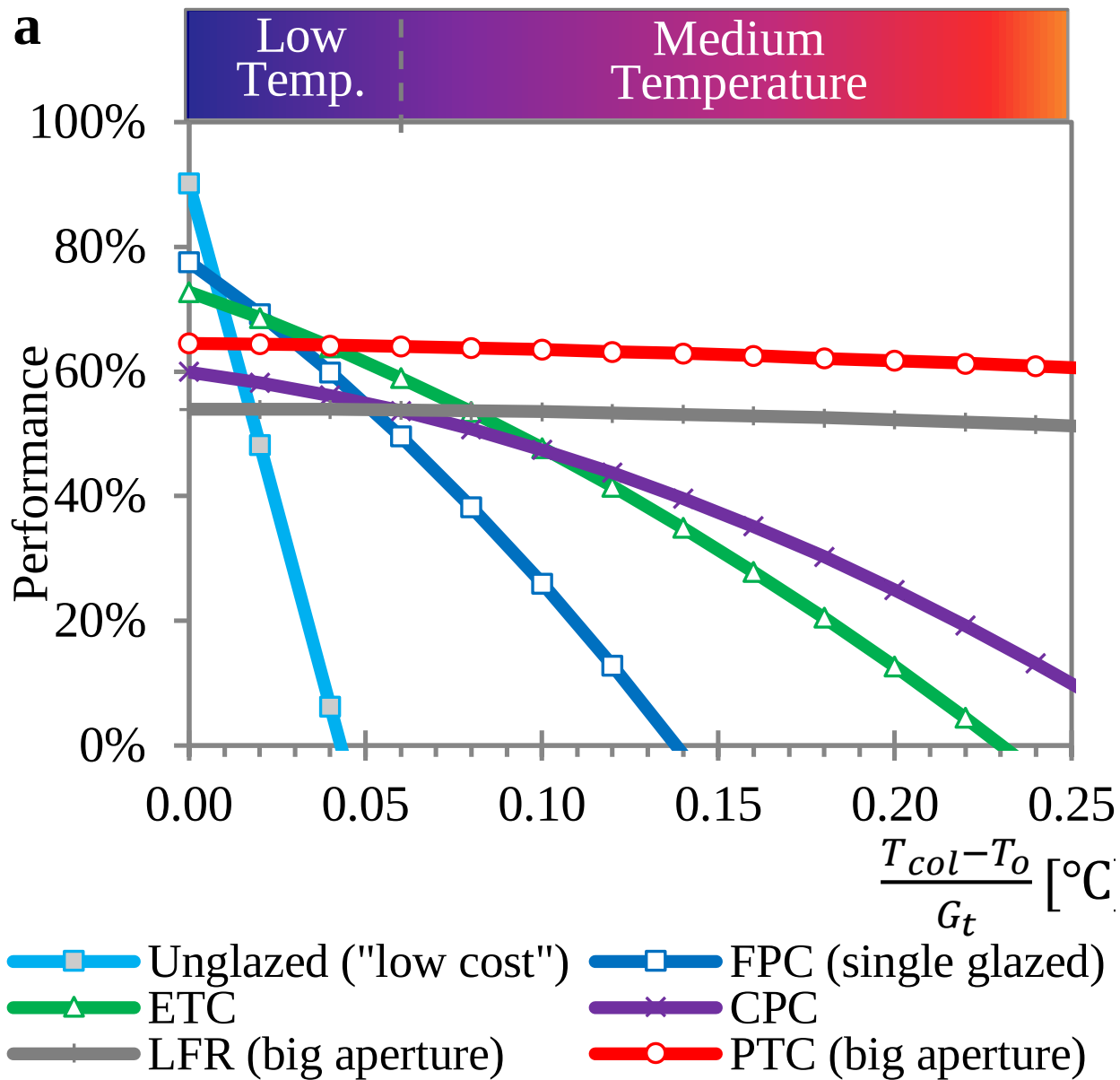
La idea está obteniendo una increíble acogida desde hace aproximadamente un año en Shandong, una provincia costera de la República Popular China, situada al este de las Montañas Taihang. Su popularidad, lógicamente se debe a la **rentabilidad** lograda a medio plazo gracias a la capacidad de esta tecnología de generar **electricidad** sin afectar el desarrollo de los cultivos.

Todo lo contrario, su colocación en la cubierta resulta **estratégica** en caso de que la energía solar pudiera resultar contraproducente para los **cultivos**, pues desvía la luz solar hacia las células fotovoltaicas, lográndose así un doble beneficio.

Solar térmica



$$\eta_{a|G_t} = \frac{Q_u}{G_t A_a} = F_R \bar{\tau} \bar{\alpha} \frac{K_{\theta b}(\theta) G_{b,t} + K_{\theta d} G_{d,t}}{G_t} - a_1 \frac{(T_{col} - T_o)}{G_t} - a_2 \frac{(T_{col} - T_o)^2}{G_t}$$



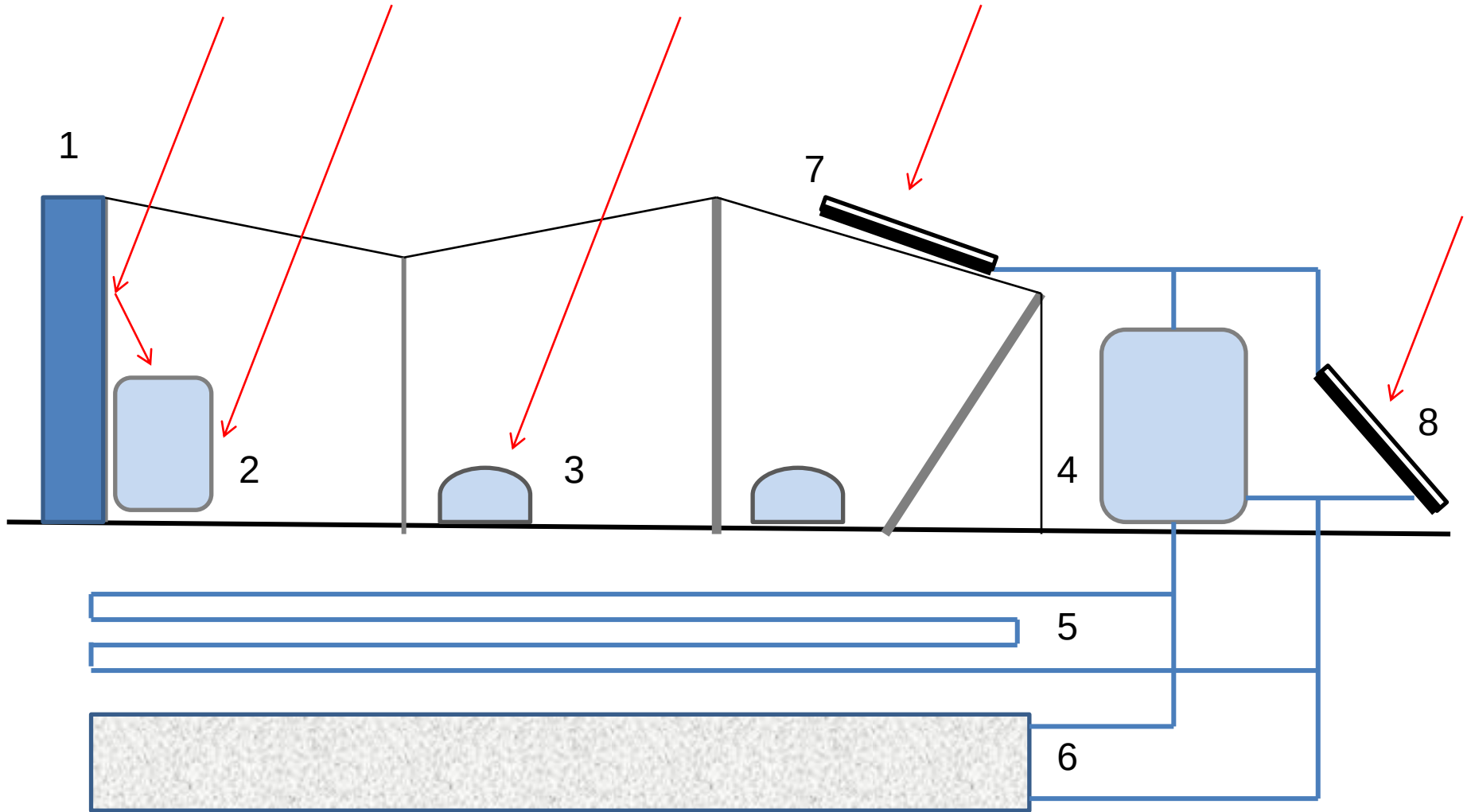
Las Palmerillas 80's



Qatar (hoy)



Calefacción Solar: Invernaderos



1: Acumulación en muro norte, 2: acumulación depósitos interiores (agua/PCM), 3: acumulación bolsas/tubos PE, 4: acumulación depósito convencional exterior, 5: acumulación en terreno por distribución con agua, 6: acumulación en lecho de roca, 7: captador solar integrado y 8: captador solar externo

<http://www.ginegar.com/>

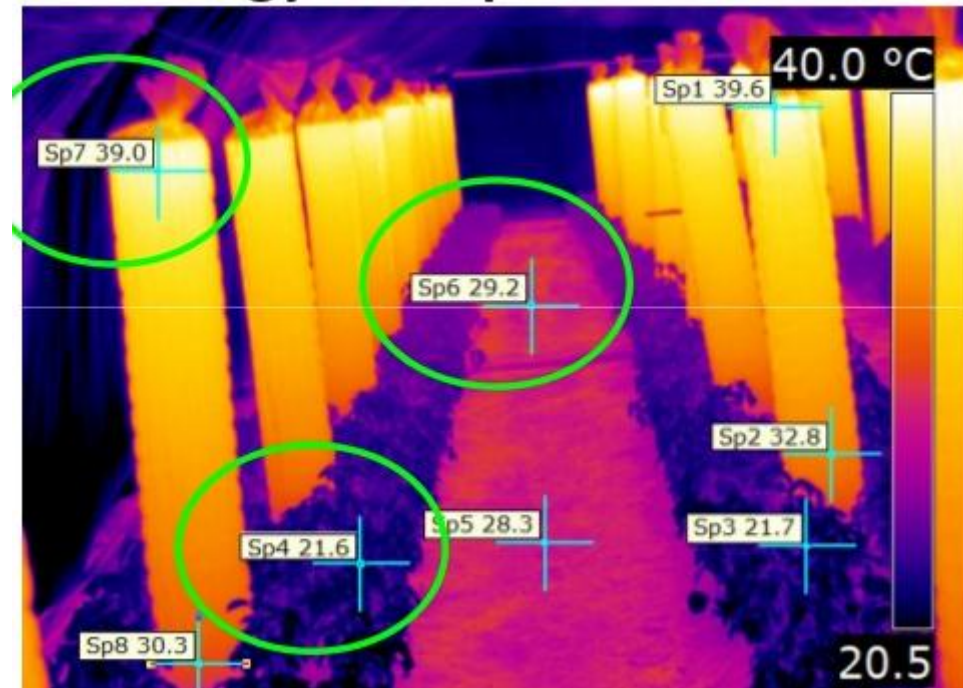


Fig. 11.—Colectores planos instalados en la Escuela de Capacitación Agraria de Torrepacheco (Murcia). Apréciase el sistema basculante para ajustar la inclinación de los colectores solares.



La acumulación de calor en depósitos de agua, con absorción de energía solar mediante colectores planos o bolsas de plástico o de caucho de butilo permite mantener durante la noche o en periodos nublados, la adecuada temperatura.

Esto es especialmente importante en invernaderos de plástico situados en regiones de inviernos suaves y que normalmente no están dotados de calefacción.

HOJAS DIVULGADORAS

Núm. 11-12/80 HD

LA ENERGIA SOLAR EN AGRICULTURA

FERNANDO BESNIER
Ingeniero Agrónomo



MINISTERIO DE AGRICULTURA

1980

2016

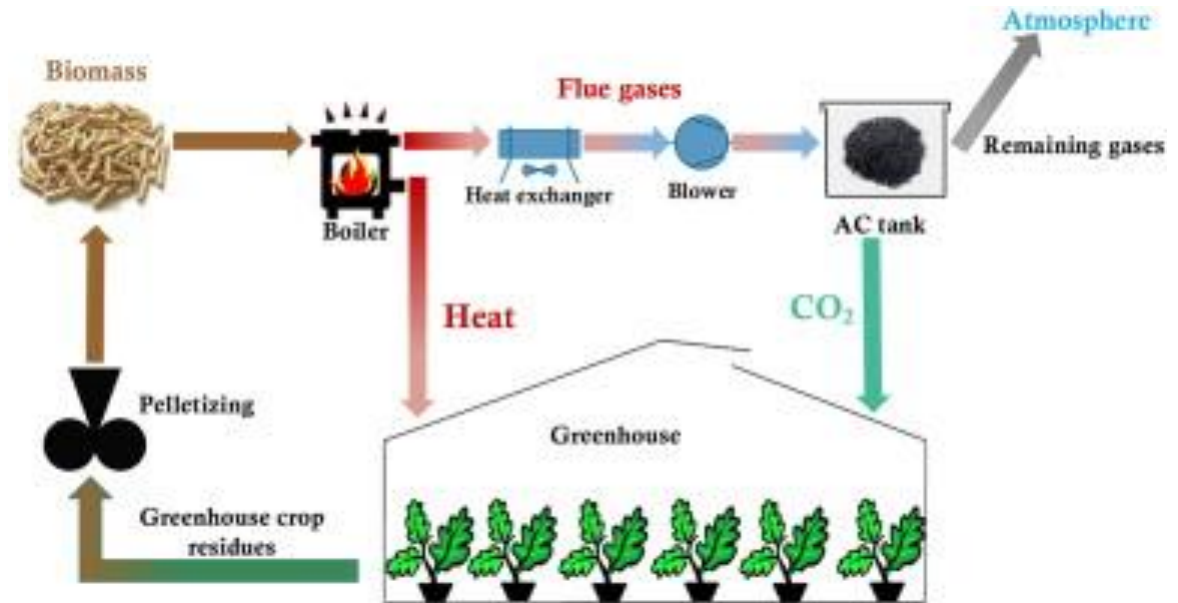
- **+ [30-50] %**
- **$Q \downarrow \downarrow$**
- **control**



Instalación solar térmica de captadores planos de gran formato en un invernadero experimental en el centro IFAPA de La Mojonera (Almería)

Biomasa

Las Palmerillas



Fuente:

J.A. Sánchez-Molina, J.V. Reinoso, F.G. Acién, F. Rodríguez, J.C. López, Development of a biomass-based system for nocturnal temperature and diurnal CO₂ concentration control in greenhouses, Biomass and Bioenergy, Volume 67, August 2014, Pages 60-71, ISSN 0961-9534, <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.04.015>.

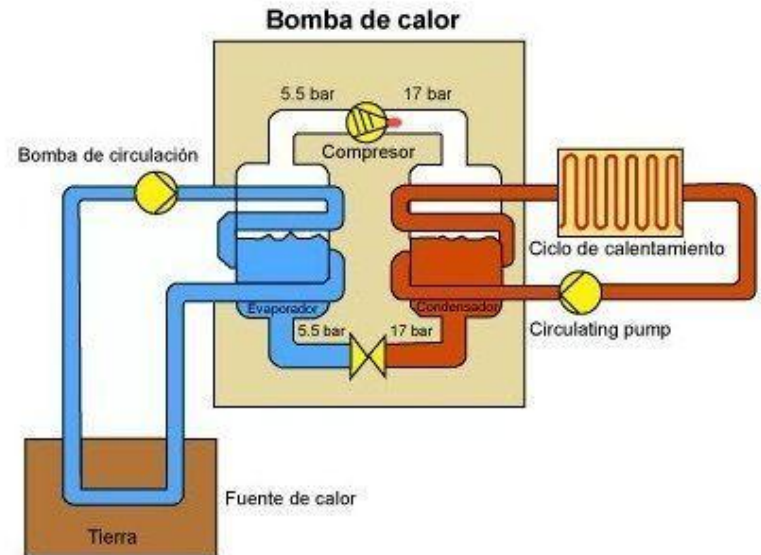
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953414002098>)

GEOTERMIA

Geotermia de alta entalpía



Geotermia somera



$$\varepsilon = \frac{T_1}{T_2 - T_1}$$

Conclusiones:

- Factibilidad contrastada.
- Necesidad de gestión integral, incluyendo todos los niveles (ambiental, económico, operativo)