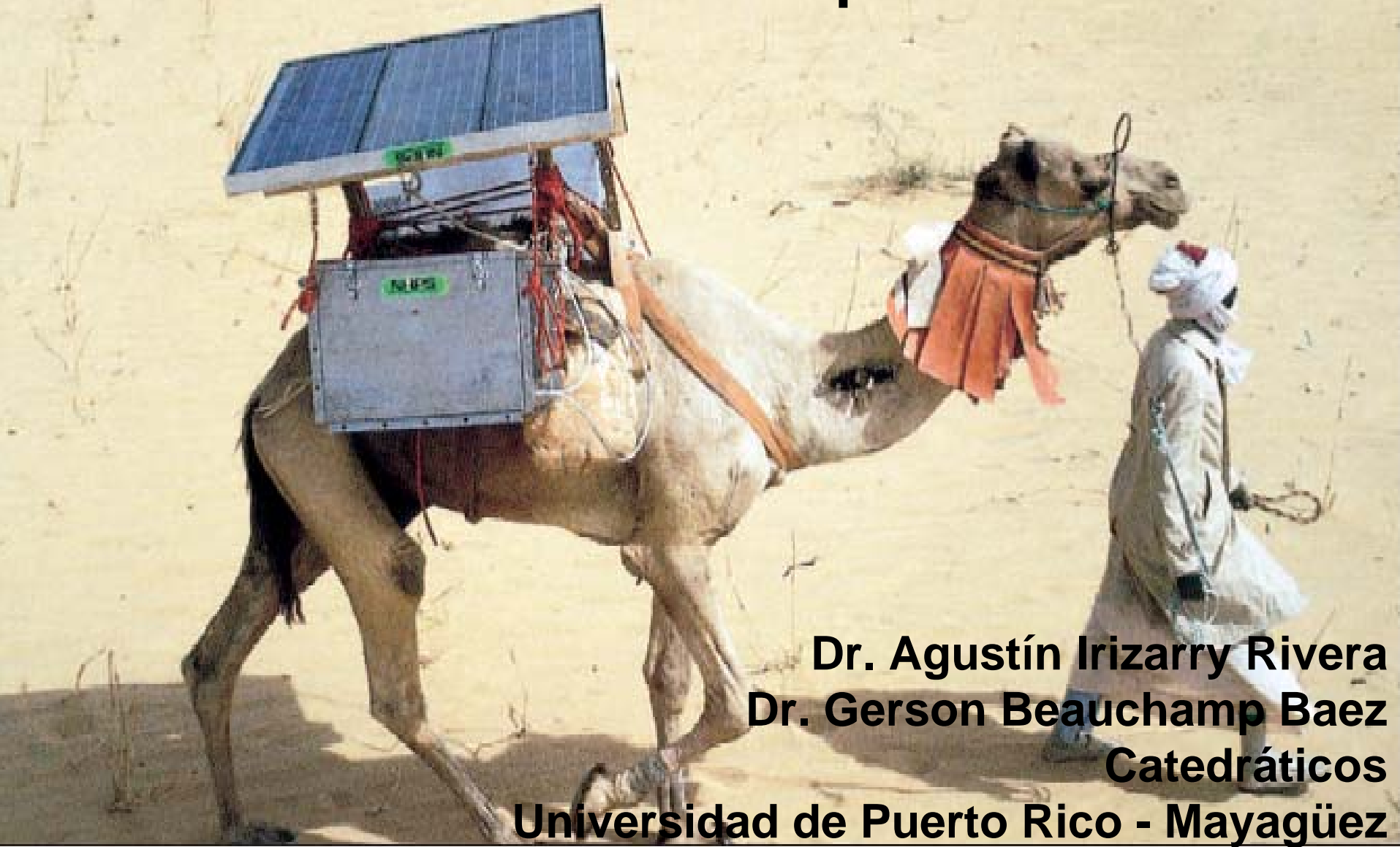


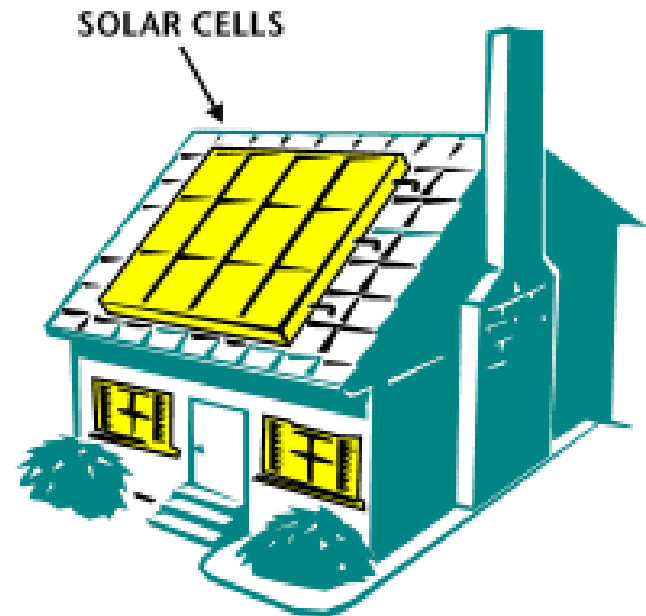
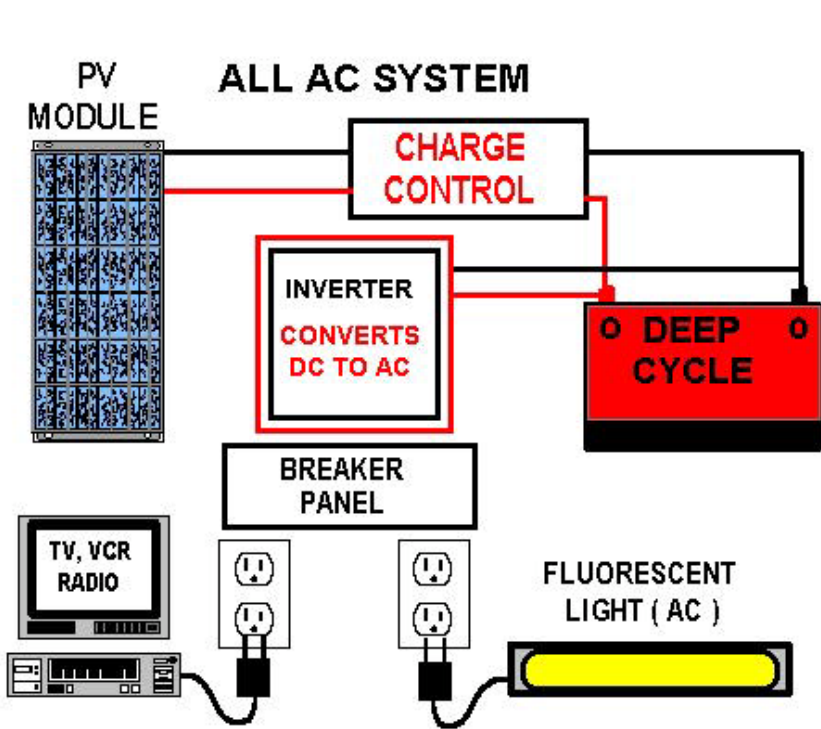
Generación fotovoltaica para Puerto Rico



Dr. Agustín Irizarry Rivera
Dr. Gerson Beauchamp Baez
Catedráticos
Universidad de Puerto Rico - Mayagüez

The "Camel Fridge." Camels wearing solar-powered refrigeration units helped deliver vaccines to remote African villages in the 1980s. (photo courtesy Naps Systems)

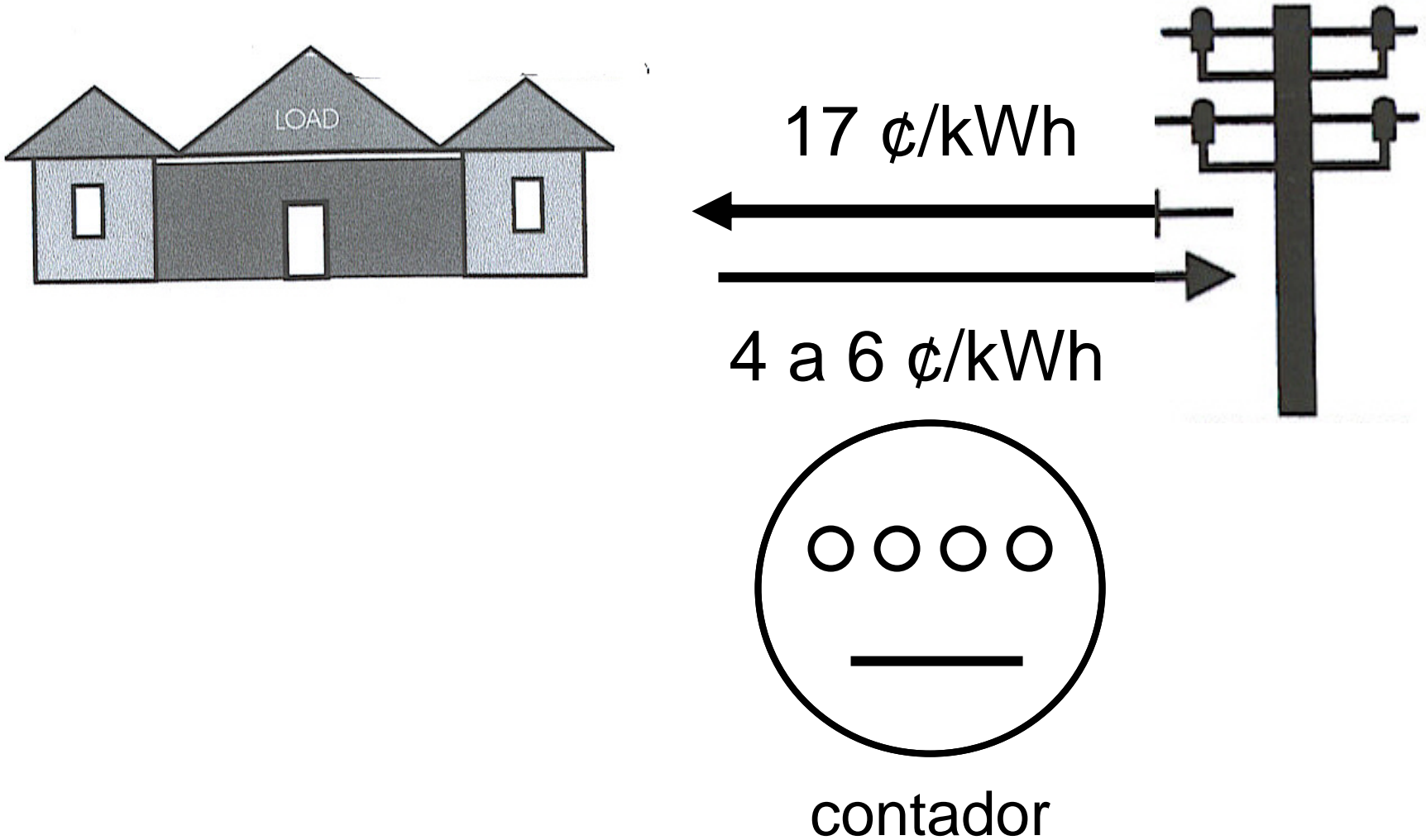
Generación fotovoltaica es la conversión de energía solar (luz solar) a electricidad usando una celda fotovoltaica.



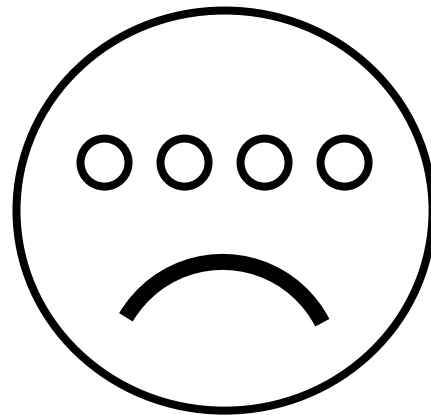
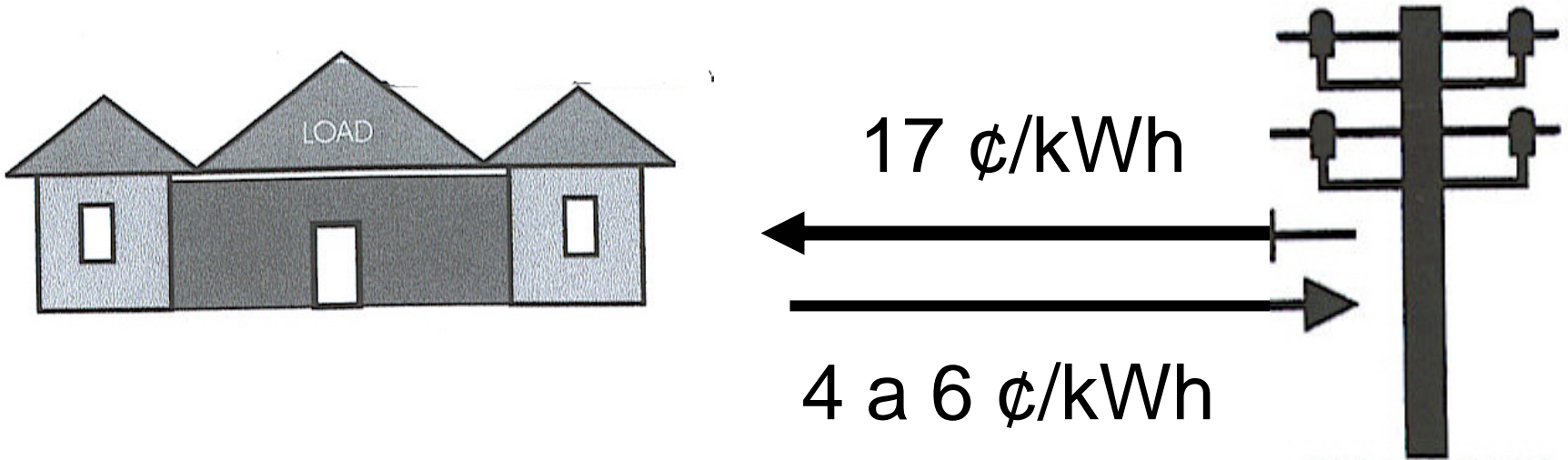
Costo evitado vs. medida neta

- Public Utility Regulatory Policies Act of 1978 (PURPA) - Obliga a la compañía eléctrica a comprar electricidad producida por generadores independientes al costo evitado de producción de la compañía eléctrica.
 - Costo de producción es menor que el precio de venta.
- Hace falta ley local – El excedente de electricidad producida por el cliente, usualmente renovable, se inyecta a la red y el contador “da reversa”

Costo Evitado

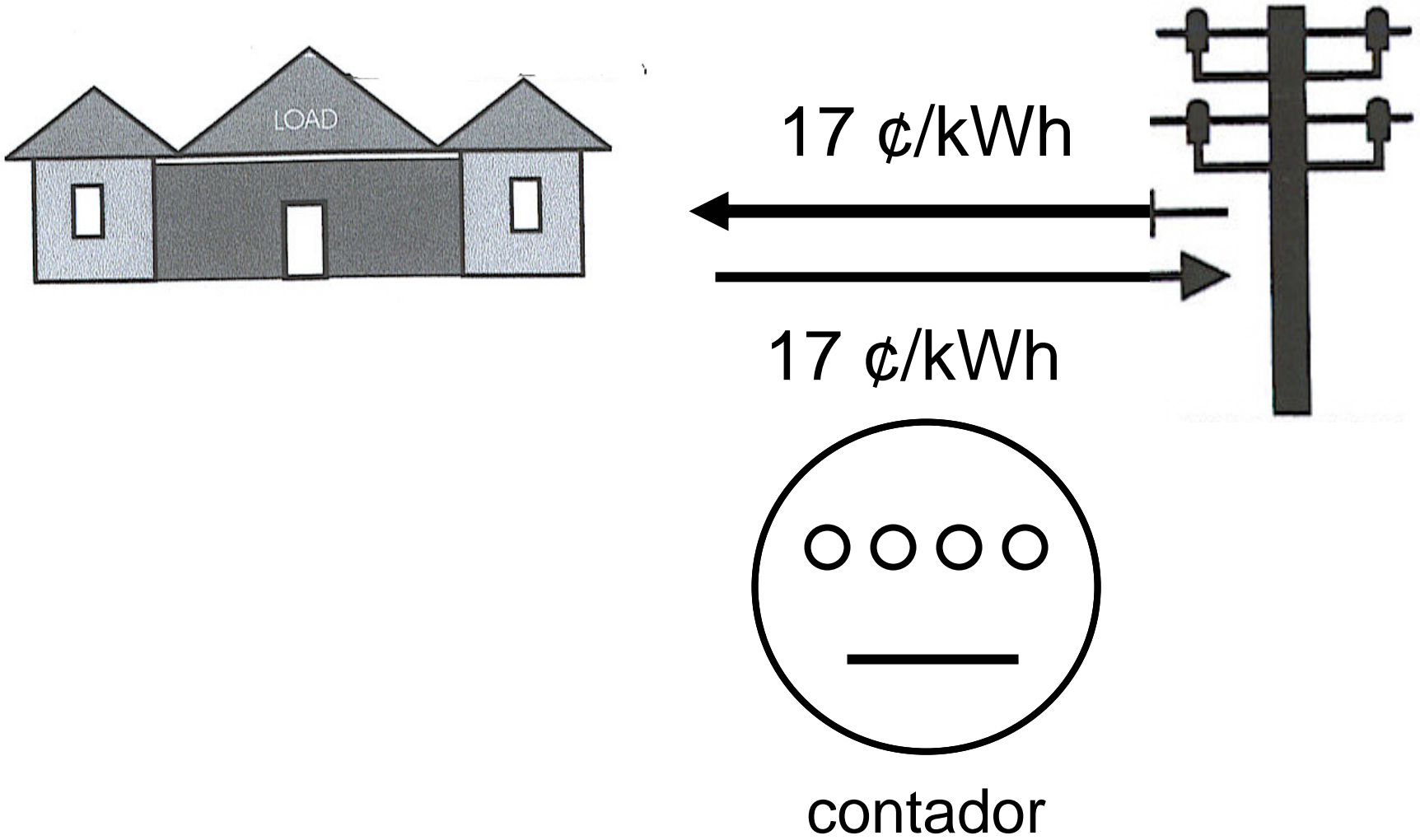


Costo Evitado

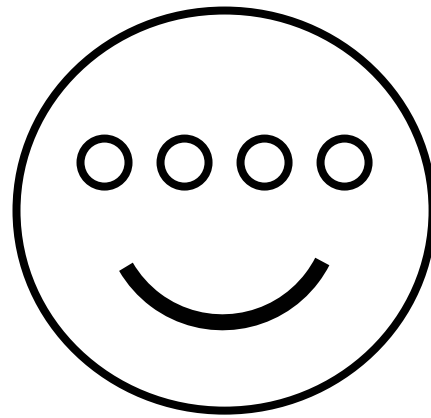
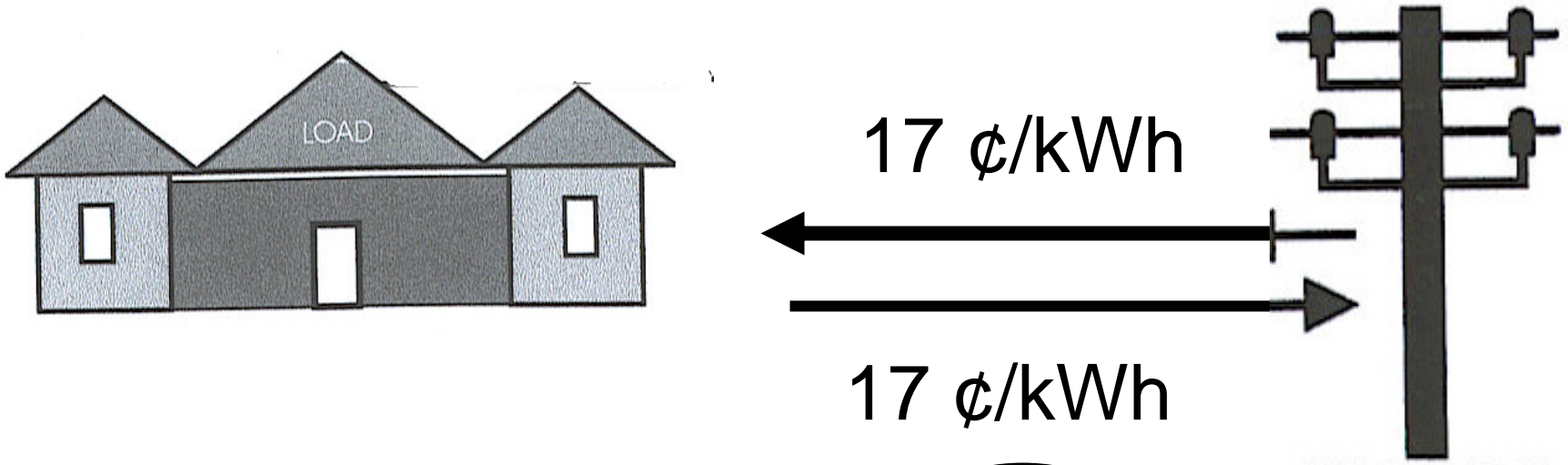


contador

Medida neta

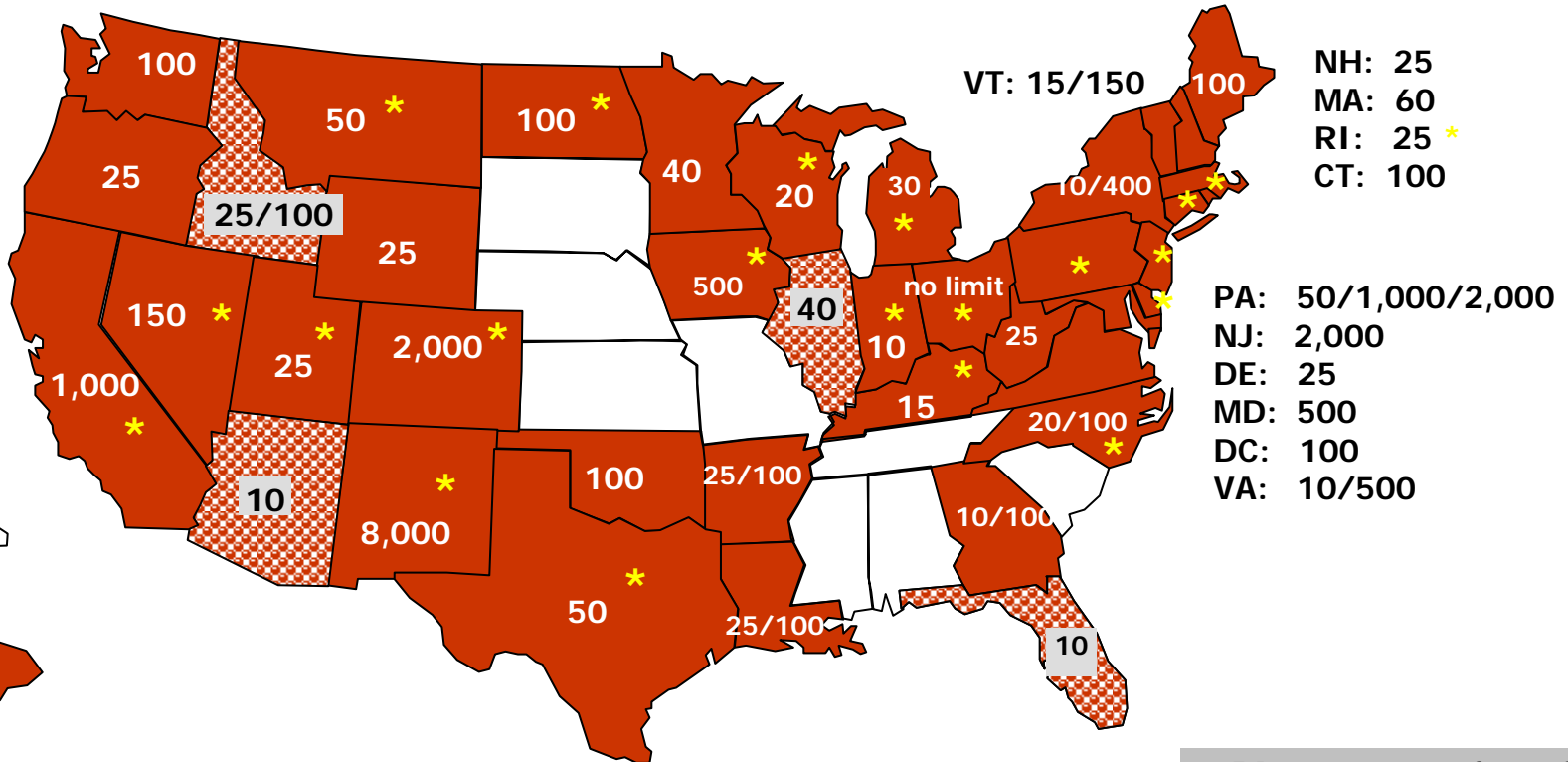


Medida neta



contador

Net Metering in USA



- State-wide net metering for all utility types
- * State-wide net metering for certain utility types (e.g., IOUs only)
- Net metering offered by one or more individual utilities

#s indicate system size limit (kW); in some cases limits are different for residential and commercial as shown

Net metering is available in 41 states + D.C.

En Puerto Rico PS 1212

- Aprobado (enmienda) por Cámara Rep.
 - 12 febrero 2007
- Mejor que lo actual que es nada.
- Muy pobre comparado a lo que puede ser
 - NO ES MEDIDA NETA AEE paga 10 ¢/kWh
 - Solo PV y viento – hay límite diario que penaliza al viento
 - Mas impuestos – 25% de lo que se acumula de un año a otro pasa a fondo de Escuelas
 - No es explícito en necesidad/costos de estudios de conexión

Proyecto de Tecnología de Manufactura de PV (PVMaT)

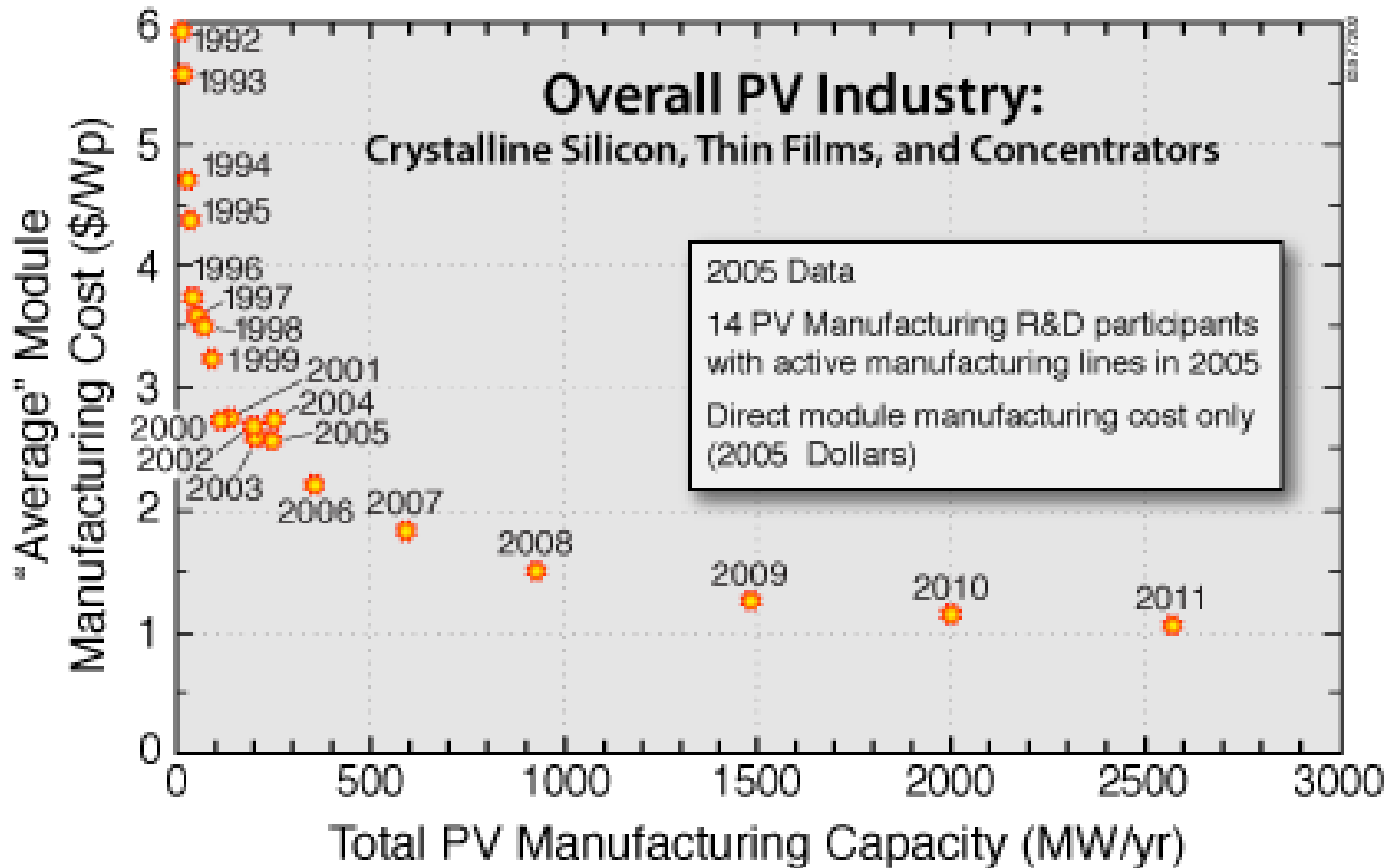
- Proyecto Auspicado por NREL (DOE) y la Industria Manufacturera de PV
 - Comienza en el año 1990
 - En el año 2000 cambia de nombre
 - Proyecto de Investigación y Desarrollo en Manufactura de PV (PV R&D Manufacturing Project)
 - Última solicitud de propuestas: año 2003
 - Contratos con Compañías manufactureras de PV con costos compartidos con NREL (DOE)

PV Manufacturing R&D Project

- Objetivos
 - Mejorar los equipos y procesos de manufactura de módulos PV
 - Acelerar la reducción de costos de manufactura de PV
 - Aumentar la confiabilidad y desempeño de los productos comerciales
 - Mejorar las oportunidades de inversión para compañías manufactureras de PV

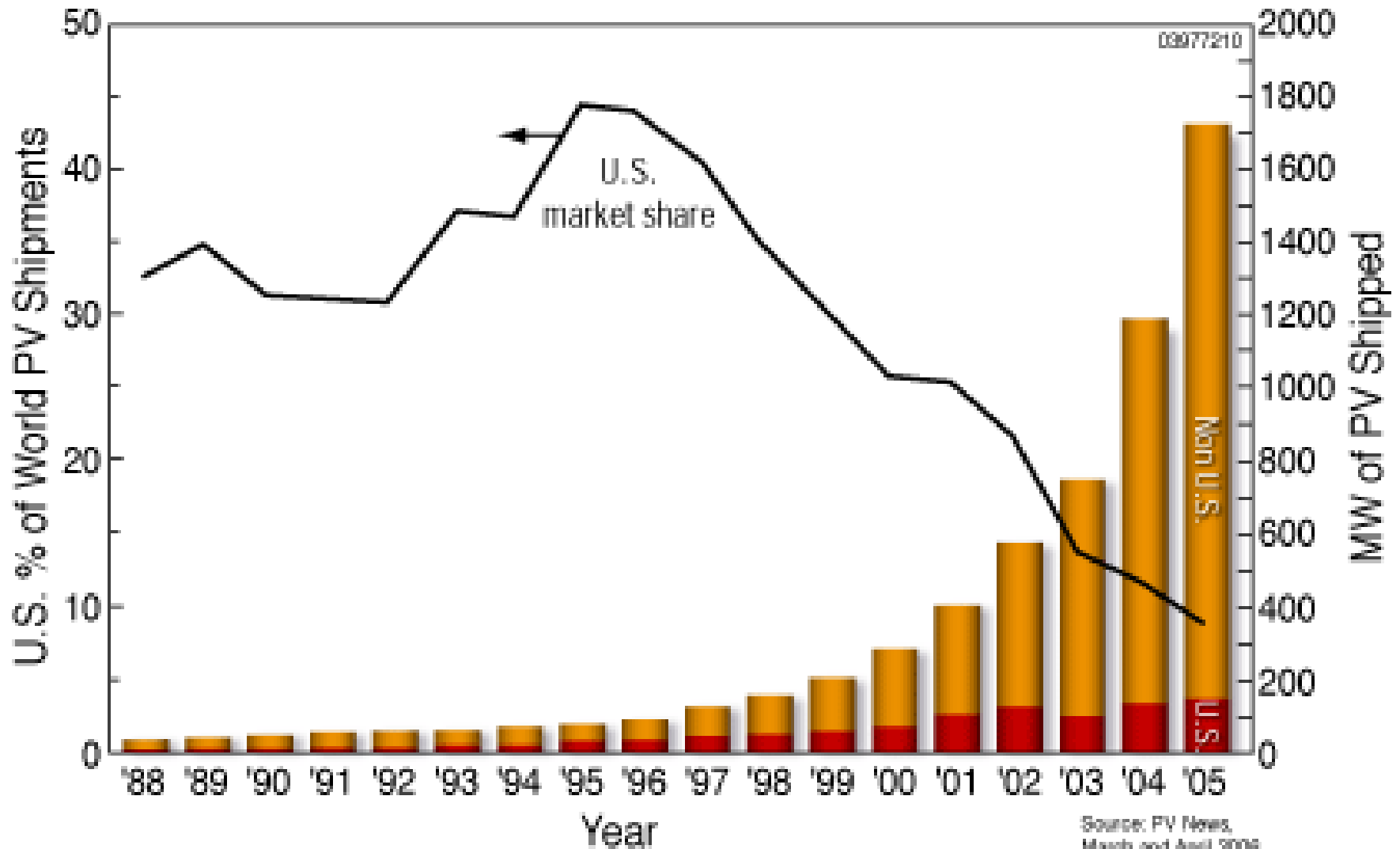
Reducción de Costos y Aumento en Capacidad de Manufactura

- Los costos directos de manufactura de módulos PV se redujeron de \$5.89 por vatio pico en 1992 a \$2.73 por vatio pico en dólares de 2005
- Esto representa una reducción de 54%
- La capacidad de producción aumentó de 14 MW por año en 1992 a 251 MW por año en 2005
- Esto representa un aumento en capacidad de producción de 19 veces o un 26%
- La próxima gráfica ilustra estos datos



Fuente: NREL (<http://www.nrel.gov/pv>)

Distribución del Mercado



Fuente: NREL (<http://www.nrel.gov/pv>)

Resumen



- En los últimos 15 años se han alcanzado logros significativos en reducción de costos de manufactura y aumento en capacidad de producción de módulos PV
- Estos avances sugieren que podemos ser optimistas para la próxima década en cuanto a nuevas mejoras
- El terreno es fértil para la cosecha de energía eléctrica con tecnología PV

Promedios de precio de venta de electricidad por sector (2005) en ¢/kWh

		
residencial	16.57	9.45
comercial	17.94	8.67
industrial	14.64	5.75
promedio	16.91	8.14

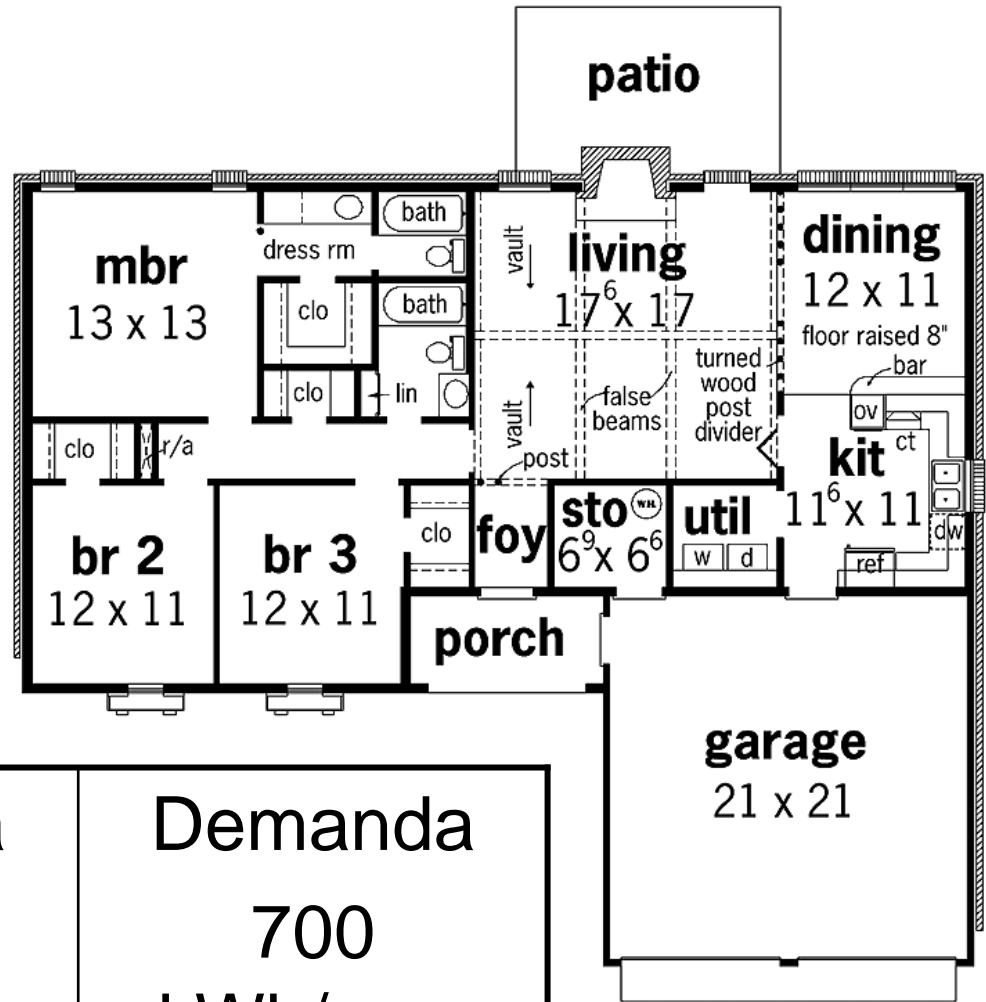
Referencias: AEE y Energy Information Agency

Promedios de precio de venta de electricidad por sector (2005) en ¢/kWh

	 1,388	 456
residencial	16.57	20.70
comercial	17.94	19.04
industrial	14.64	15.79
promedio	16.91	18.33

Referencias: AEE y Energy Information Agency

Un ejemplo:
 Una casa de unos
 1500 pies cuadrados
 con consumo entre
 500 y 700 kWh al
 mes



Demanda 500 kWh/mes	Demanda 600 kWh/mes	Demanda 700 kWh/mes
\$85	\$102	\$119

a 17 ¢/kWh

calentador solar

bombillas compactas fluorescentes

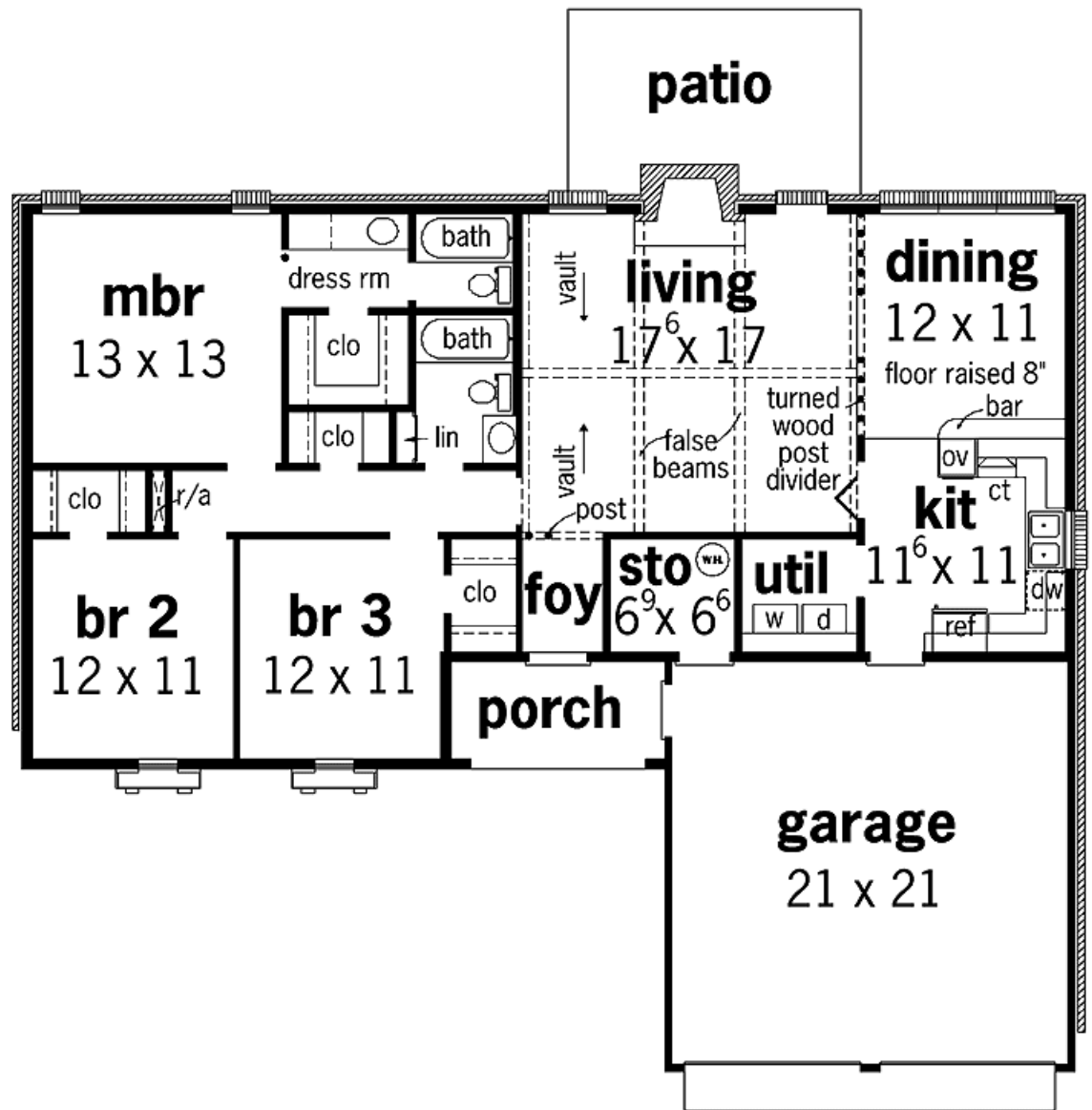
secadora de gas

estufa de gas

abanicos de techo

nevera eficiente

equipos eficientes



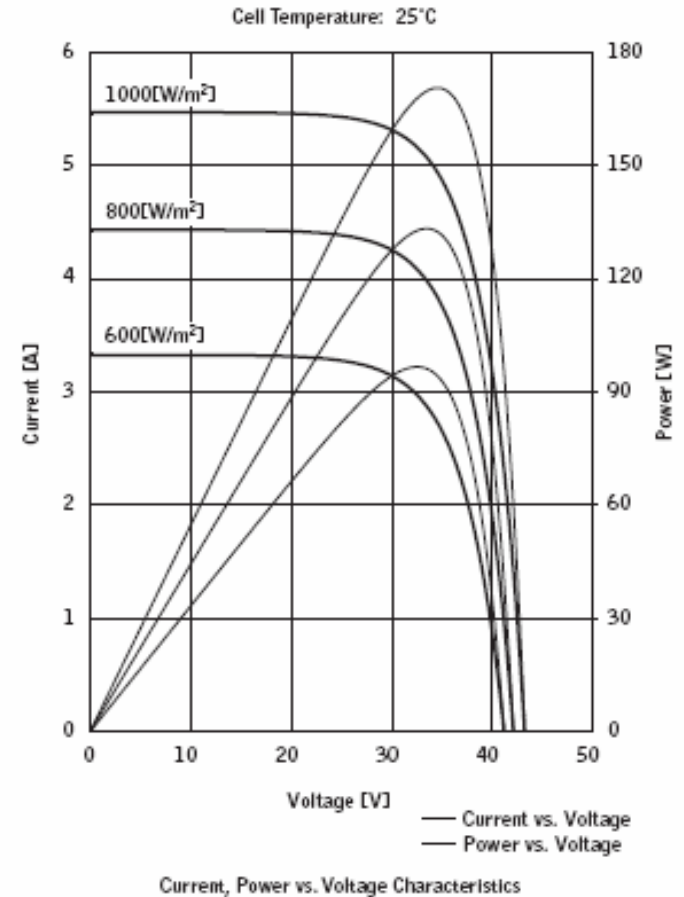
Panel fotovoltaico de 170 W

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Cell	Poly-crystalline silicon
No. of Cells and Connections	72 in series
Open Circuit Voltage (Voc)	43.2V
Maximum Power Voltage (Vpm)	34.8V
Short Circuit Current (Isc)	5.47A
Maximum Power Current (Ipm)	4.9A
Maximum Power (Pmax)*	170W (+10% / -5%)
Module Efficiency (η_m)	13.10%
Maximum System Voltage	600VDC
Series Fuse Rating	10A
Type of Output Terminal	Lead Wire with MC Connector

* (STC) Standard Test Conditions: 25°C, 1 kW/m², AM 1.5

IV CURVES



\$750/panel = \$4.41/ W pico el panel solo

Costo estimado elementos sistema PV

Elemento del sistema	Costo estimado (\$)
Panel Solar (cada uno)	750
Invertidor ~\$0.75/W	3,000
Instalación ~\$1/W	3,000 a 5,000
Materiales (herrajes, ...) ~\$1/W	3,000 a 5,000
Mantenimiento (1 cambio invertidor)	3,000
TOTAL FIJO	12,000 a 16,000

Cantidad y costo de los paneles necesarios para satisfacer la demanda de energía mensual

	Paneles 500 kWh/mes	Paneles 600 kWh/mes	Paneles 700kWh/mes
Ponce	19 (\$14,250)	23 (\$17,250)	27 (\$20,250)
Mayagüez	24 (\$18,000)	28 (\$21,000)	33 (\$24,750)
San Juan	22 (\$16,500)	27 (\$20,250)	31 (\$23,250)

Costo Total del sistema (~\$8/W)

	Demandaa l mes 500 kWh	Demanda al mes 600 kWh	Demandaa l mes 700 kWh
Ponce	\$26,710	\$31,070	\$35,430
Mayagüez	\$32,160	\$36,520	\$41,970
San Juan	\$29,980	\$35,430	\$39,790

Valor Presente de la electricidad

20 años, 8%, 17¢/kWh

	Demandaa l mes 500 kWh	Demanda al mes 600 kWh	Demandaa l mes 700 kWh
Ponce	\$10,232	\$12,386	\$14,540
Mayagüez	\$10,493	\$12,242	\$14,428
San Juan	\$10,193	\$12,510	\$14,363

Valor Presente total (~\$8/W)
20 años, 8%, 17¢/kWh

	Demandaa l mes 500 kWh	Demanda al mes 600 kWh	Demandaa l mes 700 kWh
Ponce	\$16,478	\$18,684	\$20,890
Mayagüez	\$21,667	\$24,278	\$27,542
San Juan	\$19,787	\$22,920	\$25,427

Costo Total del sistema (~\$4/W)

	Demandaa l mes 500 kWh	Demanda al mes 600 kWh	Demandaa l mes 700 kWh
Ponce	\$13,355	\$15,535	\$17,715
Mayagüez	\$16,080	\$18,260	\$20,985
San Juan	\$14,990	\$17,715	\$19,895

Valor Presente total (~\$4/W)

20 años, 8%, 17¢/kWh

	Demandaa l mes 500 kWh	Demanda al mes 600 kWh	Demandaa l mes 700 kWh
Ponce	\$3,123	\$3,149	\$3,175
Mayagüez	\$5,587	\$6,018	\$6,557
San Juan	\$4,797	\$5,205	\$5,532

El análisis no incluye

- Externalidades
 - valor de no contaminar
 - satisfacción de independencia
 - aumento en confiabilidad (huracanes)
- Beneficios sociales
 - disminución pérdidas
 - crédito por capacidad
 - creación de empleos y mercado

¿Preguntas?

Dr. Agustín Irizarry Rivera

agustin@ece.uprm.edu

Dr. Gerson Beauchamp Báez

gerson@ece.uprm.edu

Departamento de Ingeniería

Eléctrica y Computadoras

Tel. 787-832-4040 ext. 3090

Fax: 787-831-7564



Typical wattage requirements for common appliances

General household:

Air conditioner (1 ton) ..	1500
Alarm/security system	3
Blow dryer	1000
Ceiling fan	10-50
Central vacuum	750
Clock radio	5
Clothes washer	1450
Dryer (gas)	300
Electric blanket	200
Electric clock	4
Furnace fan	500
Garage door opener	350
Heater (portable)	1500
Iron (electric)	1500
Radio/phone transmit .	40-150
Sewing machine	100
Table fan	10-25
Waterpik	100

Kitchen appliances:

Blender	350
Can opener (electric)	100
Coffee grinder	100
Coffee pot (electric)	1200
Dishwasher	1500
Exhaust fans (3)	144
Food dehydrator	600
Food processor	400
Microwave (.5 ft ³)	750
Microwave (.8 to 1.5 ft ³) .	1400
Mixer	120
Popcorn popper	250
Range (large burner)	2100
Range (small burner)	1250
Trash compactor	1500
Waffle iron	1200

Lighting:

Entertainment:

CB radio	10
CD player	35
Cellular telephone	24
Computer printer	100
Computer (desktop) ..	80-150
Computer (laptop)	20-50
Electric player piano	30
Radio telephone	10
Satellite system (12 ft dish) .	45
Stereo (avg. volume)	15
TV (12-inch black & white) .	15
TV (19-inch color)	60
TV (25-inch color)	130
VCR	40

Tools:

Band saw (14")	1100
Chain saw (12")	1100

Typical wattage requirements for common appliances

(continued)

Sewing machine	100
Table fan	10-25
Waterpik	100

Refrigeration:

Refrigerator/Freezer	540
22 ft ³ (14 hrs/day)	
Refrigerator/Freezer	475
16 ft ³ (13 hrs/day)	
Sun Frost refrigerator	112
16 ft ³ (7 hrs/day)	
Vestfrost refrigr/freezer	60
10.5 ft ³	
Standard freezer	440
14 ft ³ (15 hrs/day)	
Sun frost freezer	112
19 ft ³ (10 hrs/day)	

Waffle iron	1200
-----------------------	------

Lighting:

Incandescent (100 watt)	100
Incandescent light (60W)	60
Compact fluorescent	16
(60W equivalent)	
Incandescent (40 watt)	40
Compact fluorescent	11
(40W equivalent)	

Water Pumping:

AC Jet Pump (1/4hp)	500
165 gal per day, 20 ft. well	
DC pump for house	60
pressure system (1-2 hrs/day)	
DC submersible pump	50
(6 hrs/day)	

Tools:

Band saw (14")	1100
Chain saw (12")	1100
Circular saw (7(1/4")	900
Disc sander (9")	1200
Drill (1/4")	250
Drill (1/2")	750
Drill (1")	1000
Electric mower	1500
Hedge trimmer	450
Weed eater	500