

# **INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MORELIA**

**PROGRAMA DE GRADUADOS E INVESTIGACIÓN EN  
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**"AULA VERDE: DESARROLLO DE UN  
CENTRO DE PRUEBAS DE  
CONVERTIDORES E INVERSORES PARA  
UN SISTEMA FOTOVOLTAICO"**

**DR. DOMINGO TORRES LUCIO**

# INTRODUCCIÓN

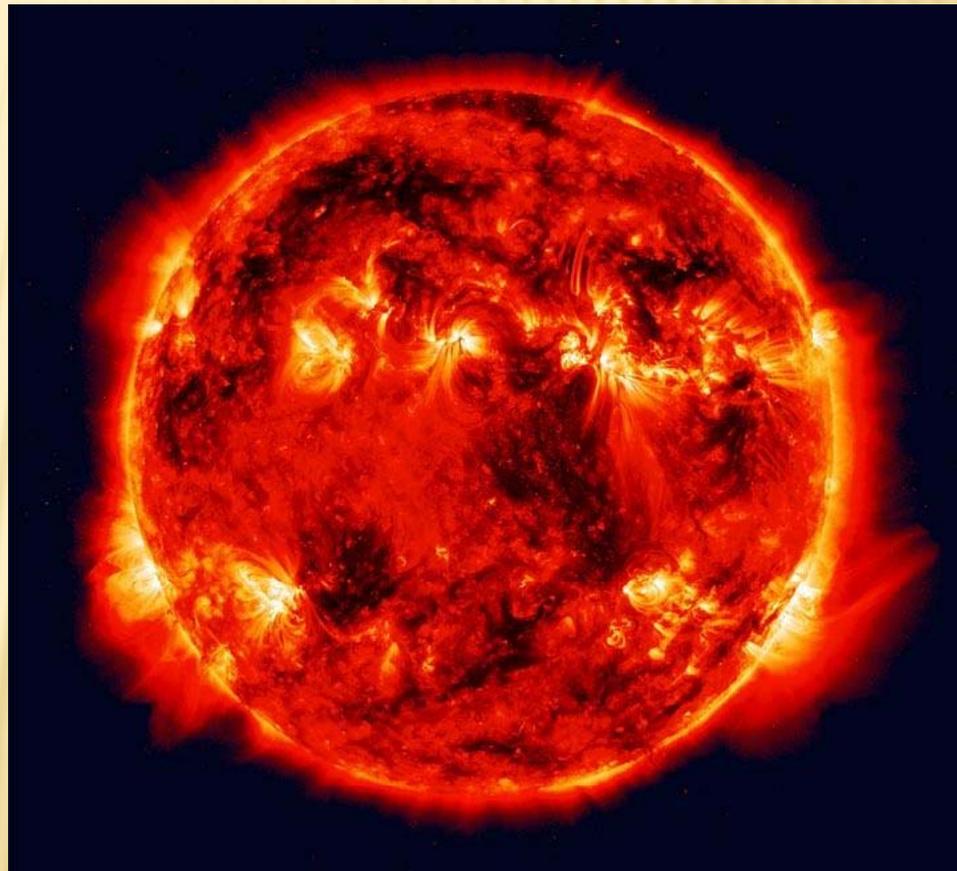
## RESERVAS DE COMBUSTIBLE

Combustible	Año de Agotamiento
Uranio	2040
Petróleo	2100
Gas	2150
Carbón	2200



# ENERGÍAS RENOVABLES

- × Solar
- × Eólica
- × Biomasa
- × Minihidráulica
- × Celdas de combustibles
- × Maremotriz



# VENTAJAS DE LA ENERGÍA RENOVABLE

- ✘ Reduce las emisiones de gases de efecto invernadero
- ✘ Reduce los impactos negativos en el ambiente y la salud a escala local
- ✘ Contribuye a la seguridad y soberanía energética

# VENTAJAS DE LA ENERGÍA RENOVABLE

---

- ✘ Contribuye al desarrollo industrial y a la creación de empleos
- ✘ Fortalece la competitividad regional
- ✘ Permite una mayor participación de los habitantes locales
- ✘ Puede contribuir a la electrificación rural

# ENERGÍAS RENOVABLES

- + Incluyen fuentes naturales que se renuevan constantemente.
- + La mayoría se deriva de los efectos del sol y la luna.
- + Son libres de contaminación ambiental.

# PROTECCIÓN DEL CLIMA

---

## **Efecto invernadero y cambio climático**

El efecto invernadero es el proceso por el cual la atmósfera atrapa parte de la energía solar, calentando la Tierra y moderando nuestro clima. Un aumento de los 'gases de efecto invernadero' provocado por el hombre está aumentando artificialmente este efecto, elevando las temperaturas globales y afectando al clima.

# LA REVOLUCIÓN ENERGÉTICA

---

Los expertos concuerdan en que este cambio tan fundamental deberá tener lugar en los próximos 10 años para prevenir los peores impactos, y permitir limitar el calentamiento global a menos de 2°Celsius, por encima del cual los impactos serán devastadores.

La generación actual de electricidad se basa principalmente en la combustión de combustibles fósiles, con las consiguientes emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas.

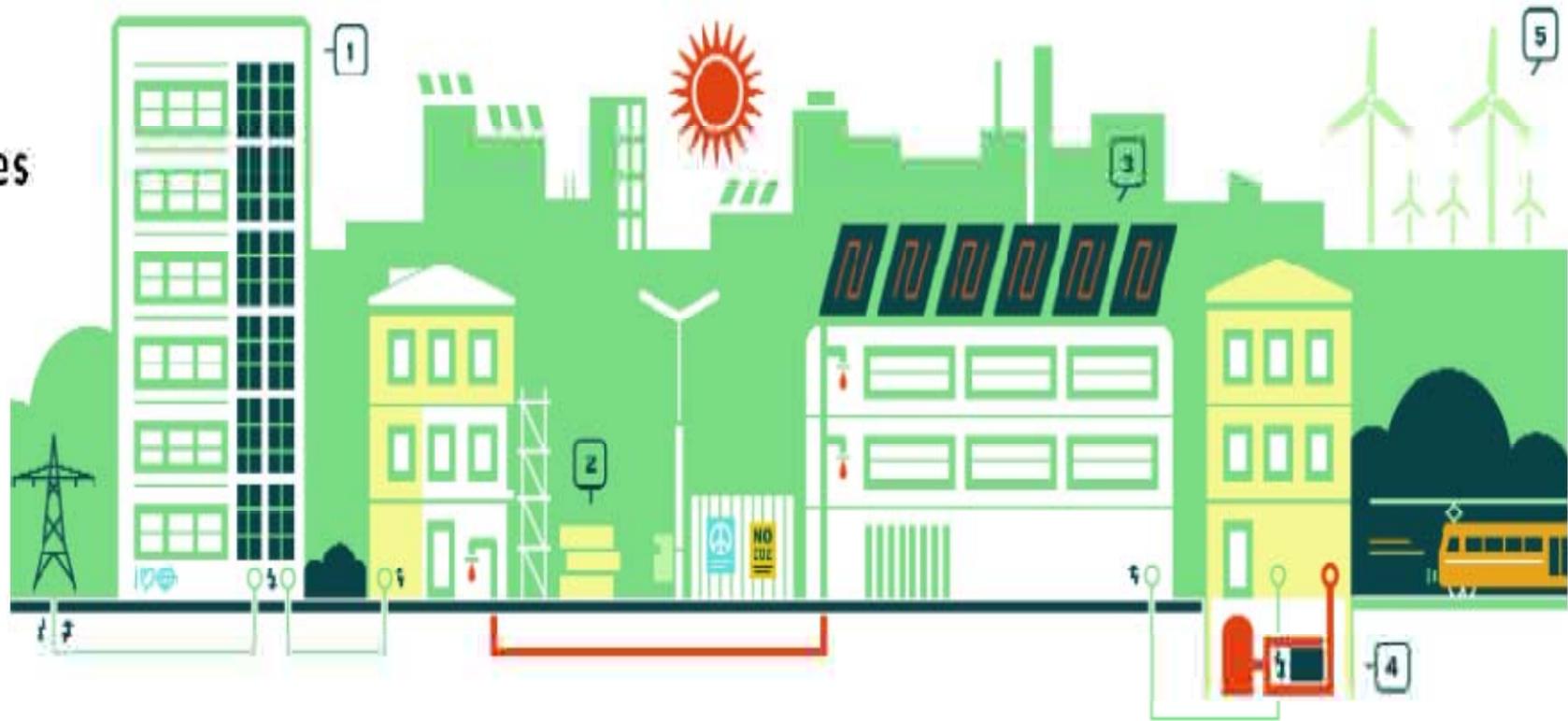
La clave de la Revolución Energética es la necesidad de cambiar la forma de producir y distribuir la energía, y puede lograrse si nos atenemos a cinco principios claves:

1. Poner en práctica soluciones limpias y renovables y descentralización de los sistemas energéticos.
2. Respetar los límites naturales
3. Abandonar la energía sucia e insostenible.
4. Equidad y justicia.
5. Desacoplar el crecimiento del uso de combustibles Fósiles

## **Principios del escenario en pocas palabras:**

- Consumo, generación y distribución inteligentes.
- Producción de energía más cerca del consumidor.
- Uso máximo de combustibles producidos localmente y sostenibles medioambientalmente.

## ciudades

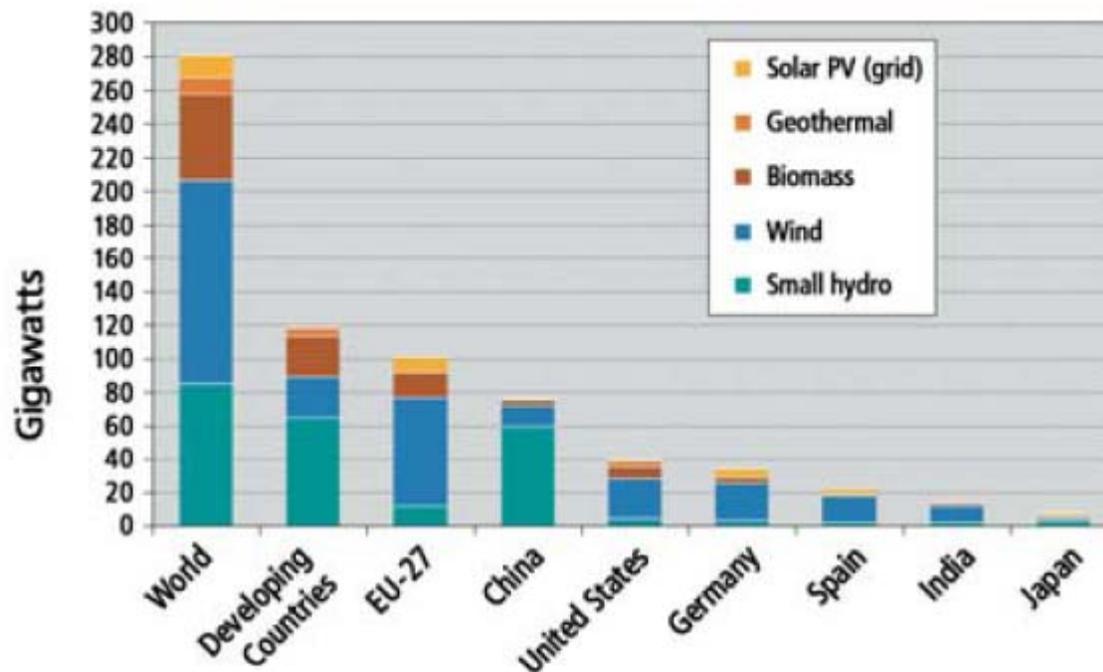


1. LAS FACHADAS DE PLACAS SOLARES FOTOVOLTAICAS SERÁN UN ELEMENTO DECORATIVO DE EDIFICIOS DE OFICINAS Y APARTAMENTOS. LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS SERÁN MÁS COMPETITIVOS Y LA MEJORA DE SU DISEÑO PERMITIRÁ A LOS ARQUITECTOS EXTENDER SU USO.
2. LA RENOVACIÓN DE VIEJOS EDIFICIOS PUEDE RECORTAR EL CONSUMO ENERGÉTICO HASTA UN 80% - CON UN MEJOR AISLAMIENTO TÉRMICO, VENTANAS AISLADAS Y SISTEMAS MODERNOS DE VENTILACIÓN.

3. LOS COLECTORES TERMOSOLARES PRODUCEN AGUA CALIENTE PARA SUS EDIFICIOS Y CONSTRUCCIONES VECINAS.
4. LAS ESTACIONES TÉRMICAS EFICIENTES (CHP) TENDRÁN DIFERENTES TAMAÑOS – ACOPLÁNDOSE A SÓTANOS EN VIVIENDAS INDEPENDIENTES O PROPORCIONANDO ENERGÍA Y CALOR A GRANDES COMPLEJOS DE EDIFICIOS O APARTAMENTOS SIN PÉRDIDAS DE TRANSMISIÓN.
5. LA ELECTRICIDAD LIMPIA PARA LAS CIUDADES PROVENDRÁ TAMBIÉN DE PUNTOS MÁS LEJANOS. LOS PARQUES EÓLICOS MARINOS Y LAS CENTRALES SOLARES UBICADAS EN DESIERTOS TIENEN UN ENORME POTENCIAL.

# CAPACIDAD INSTALADA DE ENERGÍA RENOVABLE

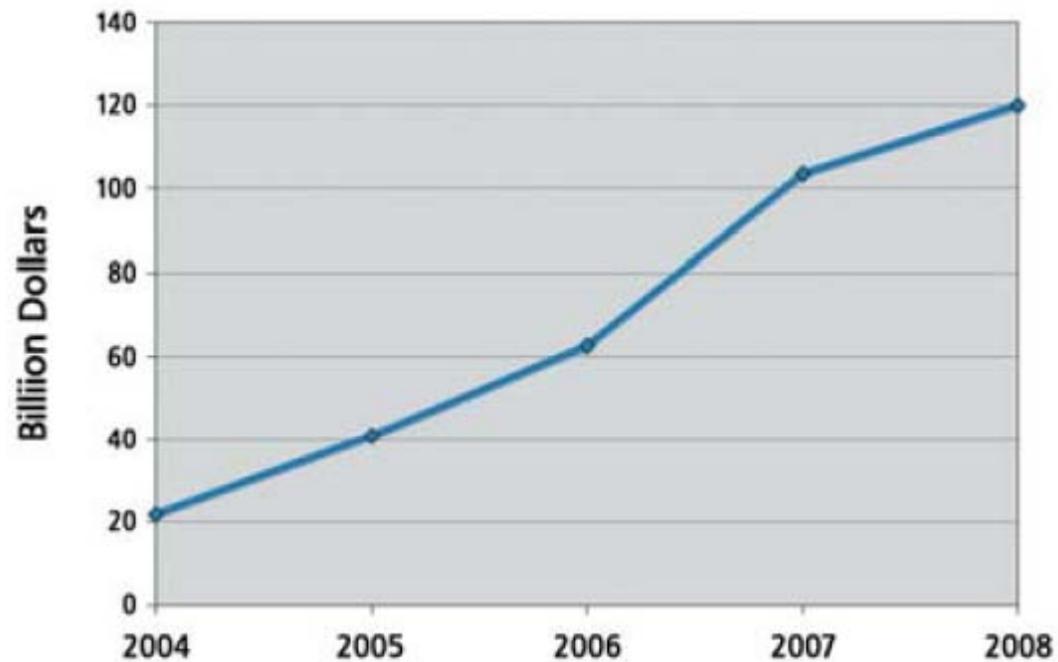
Figure 4.  
Renewable Power Capacities, Developing World,  
EU and Top Six Countries, 2008



Note: Excludes large hydropower

# INVERSIONES MUNDIALES EN ENERGIA RENOVABLE

Figure 8.  
Global Investment in Renewable Energy,  
2004–2008



# ENERGÍA RENOVABLE ADICIONADA EN 2008 Y CAPACIDADES EXISTENTES

**Table R1. Renewable Energy Added and Existing Capacities, 2008 (estimated)**

	Added during 2008	Existing at end of 2008
<b>Power generation (GW)</b>		
Large hydropower	25–30	860
Wind power	27	121
Small hydropower	6–8	85
Biomass power	2	52
Solar PV, grid-connected	5.4	13
Geothermal power	0.4	10
Concentrating solar thermal power (CSP)	0.06	0.5

# CAPACIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA DE ENERGÍAS RENOVABLES, HASTA 2008

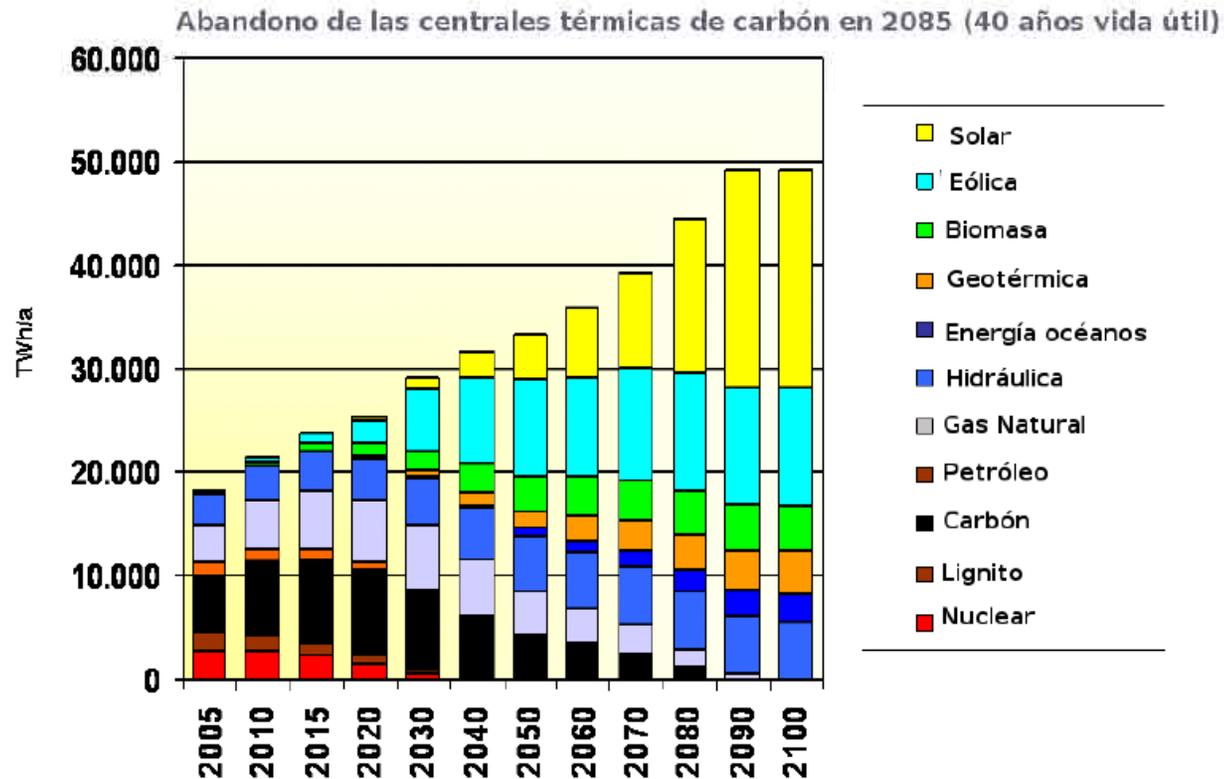
**Table R4. Renewable Electric Power Capacity, Existing as of 2008 (estimated)**

Technology	World Total	Developing Countries	EU-27	China	United States	Germany	Spain
<b>Gigawatts</b>							
Wind power	121	24	65	12.2	25.2	23.9	16.8
Small hydropower	85	65	12	60	3.0	1.7	1.8
Biomass power	52	25	15	3.6	8.0	3.0	0.4
Solar photovoltaic-grid	13	>0.1	9.5	>0.1	0.7	5.4	3.3
Geothermal power	10	4.8	0.8	~0	3.0	0	0
Solar thermal power-CSP	0.5	0	0.1	0	0.4	0	0.1
Ocean (tidal) power	0.3	0	0.3	0	0	0	0
Total renewable power capacity (excluding large hydro)	280	119	96	76	40	34	22
<b>For comparison:</b>							
Large hydropower	860						
Total electric power capacity	4,700						

# ESCENARIO GREEN PEACE

## GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD

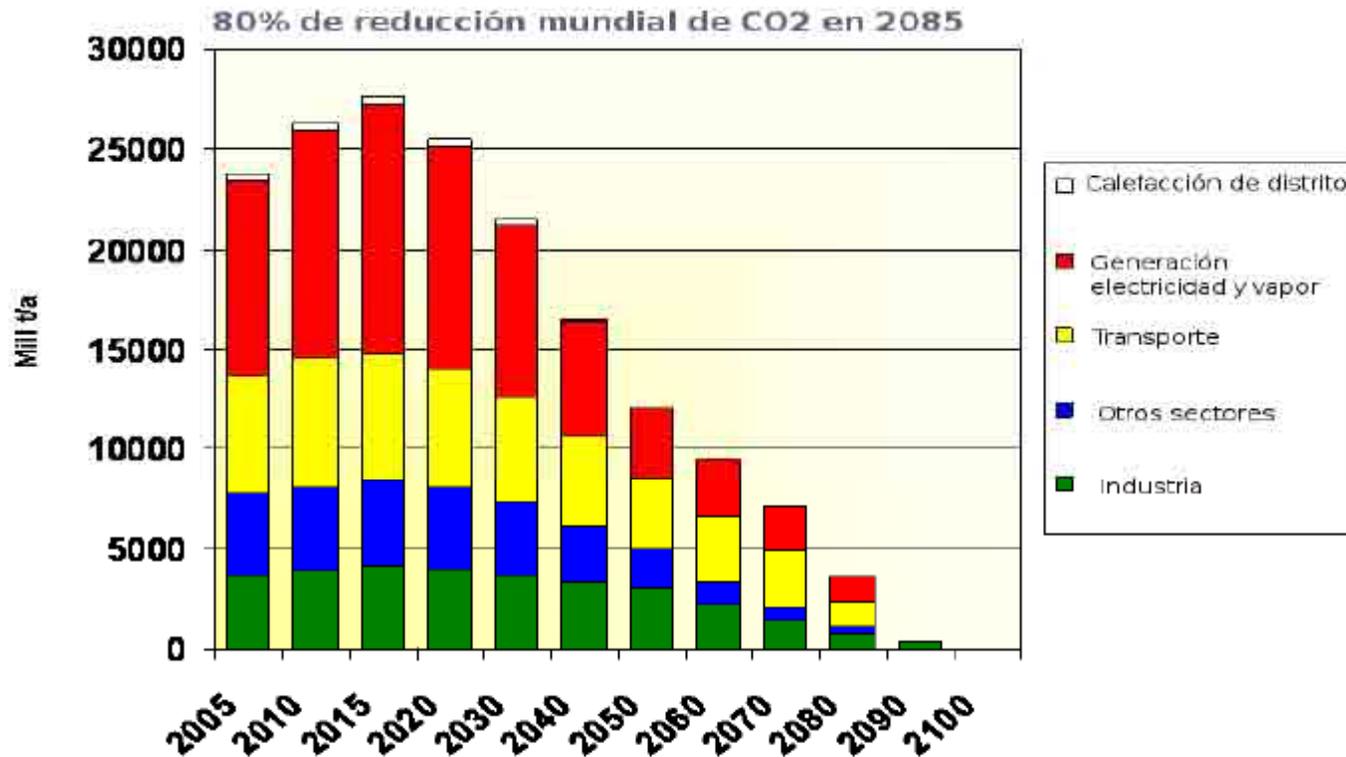
figura 04. mundial: generación de electricidad en el escenario de [R]evolución Energética hasta 2100



# ESCENARIO GREEN PEACE

## EMISIONES DE CO2

figura 06: mundial: emisiones de CO2 en el escenario de [R]evolución Energética hasta 2100



# POTENCIAL EN MÉXICO PARA LAS ENERGÍAS RENOVABLES

---

- ✘ La disponibilidad de fuentes renovables de energía en nuestro país le brinda un gran potencial para el desarrollo de proyectos de generación eléctrica o para otras aplicaciones, ya que México cuenta con:
  - + Altos niveles de insolación
  - + Alto potencial para plantas minihidráulicas
  - + Campos geotérmicos por desarrollar
  - + Zonas con alta intensidad de vientos
  - + Grandes volúmenes de esquilmos agrícolas
  - + Necesidad de disponer de los desperdicios orgánicos en las ciudades y en el campo de manera sustentable

# ENERGÍA SOLAR

---

- + CONCENTRACIÓN DE ENERGÍA SOLAR
  - + COLECTORES TERMOSOLARES
  - + **FOTOVOLTAICA**
- 
- + En todo el mundo se tiene radiación más que suficiente en todo el año para satisfacer la demanda de energía.

# TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA

---

- + Genera energía a partir de la luz solar.
- + El semiconductor más utilizado es silicio.
- + Las celdas tienen al menos dos capas de silicio, una con cargas positivas y una con cargas negativas, de tal forma que al incidir luz, se genera un campo magnético en la unión y por lo tanto un flujo de electricidad.
- + Se puede generar energía aun en días nublados



# PANELES SOLARES

- ✓ Se espera que la eficiencia de las células cristalinas comerciales mejore logrando entre un 15% y un 20% durante los próximos años.
- ✓ Durante los últimos 30 años el índice de aprendizaje a sido alrededor de 0,8.



# TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

- **Conectados a la red**

- Es el más popular para hogares y oficinas.
- Permite vender la energía sobrante a las compañías de electricidad.
- Se hace el uso de inversores para conectar los aparatos convencionales de un hogar.

- **Soporte a la red**

- Se puede conectar a la red eléctrica y funcionar como batería de refuerzo.
- Es ideal para lugares donde no se garantiza un suministro eléctrico fiable.

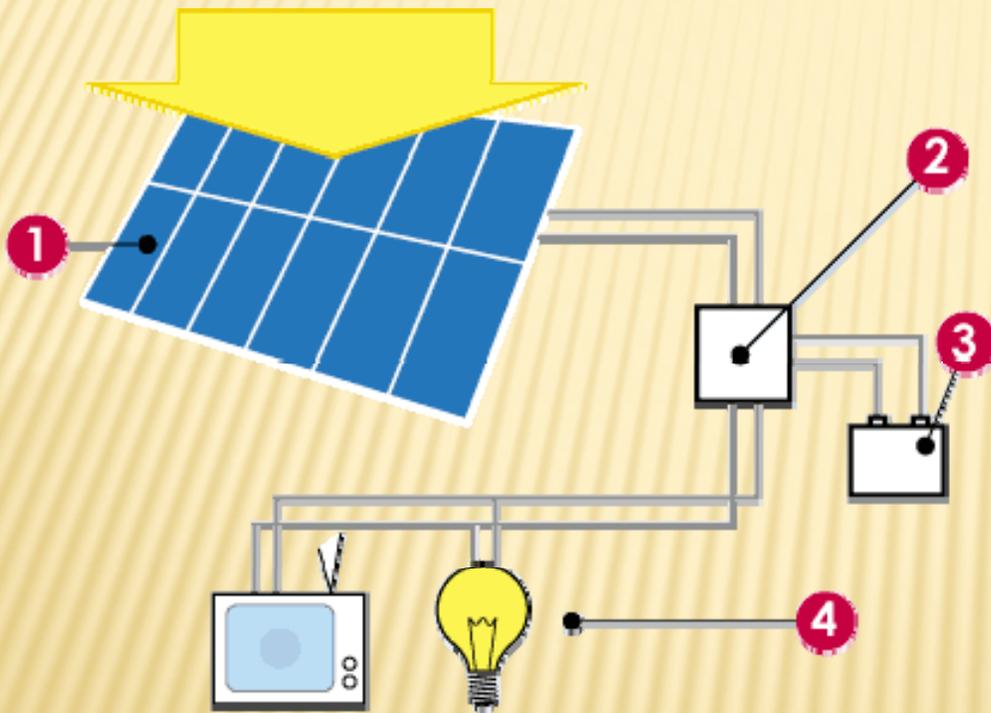
- **Aislado a la red**

- Totalmente independiente a la red eléctrica.
- El sistema se conecta a una batería mediante un regulador de carga, que almacena la electricidad generada y actúa como la principal fuente de suministro eléctrico.
- Se utilizan inversores para conectar electrodomésticos.
- Aplicaciones en estaciones repetidoras para teléfonos móviles o la **electrificación en zonas rurales**.

- **Sistemas híbridos**

- Se combina un sistema solar con otra fuente de energía, como un generador de biomasa, una turbina eólica o un generador de diesel.
- Un sistema híbrido puede conectarse a la red, funcionar con autonomía o con soporte de la red eléctrica.

## Sistema fotovoltaico aislado



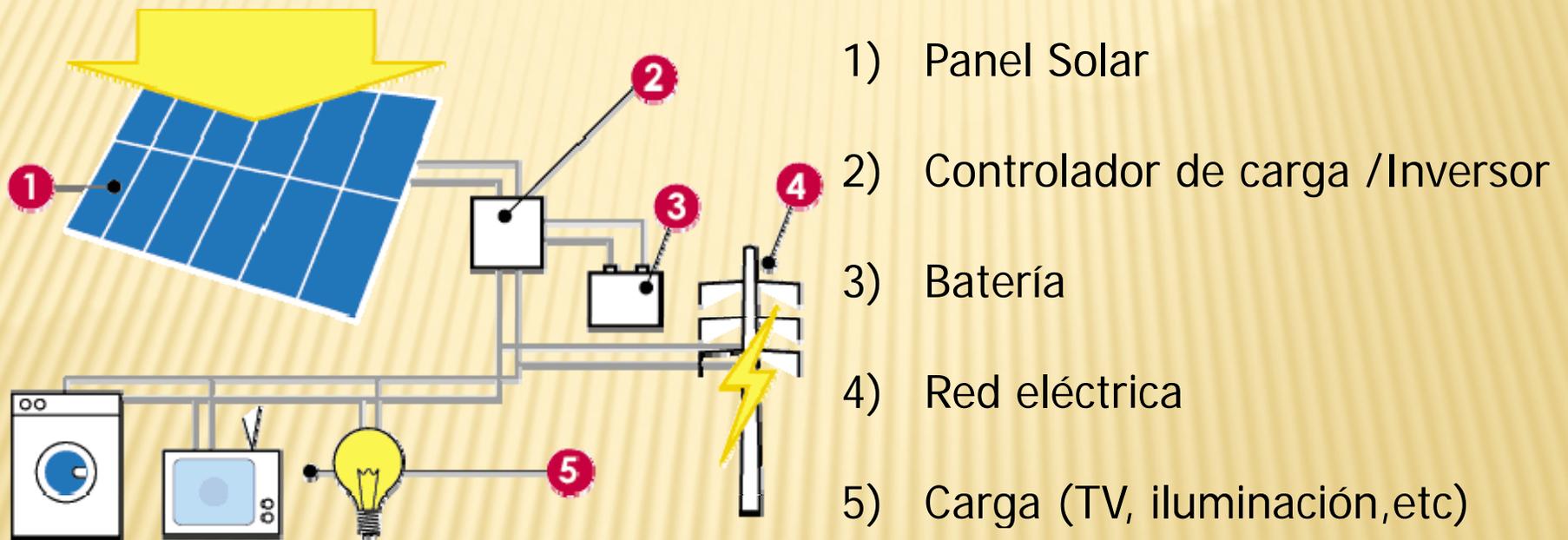
1) Panel Solar

2) Controlador de Carga

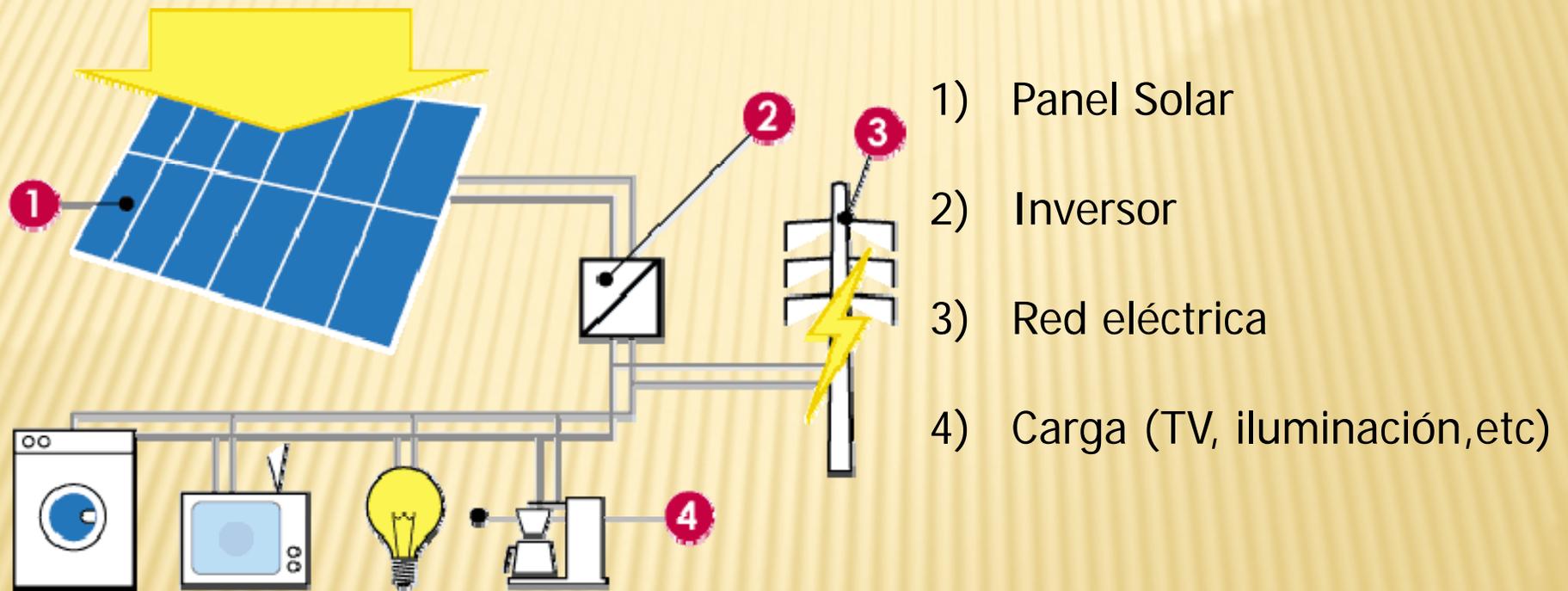
3) Batería

4) Carga (TV, iluminación, etc)

## Sistema fotovoltaico acoplado a la red eléctrica con respaldo de energía



## Sistema fotovoltaico acoplado a la red eléctrica sin respaldo de energía



## Sistema fotovoltaico y diseño arquitectónico

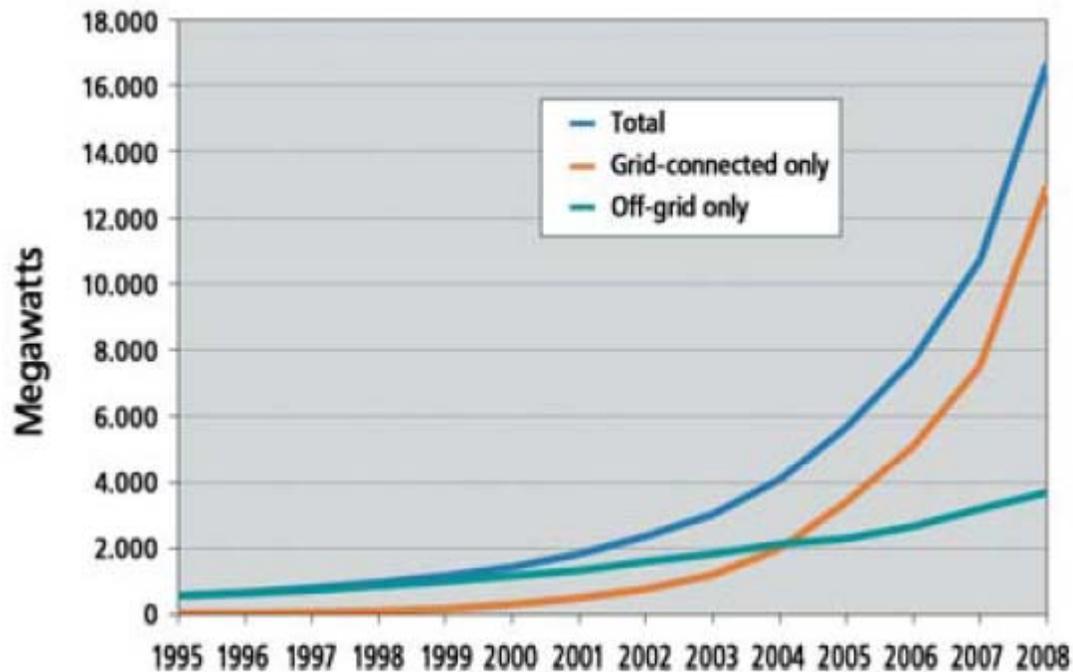


## Vehículos de energía solar



# CAPACIDAD MUNDIAL INSTALADA SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS

Figure 3.  
Solar PV, Existing World Capacity, 1995–2008



# SFV INTERCONECTADOS, 2004-2008

**Table R3. Grid-Connected Solar PV, 2004–2008 (megawatts)**

Country	Added 2004	Added 2005	Added 2006	Added 2007	Added 2008	Existing 2005	Existing 2006	Existing 2007	Existing 2008
Germany	600	860	900	1100	1500	1,900	2,800	3,900	5,400
Spain	12	23	100	550	2600	50	150	700	3,300
Japan	270	310	290	240	240	1,200	1,490	1,730	1,970
California	47	55	70	95	150	220	320	480	730
Other USA	10	10	30	65	100				
Other EU	10	40	50	170	400	130	180	350	750
South Korea	3	5	20	60	250	15	35	100	350
Other World	–	>20	>50	>150	>200	>30	>80	>250	>450
Total Added	900	1,300	1,500	2,400	5,400				
Cumulative						3,500	5,100	7,500	12,950



## SFV EN MEXICO

- ✘ Existen 80,000 poblaciones en el país sin acceso a energía eléctrica.
- ✘ Gran parte de estas poblaciones se encuentran en zonas con gran potencial de desarrollo.
- ✘ Energías Renovables. (FV y Eólica).
- ✘ Desventajas (costo, confiabilidad, mala reputación).
- ✘ Ventajas (modulares, no contaminan, el recurso renovable es inagotable).

# PROYECTO AULA VERDE (PAV)

- × Objetivo: Desarrollar un laboratorio para pruebas de prototipos de electrónica de potencia aplicados a los SFV en el Programa de Graduados e Investigación en Ingeniería Eléctrica (PGIIE) del Instituto Tecnológico de Morelia (ITM)
  
- × Sistema de generación Fotovoltaico
  - + Implementación de un sistema multimedia.
  - + Implementación de sistema de iluminación.
    - × Correcto dimensionamiento.
  - + Diseños de Prototipos periféricos
  - + Pruebas de los mismos.

# Aula verde

---

- ✘ El diseño del PAV (proyecto aula verde) lo compone una combinación de un laboratorio funcional con mesas de trabajo y un aula multimedia para impartición de clases y desarrollo de prácticas.
  - + Un campo solar: 4 paneles solares de 120W @ 12VCD cada uno, (480W).
  - + Un banco de baterías: 7 baterías de ciclo profundo y 110Ahr @ 12VCD, cada una.
  - + Un sistema de iluminación: 7 lámparas fluorescentes de 32W alimentadas por 7 balastos que operan a 12VCD.
  - + Tres salidas de CD ubicadas en las mesas de trabajo para el desarrollo de prácticas.
  - + Un cañón proyector y una PC personal, ambos de bajo consumo de energía.

# Aula verde: diseño

- ✘ El diseño se dividió en dos secciones:
  - + Estudio de iluminación.
    - ✘ Distribución de lámparas.
    - ✘ Medición puntual de iluminancia ( $>200$  luxes).
  - + Dimensionamiento de cableado para cada uno de los circuitos.
    - ✘ Caídas de tensión ( $< 3\%$ ):
      - ✘ Distancia del circuito.
      - ✘ Calibre del conductor.
      - ✘ Protecciones.

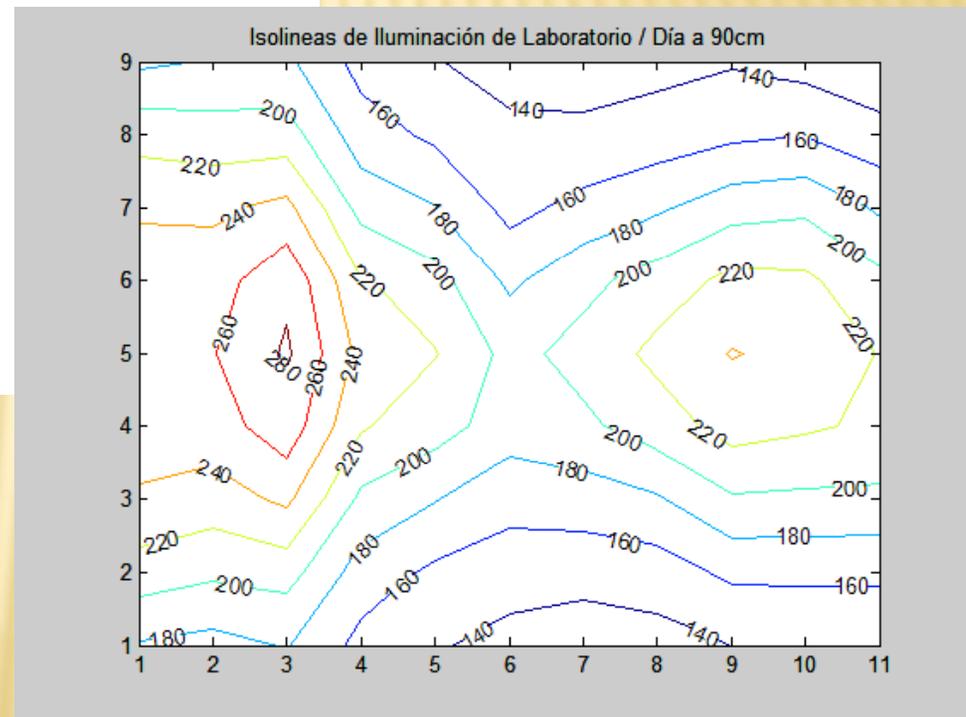


# Aula verde: Estudio de iluminación

```
%matrices de medicion de iluminacion de noche; A (en piso) y B (a 85cm)
%matrices de medicion de iluminacion de dia; C (en piso) y D (a 85cm)
%fecha de medicion 24 de noviembre de 2008
```

```
A=[ 126 129 134 131 121 110 107 105 102 101 91;
    150 151 155 146 133 123 119 117 113 109 107;
    165 167 174 163 152 142 136 136 132 129 126;
    175 177 184 174 160 149 145 144 141 136 132;
    180 186 193 181 171 161 156 153 148 143 138;
    171 175 183 173 160 150 146 144 141 136 132;
    162 167 171 160 153 143 138 133 131 128 125;
    152 155 158 148 135 126 121 119 117 114 110;
    131 129 137 132 123 113 108 106 102 99 97];
```

- ✘ Definir zonas que requieran mayor iluminación.



# Aula verde: Dimensionamiento del cableado

✘ Basado en la norma NEC (National Electrical Code) para SFV.

	Circuitos	Carga Instalada
Lámparas	3	C-A (32 * 2) → 64W
		C-B (32 * 2) → 64W
		C-C (32 * 3) → 98W
Contactos	2	C-1 (40 * 1) → 40W
		C-2 (40 * 2) → 80W
Cañón	1	200W

WATTS					
TOTALES	I (AMP)	DIST. (M)	CAL. (AWG)	Rcd	e%
64.00	5.33	7	8	2.22	1.38
64.00	5.33	8	10	3.54	2.52
96.00	8.00	10	8	2.22	2.96
80.00	6.67	10	8	2.22	2.47
40.00	3.33	5	10	3.54	0.98
200.00	16.67	7		1.40	2.72
			8	2.22	
			12	5.64	
544.00	45.33	2	1/0	0.35	0.53

- Adecuado calibre del conductor.
- Caída de tensión <3%.

# Aula verde: Protecciones (NEC )

- ✘ El campo solar es protegido por un fusible limitador de corriente (FLC) del 125% de la corriente de corto circuito del campo.
- ✘ El regulador y controlador de carga debe llevar un FLC al menos de la misma capacidad del campo solar en la entrada y salida del convertidor.
- La línea que proveniente del banco de baterías hacia el centro de carga principal deberá ser protegido por un corta-circuito de 125% de la corriente de corto circuito máxima de la carga.
- Cada uno de los circuito derivados del centro de carga deberá incluir un FLC del 125% de la corriente de corto circuito de cada uno de los circuitos.



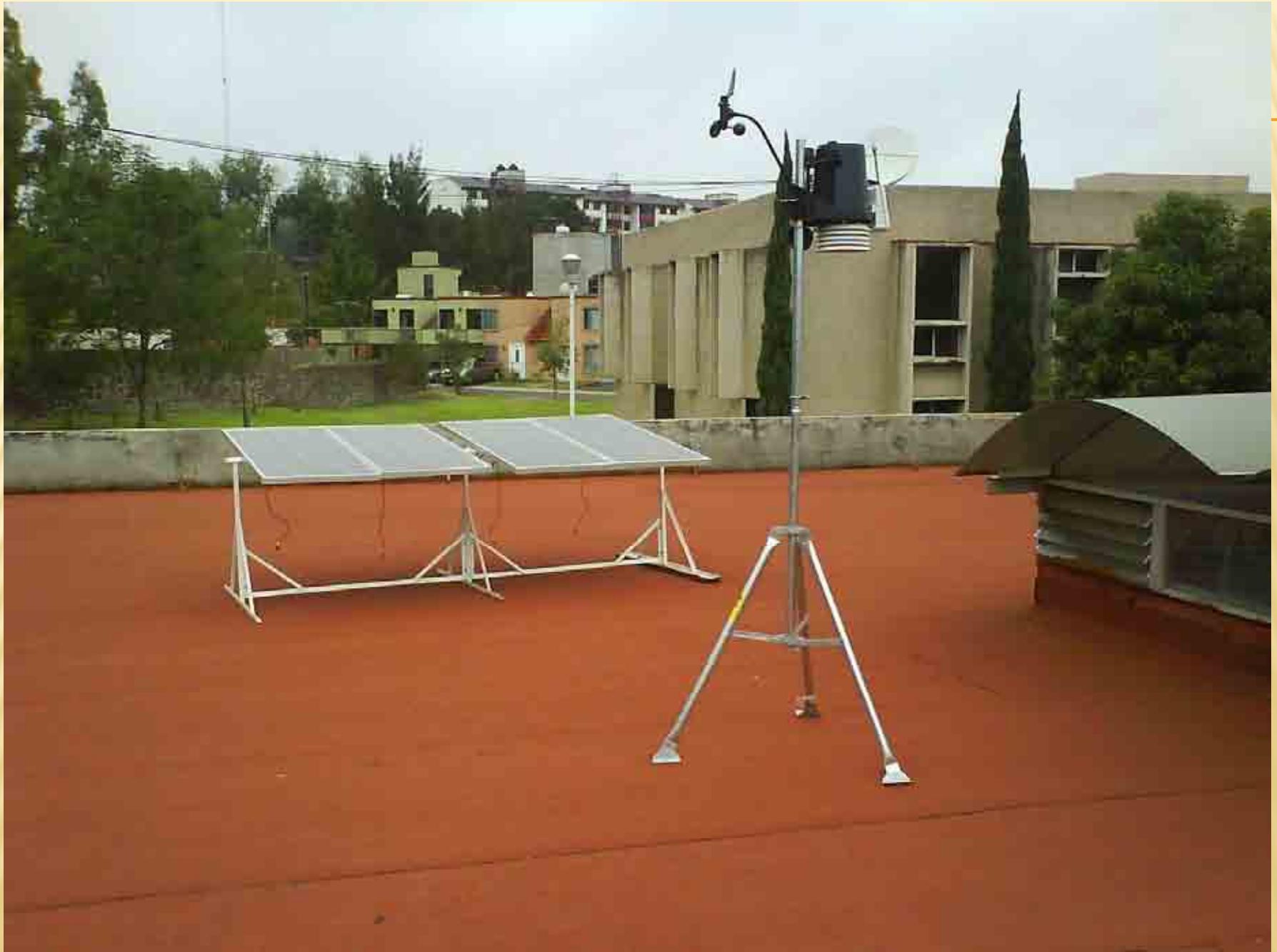
# Consideraciones adicionales

- ✘ Los paneles solares fueron instalados en una base diseñada para poder ubicarse en cualquier superficie y con una graduación de  $19^\circ$ ,  $10^\circ$  y  $29^\circ$  (en función a temporadas verano/invierno).
- ✘ Reducir la distancia de conexión entre el campo solar y el banco de baterías.
- ✘ Fácil Acceso al banco de baterías (mantenimiento).

# Componentes del SFV







# AULA VERDE

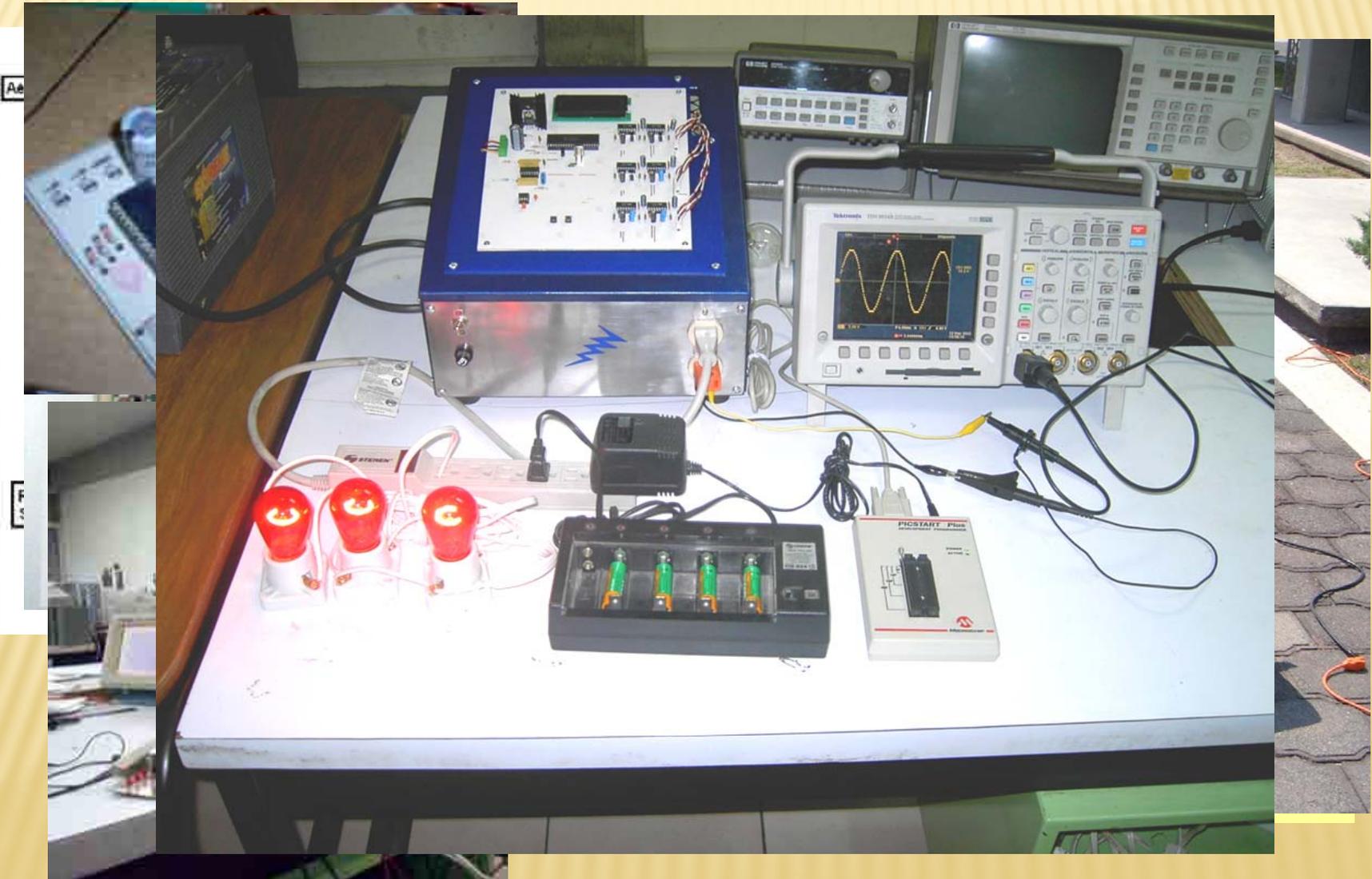
*Aula Verde*



# PROTOTIPOS

- Convertidor electrónico de interconexión y regulación de tensión para un sistema híbrido de generación de energía eléctrica de uso residencial para zonas aisladas del sistema eléctrico.
- Inversor de salida sinusoidal para aplicaciones Fotovoltaicas

# *Desarrollo de Prototipos de 1ra. Generación*



# *Aula Verde, FIME-UdeC*

## Sistema de Iluminación en Operación Aula Verde



# Nuevos Prototipos de 2da. Generación

The image displays the Xilinx ISE software interface. The main window title is "Xilinx - ISE - C:\Xilinx92i\CPLDpro\c\_or\c\_or\_ise - [or2\_b1.vhd]". The menu bar includes File, Edit, View, Project, Source, Process, Window, and Help. The toolbar contains various icons for file operations and simulation. On the left, a component list shows:

- x[3:0] (4 instances)
- x[3]
- x[2]
- x[1]
- x[0]
- sel[1:0] (2 instances)
- sel[1]
- sel[0]
- z

The central part of the image is a photograph of a hardware prototype board. The board is labeled "REGULADOR DE CARGA V1.0" and features a 3.3V voltage regulator, four solar panels, a microcontroller, and various electronic components. A large toroidal inductor is visible in the lower center.

On the right, a logic analyzer waveform is shown, with a time scale of 4000. The waveform displays several digital signals, including a high-frequency clock signal and several lower-frequency signals with varying duty cycles.

At the bottom, the "Processes" window is visible, showing the file "or2\_b1.vhd" and line numbers 42 and 43.

# Implementación



# Conclusiones

- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 



Control  
les  
s de  
pajo  
TM.

SFV en Granja Apícola, Tzintzuntzan, Mich..



## PUBLICACIONES CONGRESOS INTERNACIONALES CON ARBITRAJE

**Domingo Torres Lucio**, Erik Eduardo Vázquez Fernández, Ramón Antonio Félix Cuadras, Manuel Madrigal Martínez, Ayac Ayala Estrada, Juan Gabriel Marroquín Pimentel, Bernabé López Araujo, “Aula Verde: Photovoltaic Electric Power Generation System for School Buildings”, Proceedings of the 1st International Conference on Sustainable Cities, 26-29 october 2009, Morelia, Michoacán, México.

Erik Eduardo Vázquez Fernández, **Domingo Torres Lucio**, Ramón Antonio Félix Cuadras, Manuel Madrigal Martínez, Ayac Ayala Estrada, Juan Gabriel Marroquín Pimentel, Bernabé López Araujo, “Photovoltaic Power Generation System Design for a Beekeeping Farm in Rural Areas”, Proceedings of the 1st International Conference on Sustainable Cities, 26-29 october 2009, Morelia, Michoacán, México.

A. Ayala Estrada, **D. Torres Lucio**, R. A. Félix Cuadras, E.E. Vázquez Fernández, J.G. Marroquín Pimentel, “Diseño del prototipo, regulador y generador de ciclo de carga para un banco de baterías de un sistema de generación fotovoltaico aislado”. Memorias del VII Congreso Internacional sobre Innovación y Desarrollo Tecnológico 2009 (CIINDET 2009), 7-9 octubre de 2009, Cuernavaca, Morelos, México.

J. G. Marroquín Pimentel, **D. Torres Lucio**, A. Ayala Estrada, E. E. Vázquez Fernández, “Implementación de un inversor de salida sinusoidal para aplicaciones fotovoltaicas”. Memorias del VII Congreso Internacional sobre Innovación y Desarrollo Tecnológico 2009 (CIINDET 2009), 7-9 octubre de 2009, Cuernavaca, Morelos, México.

E. E. Vázquez Fernández, **D. Torres Lucio**, R. A. Félix Cuadras, M. Madrigal Martínez, A. Ayala Estrada, J. G. Marroquín Pimentel, “Diseño de un Centro de Pruebas de Prototipos de Convertidores e Inversores para un Sistema Fotovoltaico”. Memorias del VII Congreso Internacional sobre Innovación y Desarrollo Tecnológico 2009 (CIINDET 2009), 7-9 octubre de 2009, Cuernavaca, Morelos, México.

Vázquez F. E. E., **Torres L. D.**, Félix C. R. A., Madrigal M. M., Ayala E. A., Marroquín P. J. G. “Proposal for a photovoltaic system for testing of prototype DC-DC converters and investors”, Proceedings of the Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference 2009 (CERMA 2009), 22 – 25 September 2009, Cuernavaca, Morelos, México.

## PUBLICACIONES CONGRESOS INTERNACIONALES CON ARBITRAJE

Félix Cuadras R. A., Bernardo Rincón-Márquez, Vázquez Fernández E.E., **Torres Lucio Domingo**, Ayala Estrada A., “Implementación Digital de un Control Integral Discontinuo para un Convertidor Buck”, Memorias del 6to Congreso Internacional de Investigación en Ingeniería Eléctrica y Electrónica (CIIIEE), ISBN: 978-607-95060-1-8, Aguascalientes Ags. del 3-7 de Noviembre de 2008.

Vázquez Fernández E.E., **Torres Lucio Domingo**, Madrigal Martinez M., Félix Cuadras R. A., Marroquín Pimentel J. G., Ayala Estrada A., “Proyecto de Investigación y Desarrollo de un Sistema Híbrido de Generación”, Memorias del 6to Congreso Internacional de Investigación en Ingeniería Eléctrica y Electrónica (CIIIEE), ISBN: 978-607-95060-1-8, Aguascalientes Ags. del 3-7 de Noviembre de 2008.

Ayac Ayala E., Juan G. Marroquín P., Erik E. Vázquez F., **Domingo Torres L.**, Ramón. A. Félix, “Diseño de un Regulador de Voltaje para un Sistema de Generación Fotovoltaico”, Memorias del 6to Congreso Internacional de Investigación en Ingeniería Eléctrica y Electrónica (CIIIEE), ISBN: 978-607-95060-1-8, Aguascalientes Ags. del 3-7 de Noviembre de 2008.

Juan G. Marroquín P., Ayac Ayala E., Erik E. Vázquez F., **Domingo Torres L.**, “Diseño de un Inversor de Salida Sinusoidal de Bajo Contenido Armónico”, Memorias del 6to Congreso Internacional de Investigación en Ingeniería Eléctrica y Electrónica (CIIIEE), ISBN: 978-607-95060-1-8, Aguascalientes Ags. del 3-7 de Noviembre de 2008.

## REVISTAS DE DIVULGACIÓN Y PROGRAMAS DE RADIO Y TV

Domingo Torres Lucio, Manuel Madrigal, Erik E. Vázquez F, Ayac Ayala Estrada. Programa de Televisión del Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología (COECyT) y el Sistema Michoacana de Radio y Televisión, dentro de la serie: "Elemento cero" tema: "Energía Alternativa Rural", sábado 22 de agosto 21:00 horas y lunes 24 de agosto a las 11 horas del 2009. Canal del Sistema Michoacano de Radio y Televisión.

Domingo Torres Lucio "Sistema Híbrido de Generación de Energía Eléctrica para Uso Doméstico en Zonas Rurales del Estado de Michoacán", Folletos de Divulgación Científica y Tecnológica del Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología del Estado de Michoacán, ISBN: 968-5762-07-4, Primera Edición: Diciembre de 2007.

Domingo Torres Lucio, Programa de Radio "Semblanzas de la Ciencia", Sistema Híbrido de Generación de Energía Eléctrica. Sistema Michoacano de Radio y Televisión, 28 de noviembre de 2007.