

**CURSO:
ENERGIAS RENOVABLES**

Mgr. Enrique Birhuett García

**UNIVERSIDAD ANDINA SIMON BOLIVAR
GESTIÓN ESTRATÉGICA DE ENERGÍA,
HIDROCARBUROS Y ELECTRICIDAD
LA PAZ - 2016**

OBJETIVOS GENERALES DEL CURSO

- **Brindar un marco general de las energías alternativas tanto en Bolivia como en otras partes del mundo.**
- **Desarrollar el pensamiento lógico de los participantes para profundizar sus habilidades relacionadas con la evaluación y generación de nuevas ideas sobre las energías alternativas.**
- **Predecir, estimar y ponderar los resultados de nuevas ideas en la solución de problemas sobre la provisión y consumo de la energía en general y de las energías alternativas en particular**

OBJETIVOS ESPECIFICOS DEL CURSO

Que los participantes cuenten con:

- Conocimientos sobre los principios físicos que rigen las energías alternativas.**
- Criterios económicos para la promoción de las energías alternativas.**
- Instrumentos para el diseño y evaluación de políticas y planes que promuevan las energías alternativas en Bolivia.**

METODO DE ANALISIS

- **Visión global**
- **El mundo – Bolivia – local**
- **Fuente energética y tecnología**
- **Aspectos económicos y regulatorios**
- **Caso de análisis: España (idioma)**

EVALUACION

CRITERIO	PORCENTAJE
Asistenciapuntualaclases	15%
Exposicióndelectura	40%
Presentacióntareass	20%
ExámenFinal	25%
TOTAL	100%

TAREA INDIVIDUAL: ENTREGA DIA VIERNES 14 DE OCTUBRE

Trayectoria de sol (reloj en el Sur)

<http://suncalc.net/#/-16.5414,-68.1702,3/2014.11.21/18:15>

Horas que arroja el programa:

17 de febrero, 21 de marzo, 21 de junio, 21 de septiembre, 14 de noviembre, 21 de diciembre.

Localidades: Cobija, La Paz, Bermejo, San Matías.

Presentar en Tabla.

Simulación de la trayectoria solar en La Paz

<http://astro.unl.edu/naap/motion3/animations/sunmotions.html>

Fechas clave: 21 de marzo, 21 de junio, 21 de septiembre, 21 de diciembre, determinar ángulo de salida y puesta del sol y altura solar. Presentar en tabla.

¿En qué fechas, el sol a medio día está en el zenit para Cobija, La Paz, Bermejo y San Matías?

Presentar en Tabla

Explicación del Sistema Flash en una planta geotérmica

<http://www.technologystudent.com/energy1/geo4.htm>

Media página de explicación porqué se produce el fenómeno de “flash”.

EXPOSICIÓN POR GRUPOS

Tiempo de exposición: 15 minutos.

Contenido de la exposición:

- Resumen del contenido.
- Conclusiones y aportes.

GRUPO 1. MARTES 11

Descripción de los mapas de potencial solar, eólico, hidroeléctrico, biomasa y geotérmico de Bolivia.

GRUPO 2. MIÉRCOLES 12

Artículo: El desafío de las energías renovables para su inserción a mayor escala en el mercado eléctrico boliviano. Ramiro Rojas Zurita. Miguel Fernández Fuentes. Renán Orellana Lafuente.

GRUPO 3. JUEVES 13

Artículo: Retrato 13 de Eduardo Lorenzo.

GRUPO 4. VIERNES 14

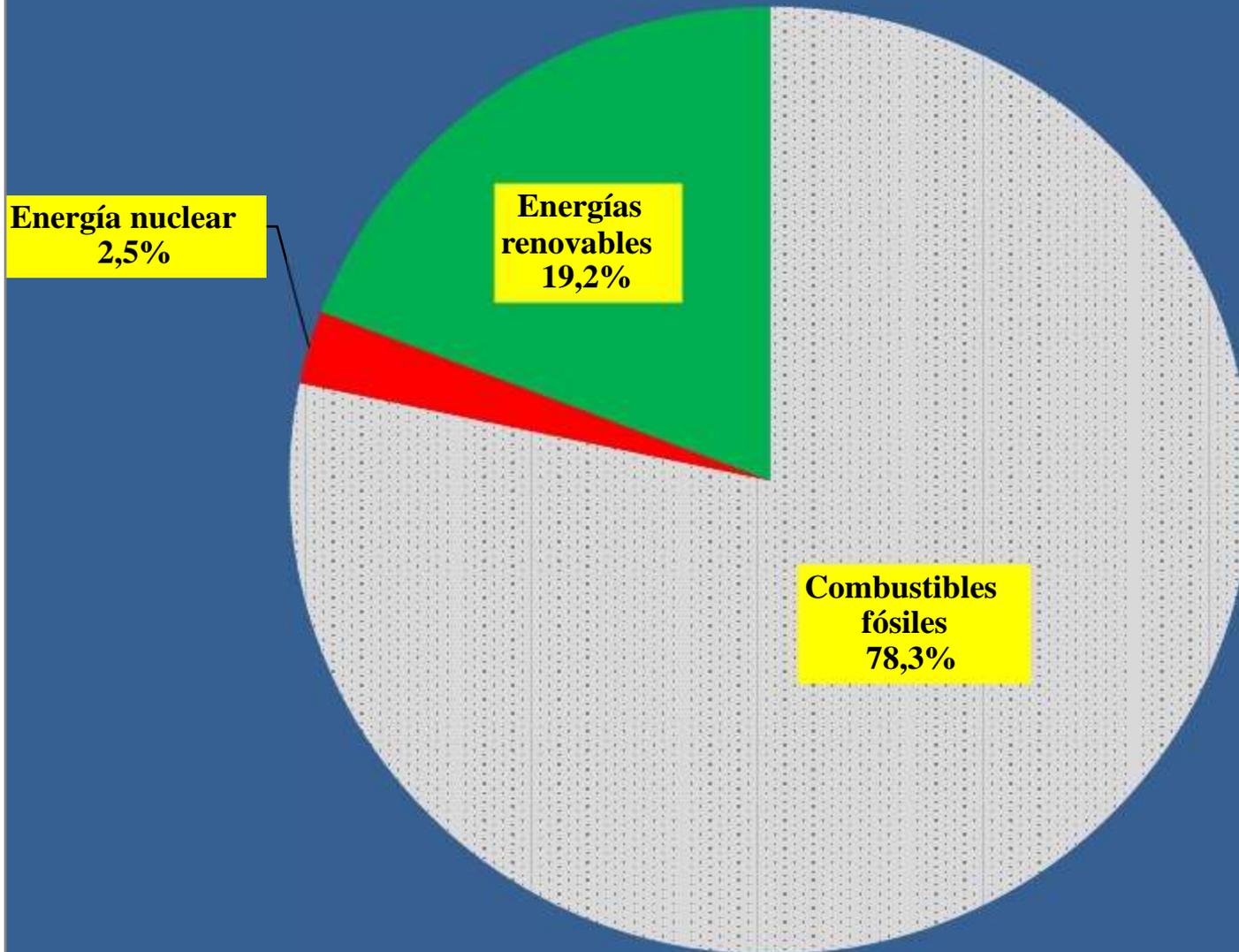
Artículo: El Potencial Eólico de Patacamaya. Jesús Mauricio Encinas Riveros.
Rómulo Encinas Laguna

GRUPO 5. SABADO 15

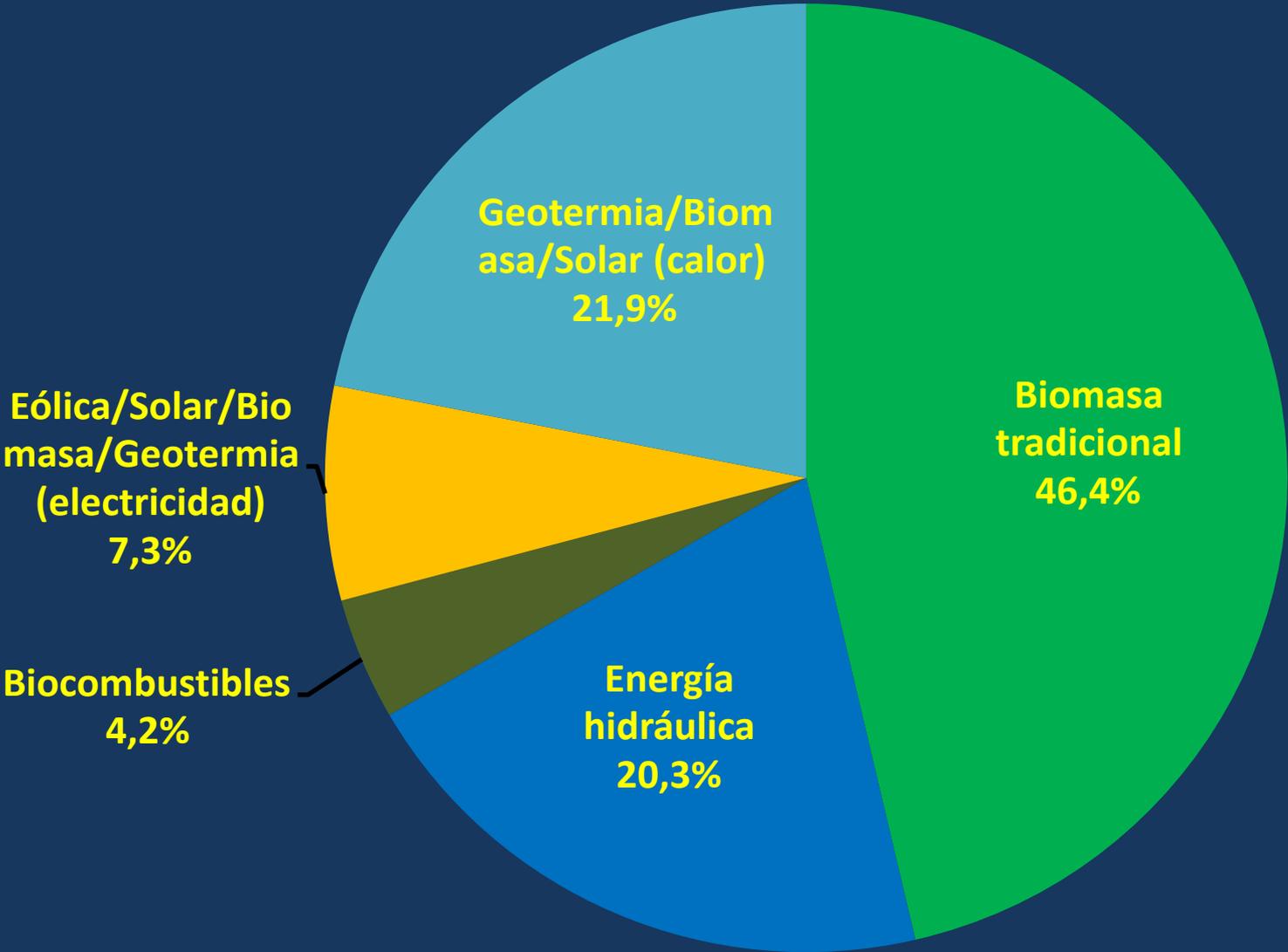
Artículo: Retrato 6 de Eduardo Lorenzo.

LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL CONTEXTO MUNDIAL

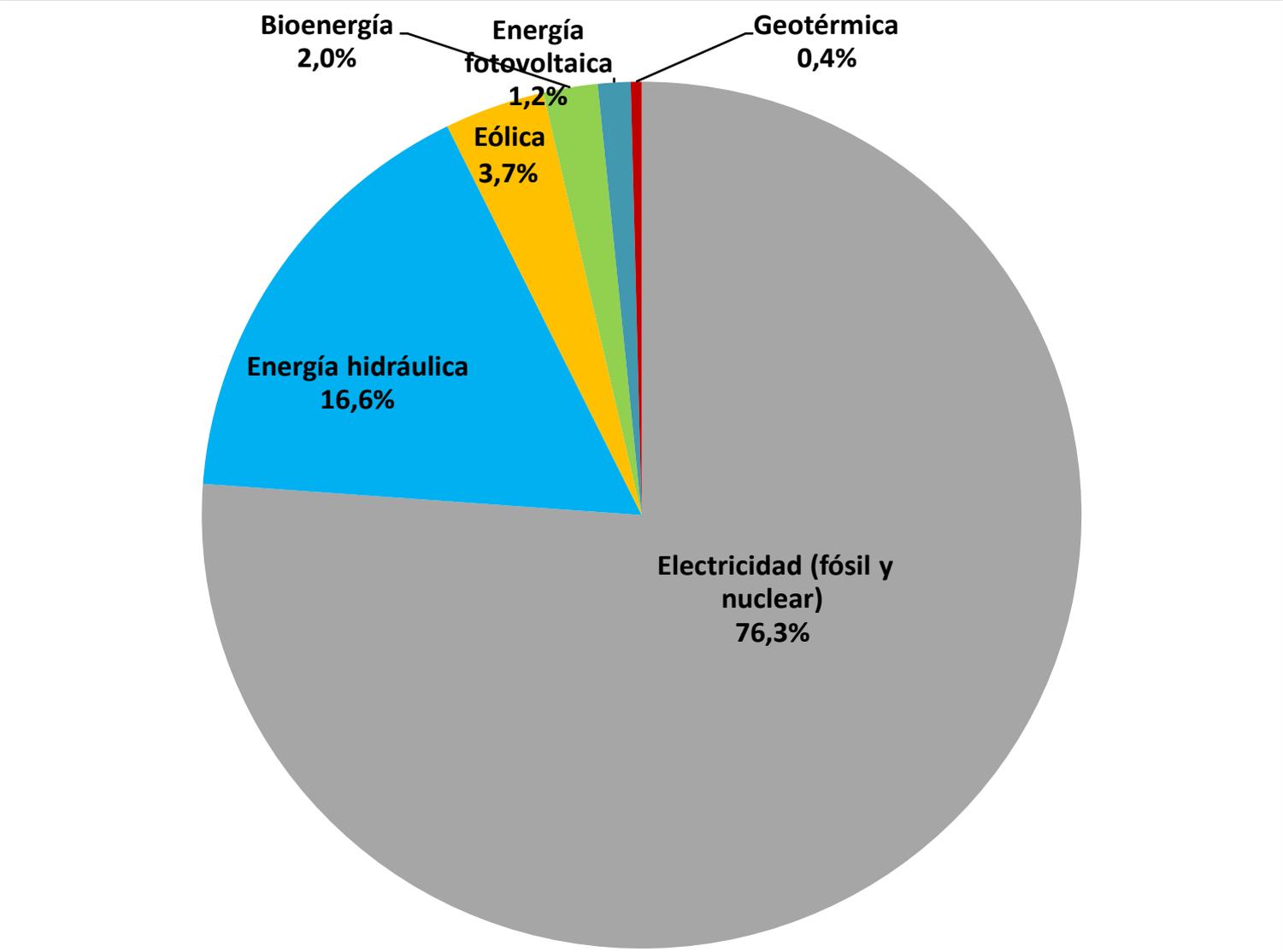
PARTICIPACION DE LAS ENERGIAS RENOVABLES EN LA PRODUCCION MUNDIAL DE ENERGIA PRIMARIA - 2015



CUOTA DE PARTICIPACION DE CADA ENERGIA RENOVABLE- 2015



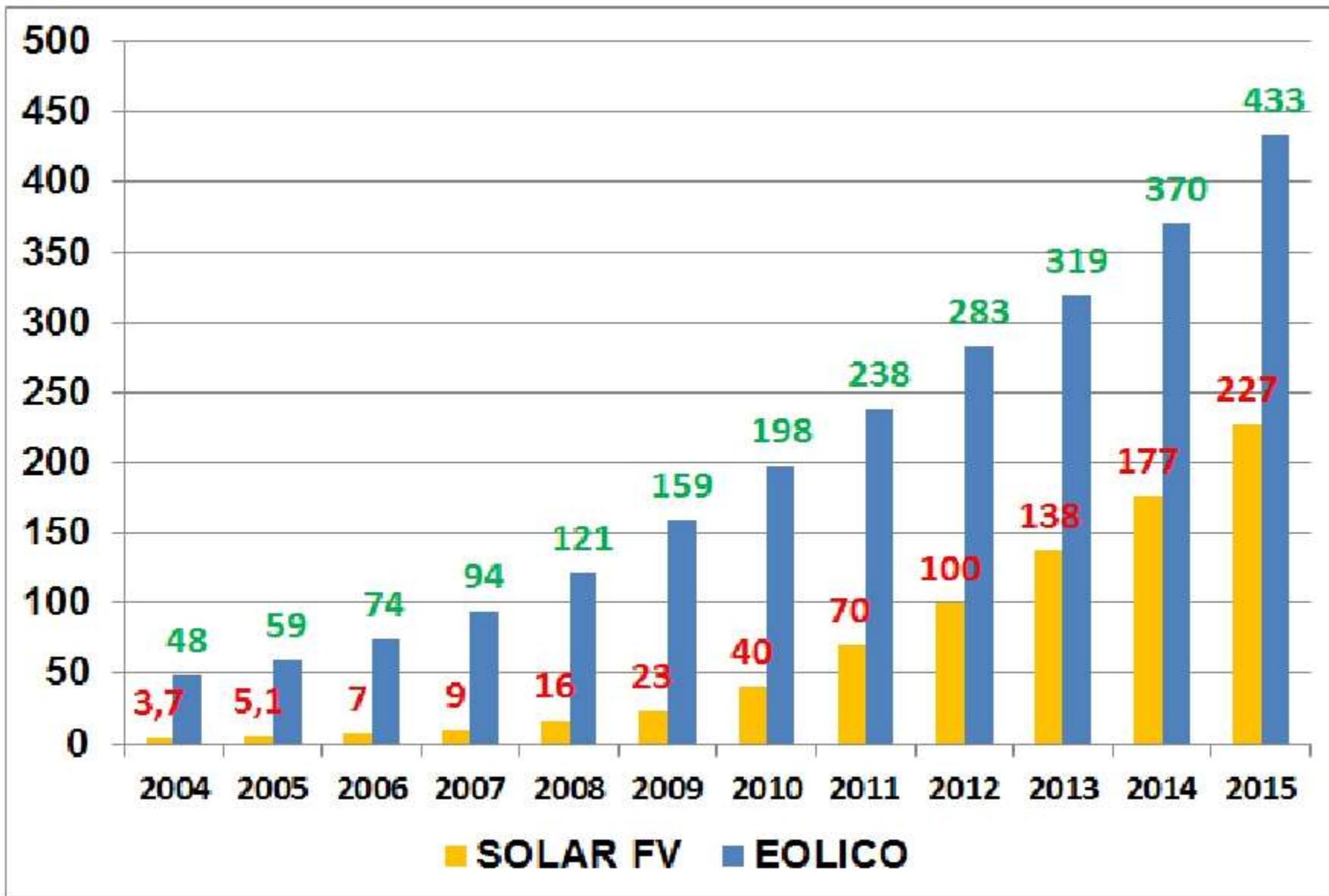
CUOTA DE LAS ENERGIAS RENOVABLES EN LA PRODUCCIÓN MUNDIAL DE ELECTRICIDAD - 2015



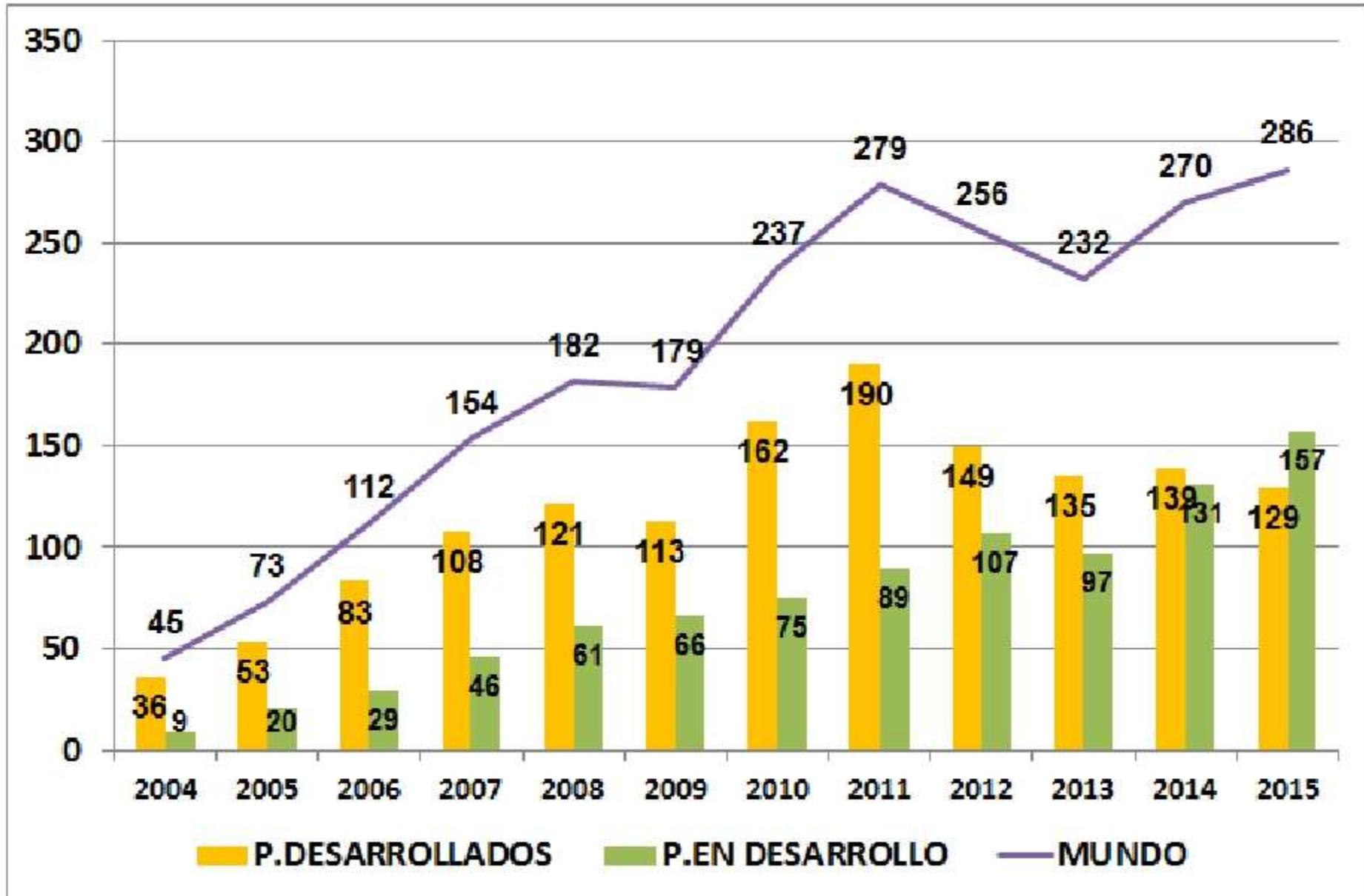
LAS RENOVABLES EN CIFRAS

ELECTRICIDAD	Unidades	2014	2015	%Crecimiento
HIDROELECTRICIDAD	GW	1.036,0	1.064,0	2,7%
SOLAR TERMICA DECONCENTRACION	GW	4,3	4,8	11,6%
SOLAR FOTOVOLTAICA	GW	177,0	227,0	28,2%
EOLICA	GW	370,0	433,0	17,0%
GEOTÉRMICA	GW	12,9	13,2	2,3%
BIOENERGÍA	GW	101,0	106,0	5,0%
CALOR				
SOLAR TERMICA CALENTAMIENTO AGUA	GW	409,0	435,0	6,4%
TRANSPORTE				
ETANOL	billón litros	94,5	98,3	4,0%
BIODIESEL	billón litros	30,4	30,1	-1,0%
BIOENERGÍA				
DESECHOS ORGANICOS CENTRALES ELECTR.	TWh	429,0	464,0	8,2%
INVERSIONES RENOVABLES				
	billón dólares	273,0	285,9	4,7%
Fuente:REN21 (2016)				

MUNDO: CAPACIDAD INSTALADA FV Y EOLICO



INVERSIONES EN ENERGÍAS RENOVABLES EN BILLONES US\$



TAREA – Por grupos

De acuerdo al BEN 2013 y BEN 2014:

- a) determinar la participación de las energías renovables en la producción de energía primaria,**
- b) determinar la participación de las energías renovables en la producción de electricidad,**
- c) Inversiones en energía solar y energía eólica en Bolivia desde 2010.**

Presentación: día siguiente.

DEFINICION Y POTENCIA UTIL



**ENERGIA = CAPACIDAD DE
PRODUCIR TRABAJO**

**Joules, Watt-hora, caloría, BTU,
BEP, KBEP**



POTENCIA = ENERGIA / TIEMPO

**Watts, MW, GW, HP (Horse
Power)**

ENERGIAS RENOVABLES

- **ENERGIA CUYO APROVECHAMIENTO NO MODIFICA LA RESERVA**
- **LA FUENTE ES PRACTICAMENTE INFINITA**
- **SE EXTRAEN DE CICLOS NATURALES**
- **NO EMITEN CO₂ (ALTERNATIVAS)**
- **APLICACIONES PARA PRODUCIR ELECTRICIDAD Y CALOR**
- **DENSIDAD BAJA (ENERGÍA POR VOLUMEN O SUPERFICIE)**
- **ALGUNAS SON INTERMITENTES.**

PRIMERA LEY DE LA TERMODINAMICA: CONSERVACION DE LA ENERGIA

Fuente Renovable = Potencia útil + Calor

Potencia útil = Fuente Renovable – Pérdidas por Calor

Pérdidas por Calor = α * Fuente Renovable

Potencia útil = Fuente Renovable – α * Fuente Renovable

Potencia útil = $(1 - \alpha)$ * Fuente Renovable

COP = $1 - \alpha$

Ecuación fundamental:

$$**P(útil) = COP * P(renovable)**$$

COP = Coef. Desempeño (dato de diseño)

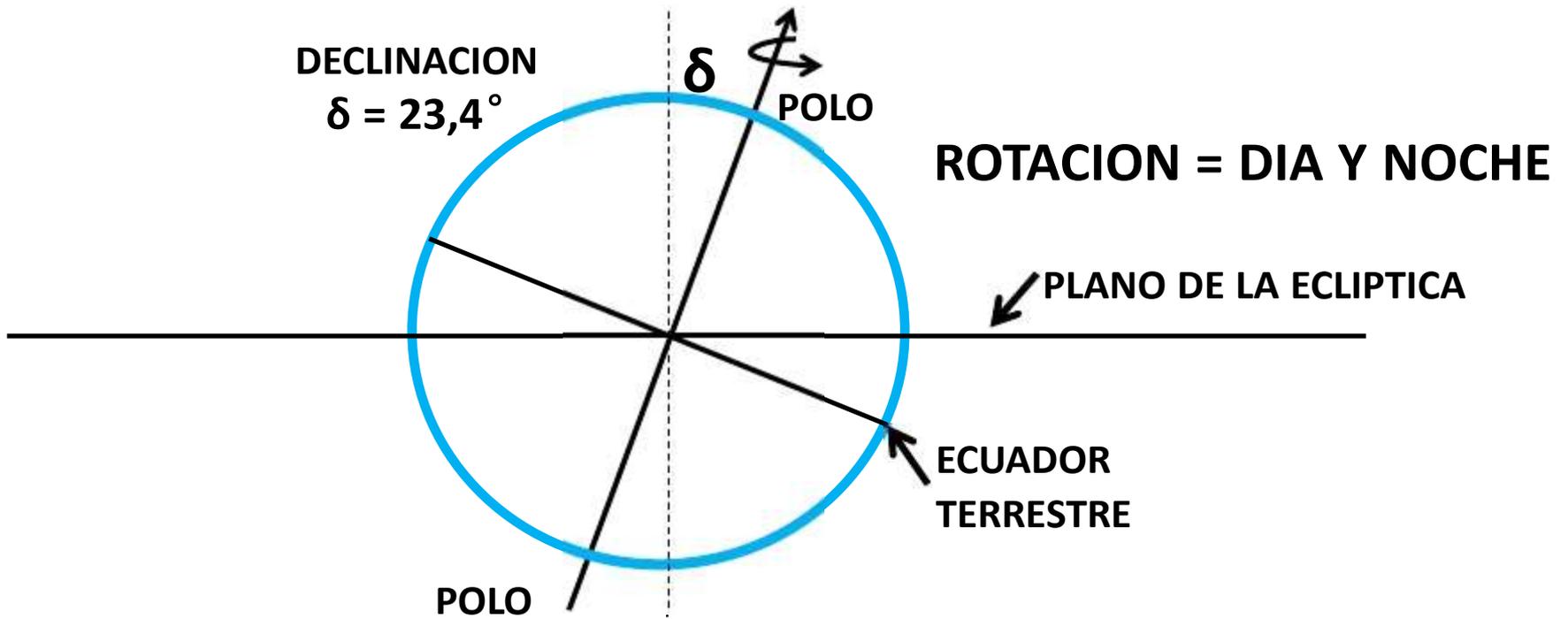
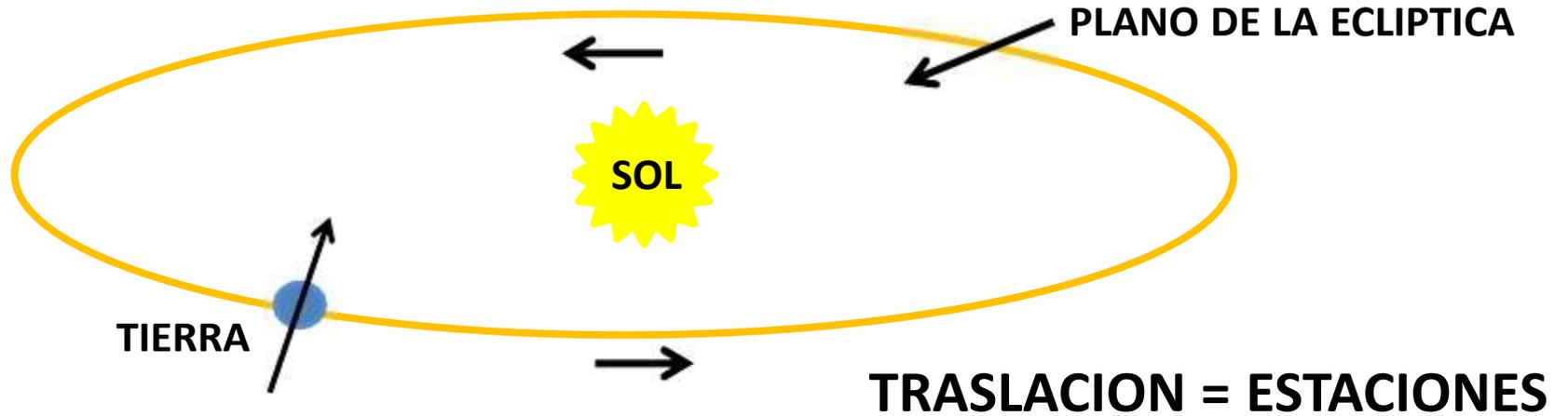
(COP=coefficient of performance)

VALORES MEDIOS DE COP

FUENTE	COP
SOLAR(CALORUTIL)	0,55
SOLAR(ELECTRICIDAD)	0,16
EOLICO(ELECTRICIDAD)	0,33
BIOMASA(CALOR)	0,45
BIOMASA(ELECTRICIDAD)	0,22
GEOTERMIA(ELECTRICIDAD)	0,45
HIDROELECTRICIDAD	0,85

ENERGIA SOLAR

CICLO SOLAR



HIDROGENO: 98%
HELIO: 1 %
OTROS ELEMENTOS: 1%

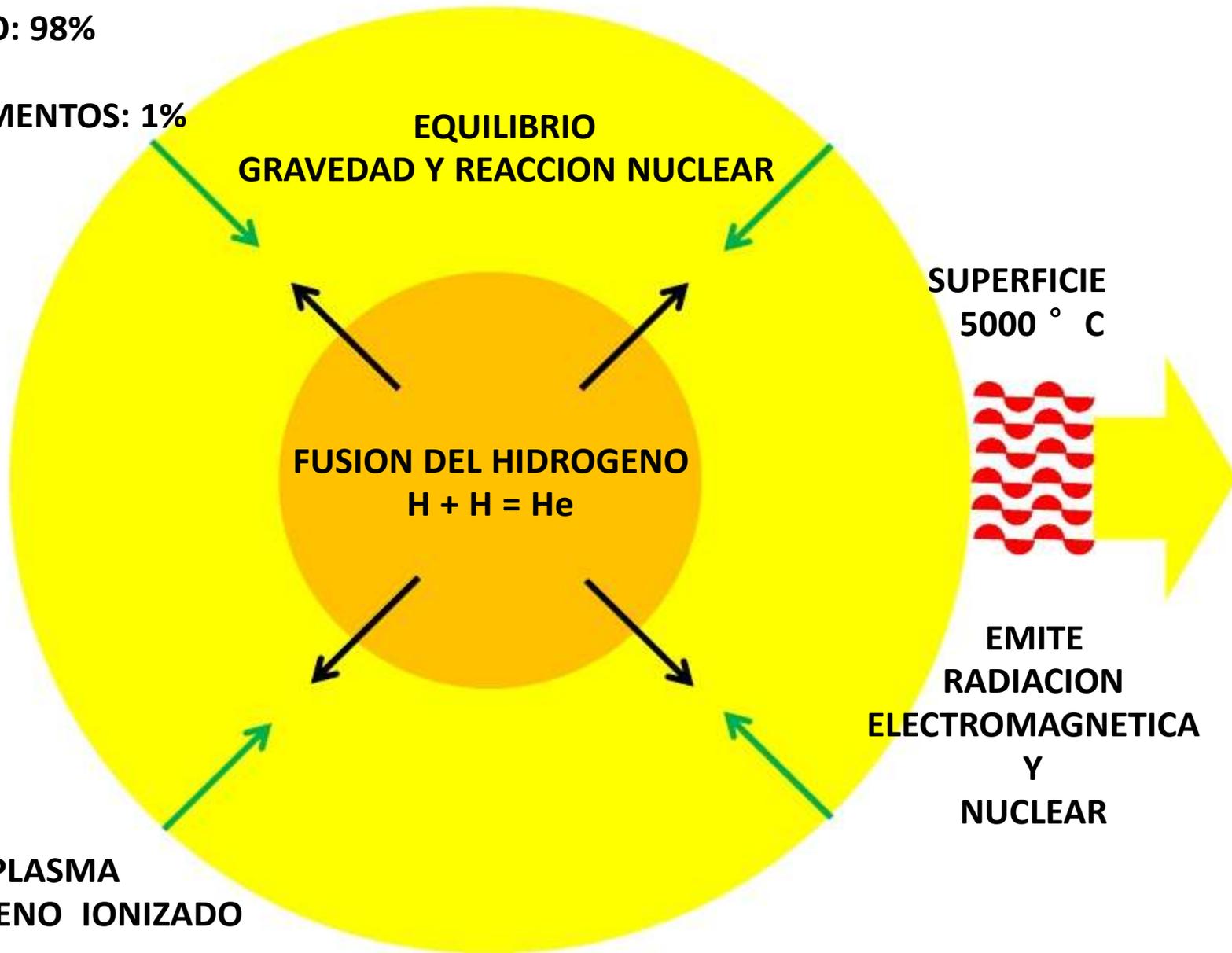
EQUILIBRIO
GRAVEDAD Y REACCION NUCLEAR

FUSION DEL HIDROGENO
 $H + H = He$

SUPERFICIE
5000 ° C

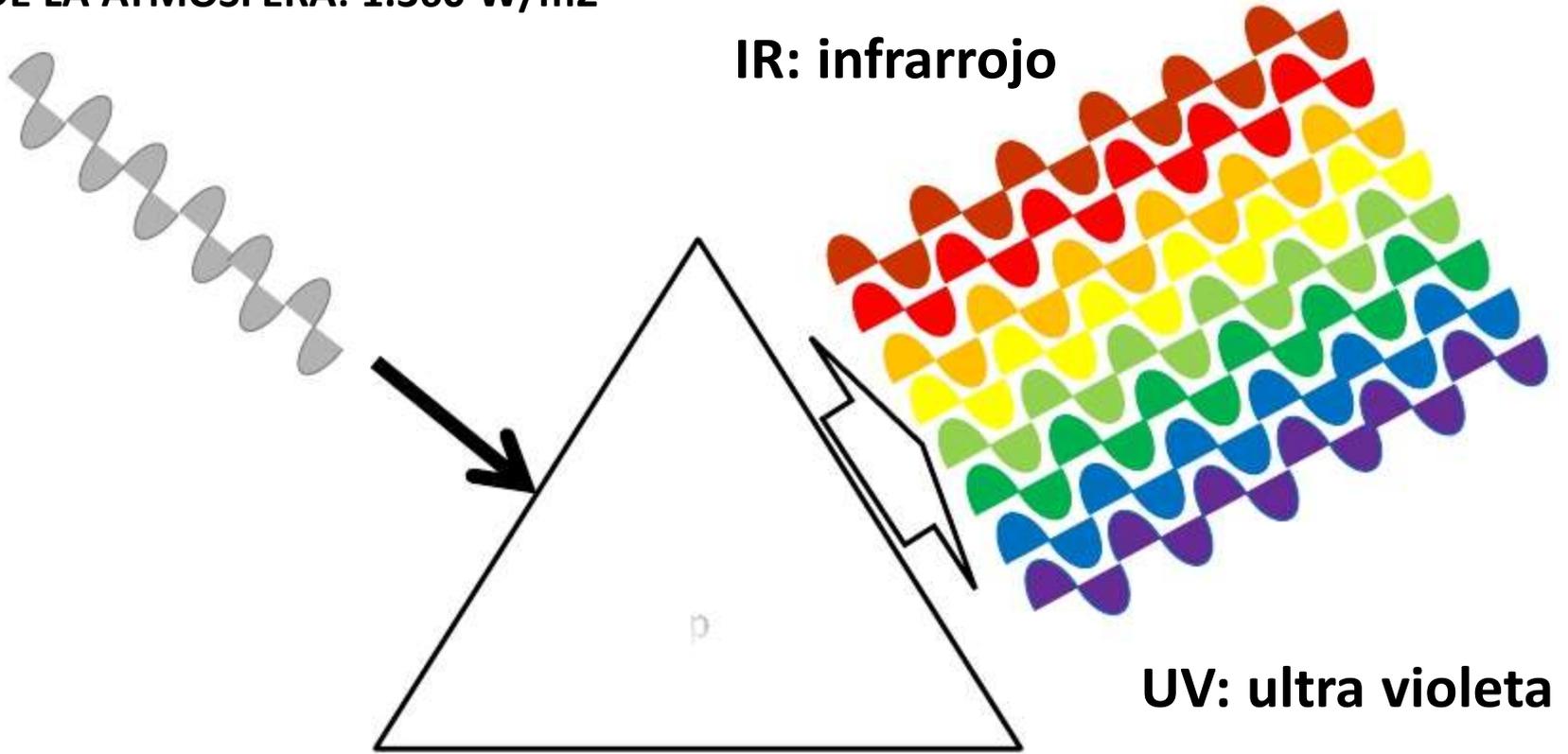
EMITE
RADIACION
ELECTROMAGNETICA
Y
NUCLEAR

PLASMA
HIDROGENO IONIZADO



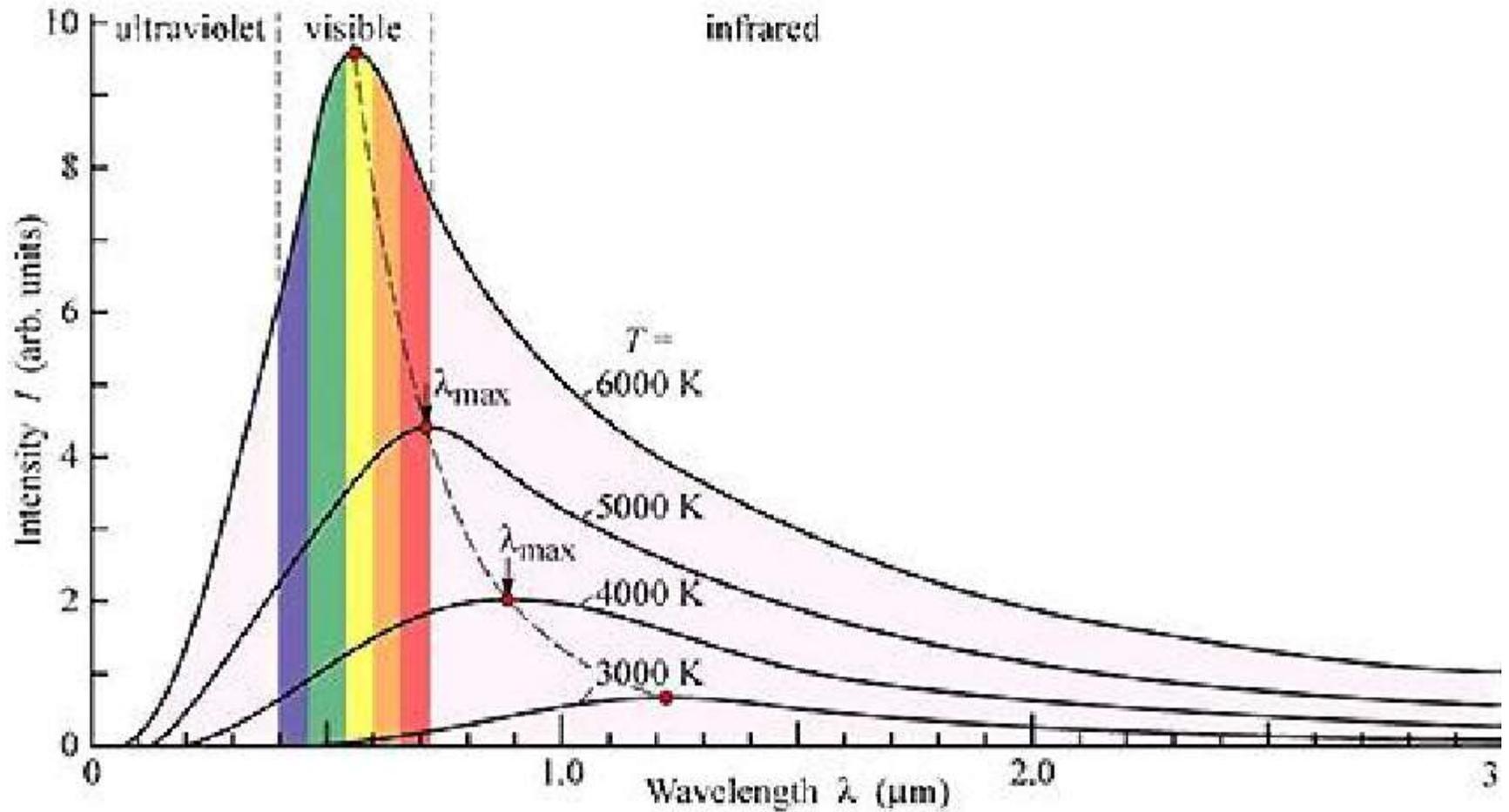
ESPECTRO SOLAR

FUERA DE LA ATMOSFERA: 1.360 W/m²

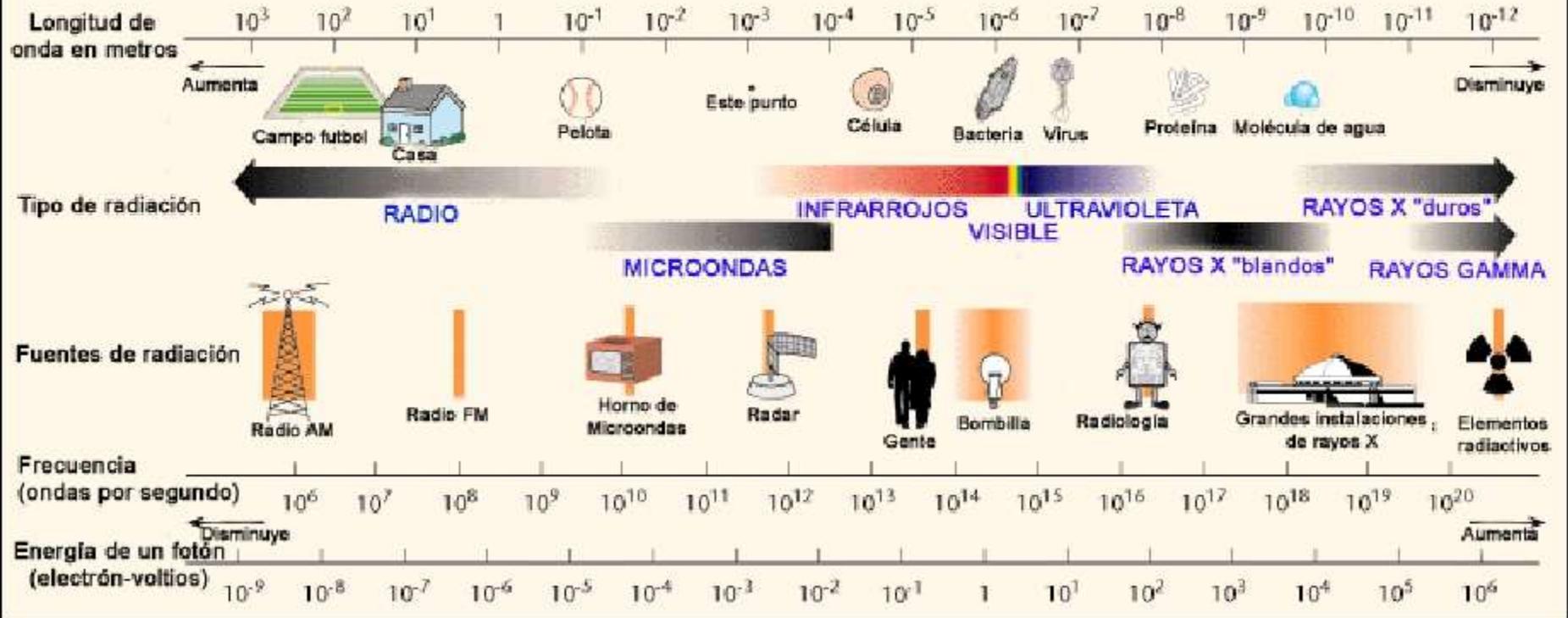


PRISMA

DESCOMPOSICION DE LA RADIACION SOLAR

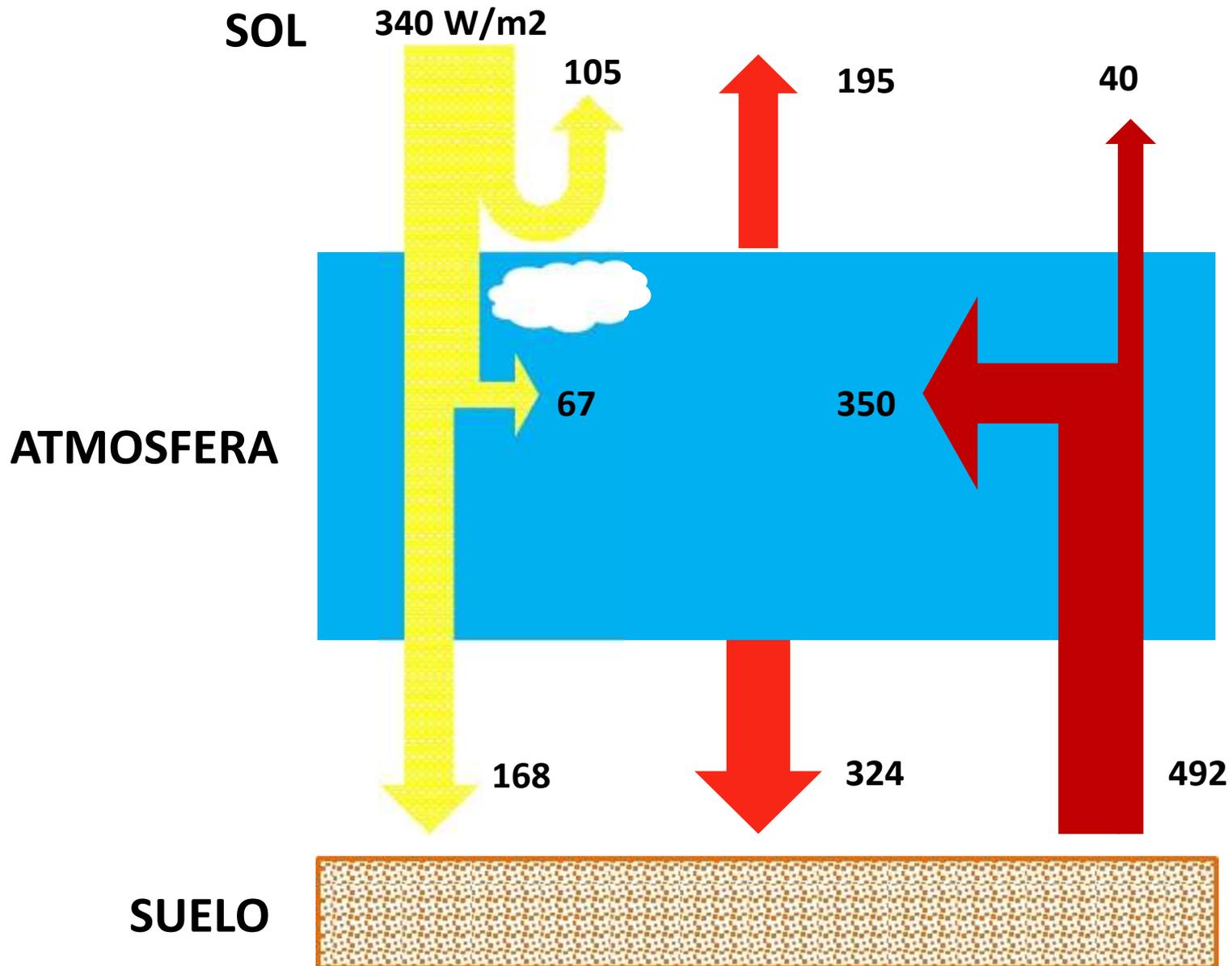


El espectro electromagnético



LA RADIACION SOLAR INTERACTUA CON LOS ATOMOS Y CON LOS ELECTRONES

BALANCE DE ENERGIA DE LA ATMOSFERA



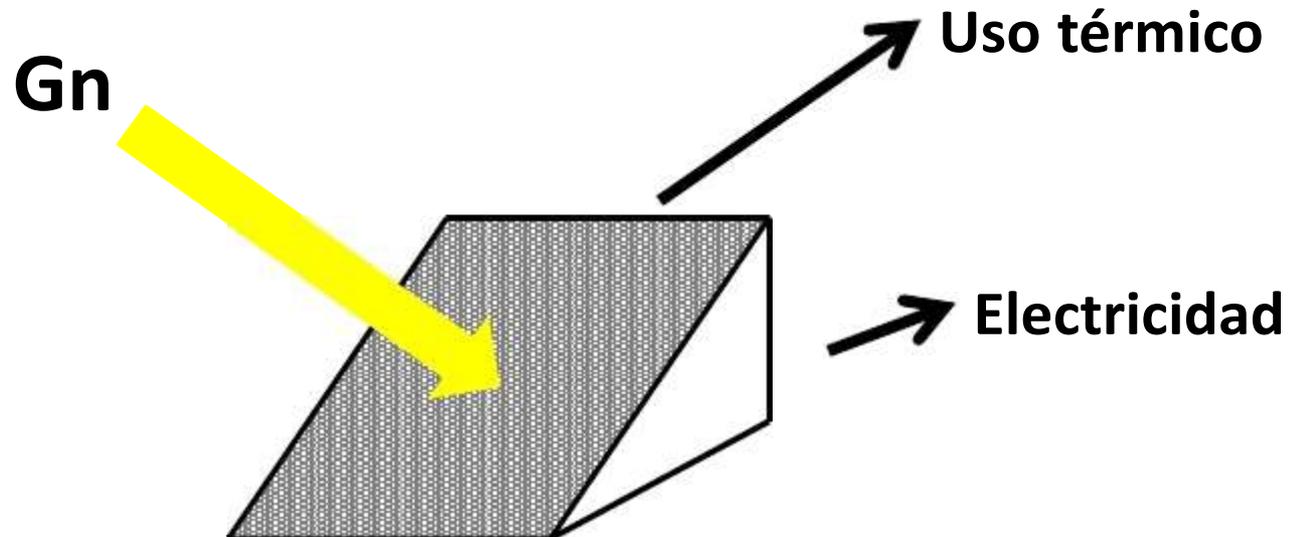
CUANTIFICACION DE LA ENERGIA SOLAR

$$P(\text{útil}) = \text{COP} * P(\text{solar})$$

$$P(\text{solar}) = \text{área captora} \times \text{Radiación Solar} = A \times G_n$$

A= área en m²

G_n= radiación solar perpendicular a la superficie en Watts/m².

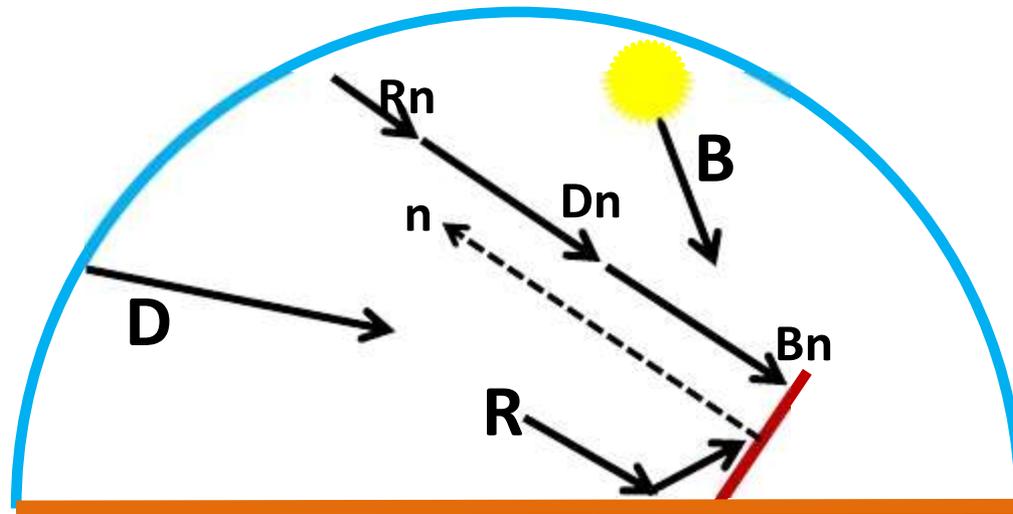


RADIACION SOLAR

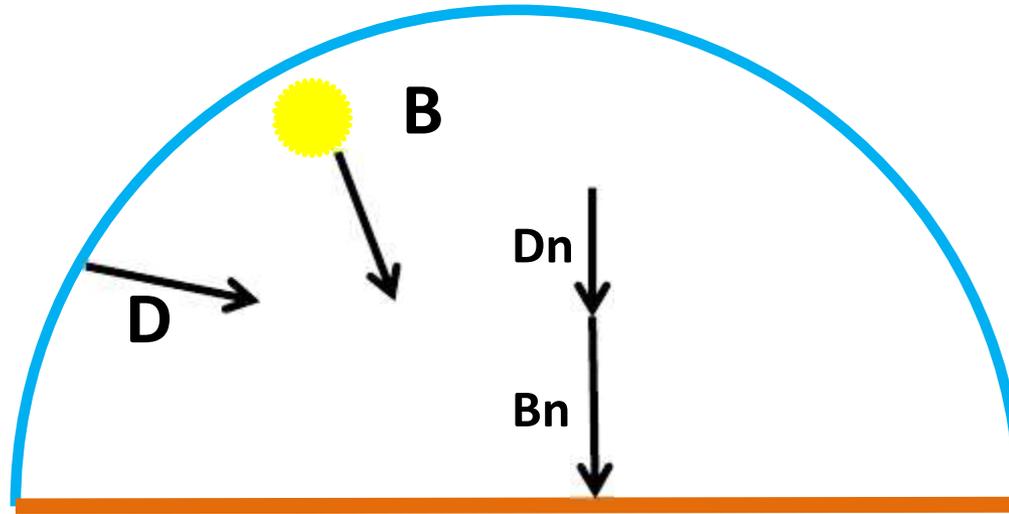
- RADIACION SOLAR DIRECTA (B): PROVIENE DEL DISCO SOLAR (PRODUCE SOMBRA)
- RADIACION SOLAR DIFUSA (D): PROVIENE DE LA BOVEDA CELESTE (CIELO AZUL O NUBES)
- REFLEJADA (R): PROVIENE DE EDIFICIOS, SUELO, ETC.

RADIACION SOLAR GLOBAL (G)

$$G_n = B_n + D_n + R_n$$



RADIACION SOLAR



$$G_n = B_n + D_n$$

Mediciones de la radiación solar: cada día.

Energía total incidente = G_n x horas-sol (kWh/m².día)

**La Paz: 5,6 kWh/m².día sobre una superficie horizontal
y 6 horas-sol.**

EJEMPLO 1

- Se requiere obtener 5 MW de electricidad en Oruro donde la radiación solar es de 6 kWh/m².día sobre una superficie inclinada 30° al norte y el promedio de horas-sol es de 5,7 horas/día. Calcular el área de captación que se requiere, si ésta tuviera un ángulo de 30° .

$$P(\text{útil}) = 5 \text{ MW} = 5.000.000 \text{ W}$$

$$G_n(30^\circ) = 6 \text{ kWh/m}^2 / 5,7\text{h} = 1,05 \text{ kW/m}^2 = 1.050 \text{ W/m}^2$$

$$P(\text{solar}) = A \times G_n(30^\circ) = A \times 1.050 \text{ W}$$

$$P(\text{útil}) = \text{COP} \times P(\text{solar})$$

$$5.000.000 = 0,16 \times A \times 1.050$$

$$A = 29.760 \text{ m}^2 \text{ (casi 3 hectáreas de paneles solares)}$$

EJEMPLO 2

- Se requiere calentar 100 litros de agua de 12° C a 32° C. en 4 horas en la ciudad de La Paz. Para ello se necesita 590 W de potencia. Calcular el área necesaria, si en La Paz la radiación solar es de 5,6 kWh/m².día sobre una superficie inclinada 30° al norte y el promedio de horas-sol es de 4,8 horas/día.

$$P(\text{útil}) = 590 \text{ W}$$

$$G_n(30^{\circ}) = 5,6 \text{ kWh/m}^2 / 4,8\text{h} = 1,16 \text{ kW/m}^2 = 1.160 \text{ W/m}^2$$

$$P(\text{solar}) = A \times G_n(30^{\circ}) = A \times 1.160 \text{ W}$$

$$P(\text{útil}) = \text{COP} \times P(\text{solar})$$

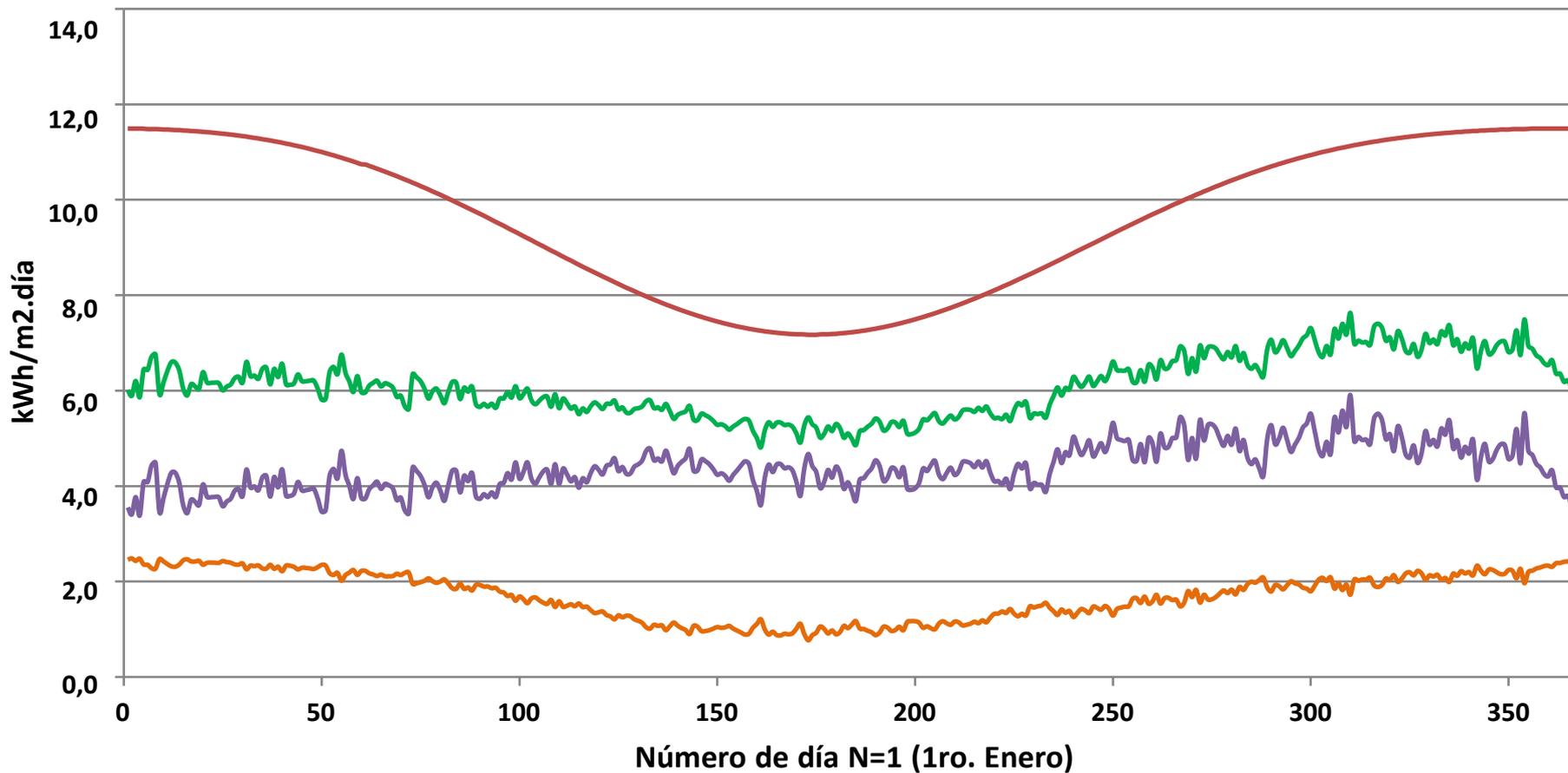
$$590 = 0,55 \times A \times 1.160$$

$$A = 0,98 \text{ m}^2 \text{ (casi 1 m}^2 \text{ de superficie captora)}$$

REPASO FINAL

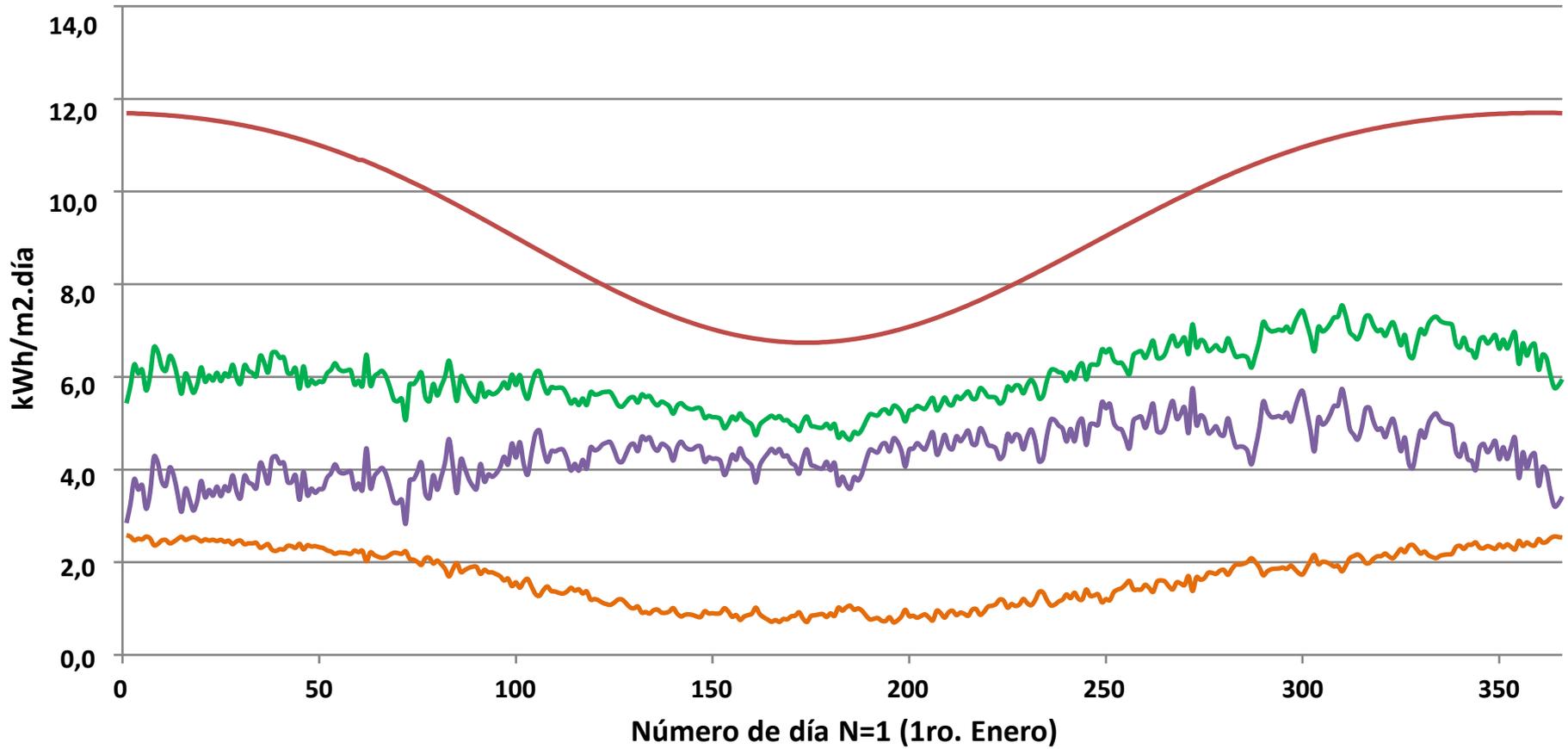
P(útil)	COP	P(solar)	Area	Gn	Horas-sol	Radiación solar(dato)
W	p.u.	W	m2	W/m2	h	kWh/m2.día
5.000.000,0	0,16	31.248.000,0	29.760,0	1.050,0	5,7	6,0
580,0	0,55	1.136,8	1,0	1.160,0	4,8	5,6

Radiación Extraterrestre, Global, Directa y Difusa Horizontal
Año Típico (periodo: 1983 a 2006) (en kWh/m²-día)
Localidad: La Paz



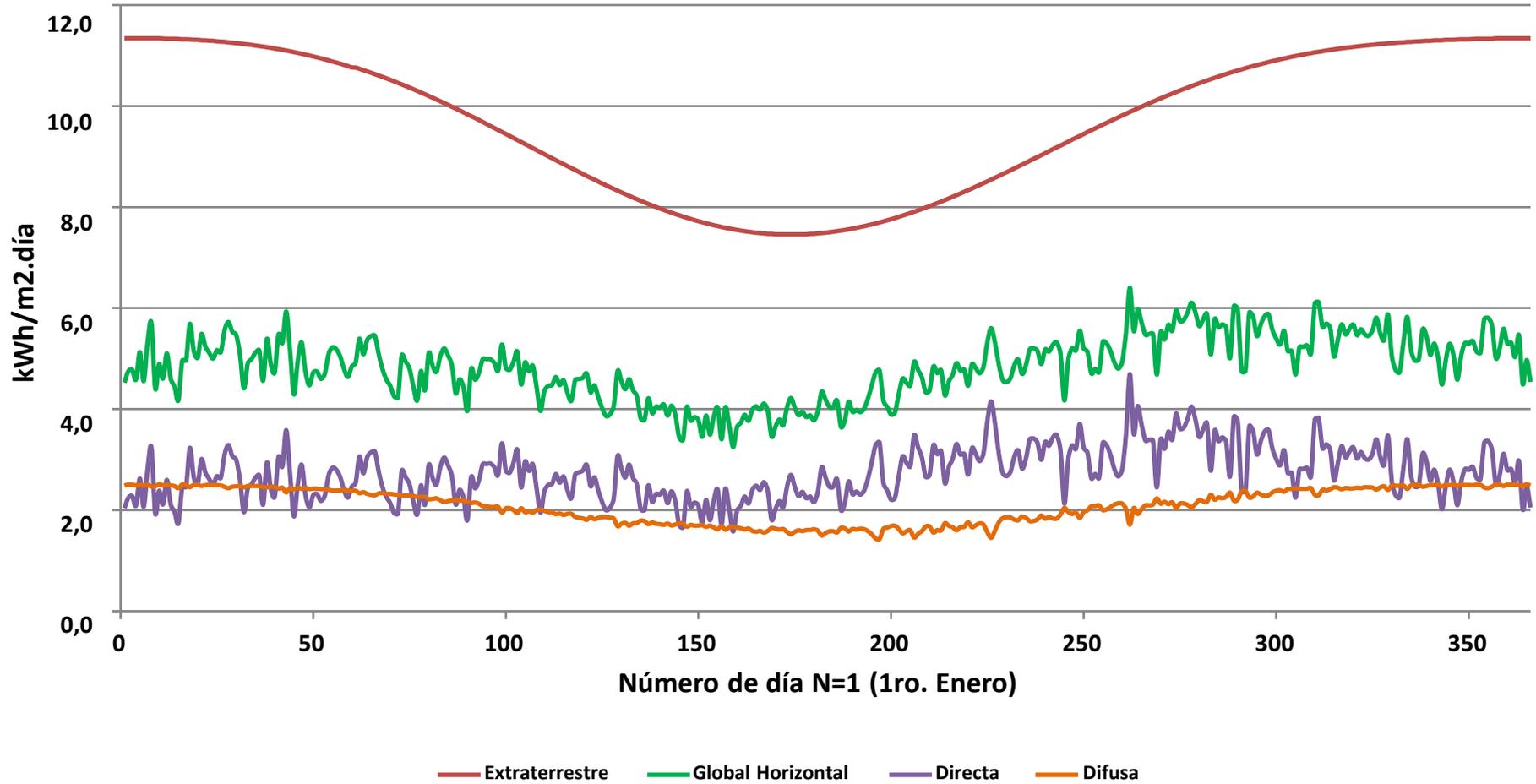
— Extraterrestre — Global Horizontal — Directa — Difusa

Radiación Extraterrestre, Global, Directa y Difusa Horizontal
Año Típico (periodo: 1983 a 2006) (en kWh/m²-día)
Localidad: Potosi

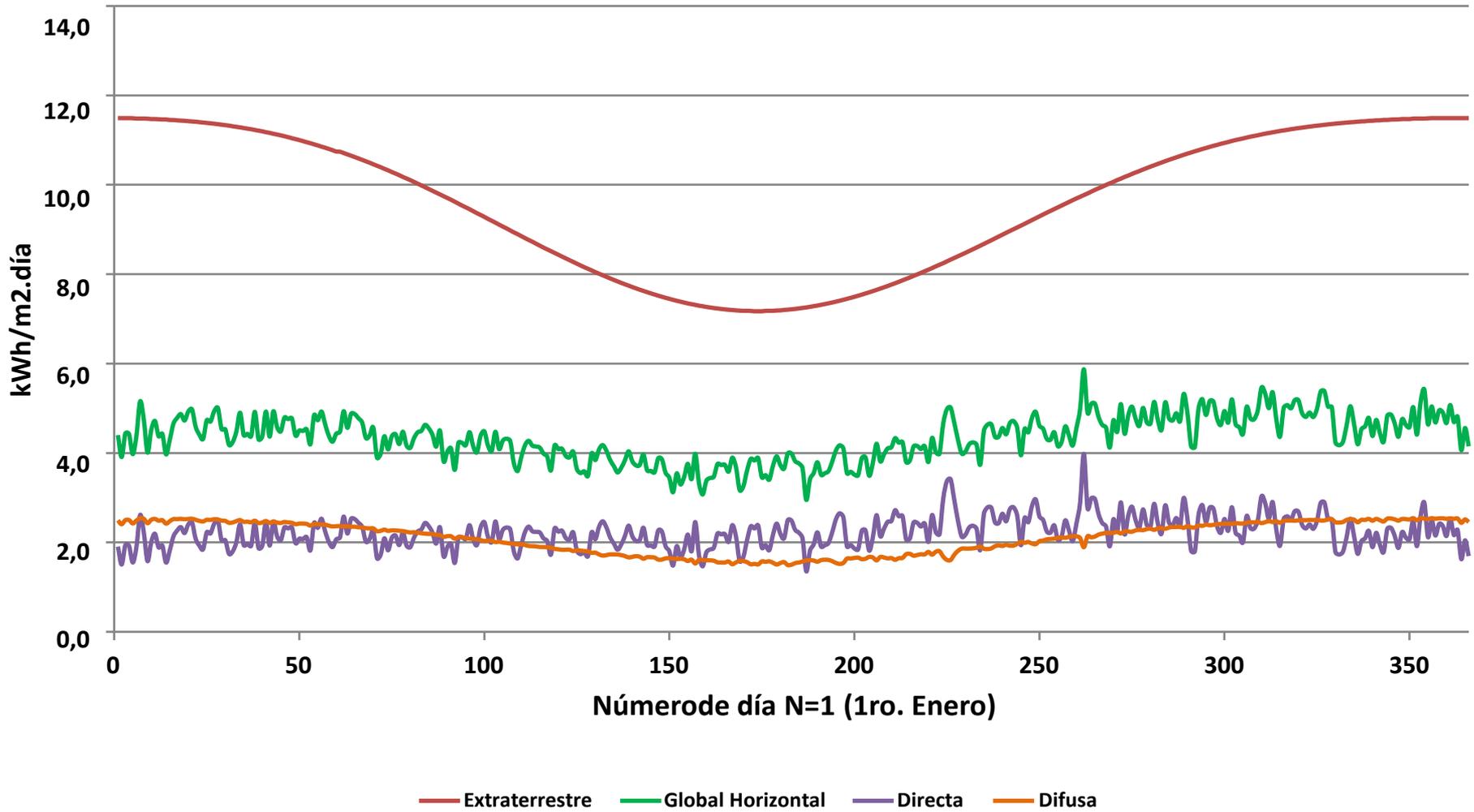


— Extraterrestre — Global Horizontal — Directa — Difusa

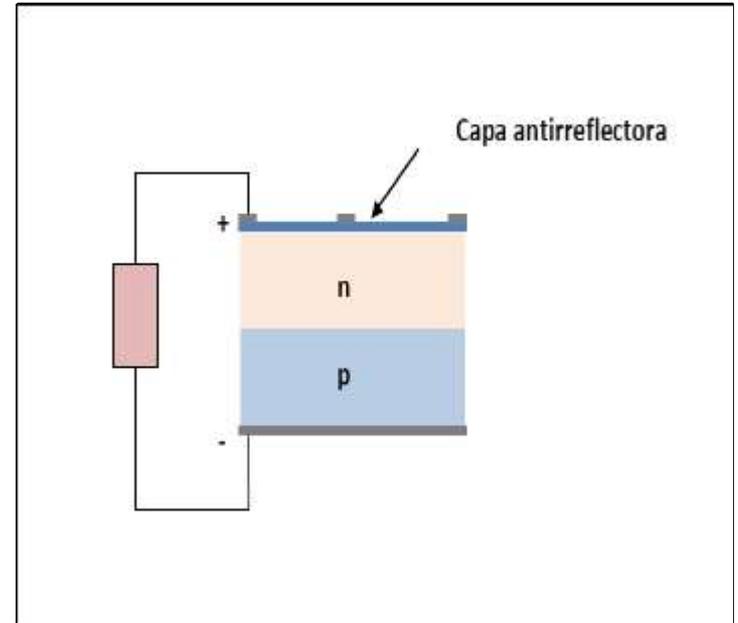
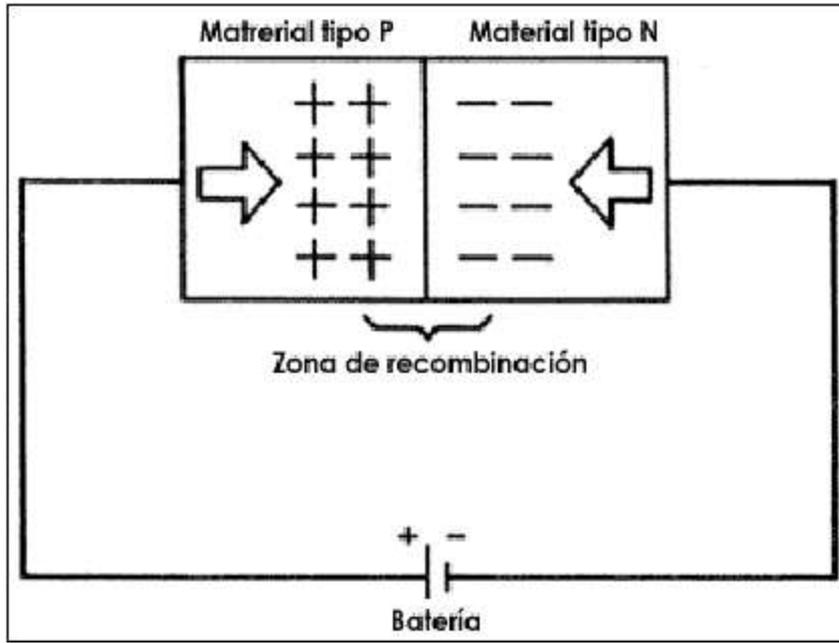
Radiación Extraterrestre, Global, Directa y Difusa Horizontal
Año Típico (periodo: 1983 a 2006) (en kWh/m²-día)
Localidad: San Borja



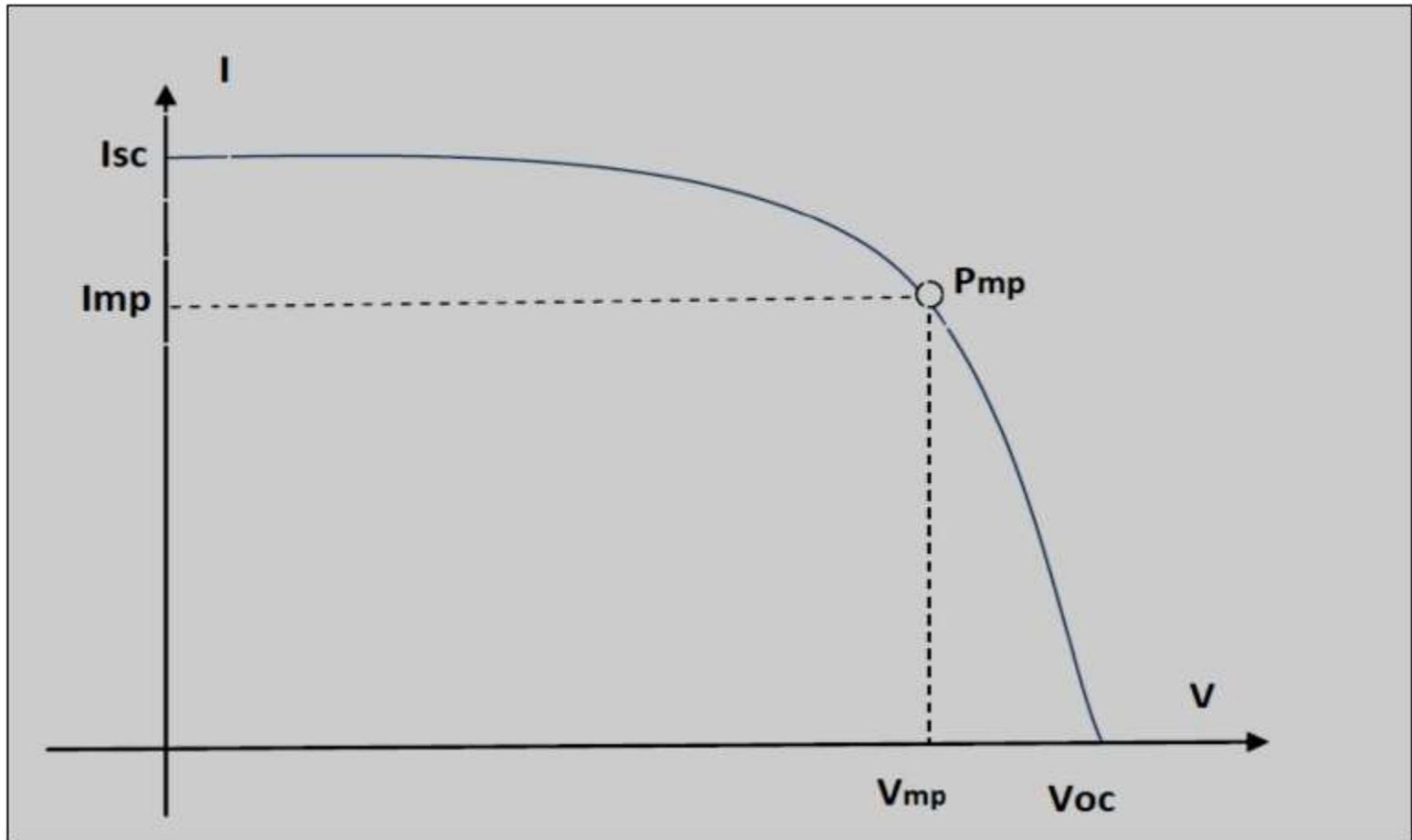
Radiación Extraterrestre, Global, Directa y Difusa Horizontal
Año Típico (periodo: 1983 a 2006) (en kWh/m2-día)
Localidad: Villa Tunari



ENERGIA SOLAR EN ELECTRICIDAD



Potencia Efectiva = Voltaje * Corriente = COP*A*Gn



$$\text{Corriente} = \text{Corriente}_{(\text{diodo})} * \left(e^{-\frac{I(V_{oc}-V)}{mkT}} - 1 \right)$$

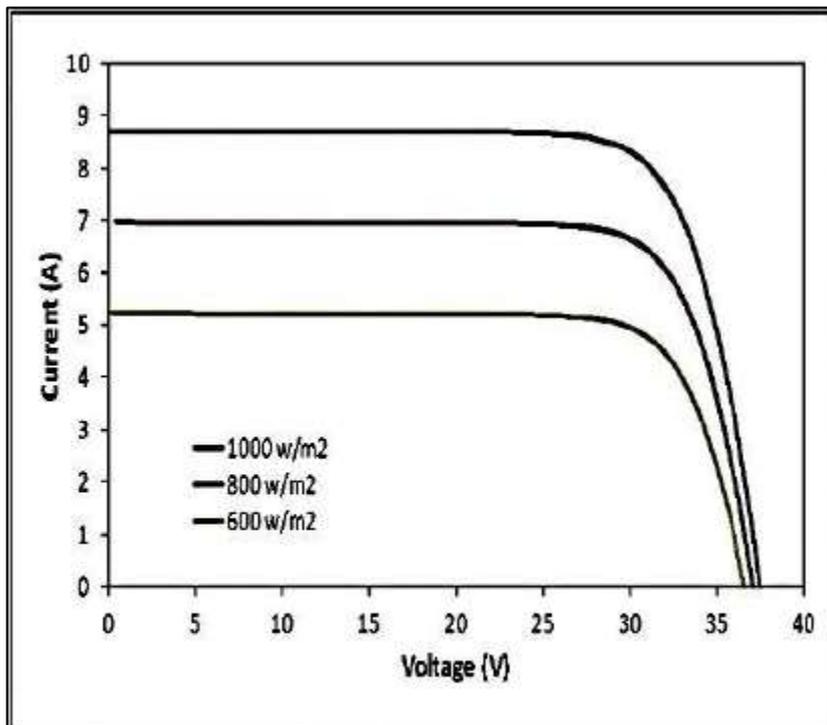


Figura Fa. Curvas I-V para distintos valores de la irradiancia solar
Temperatura constante de la célula (25° C)

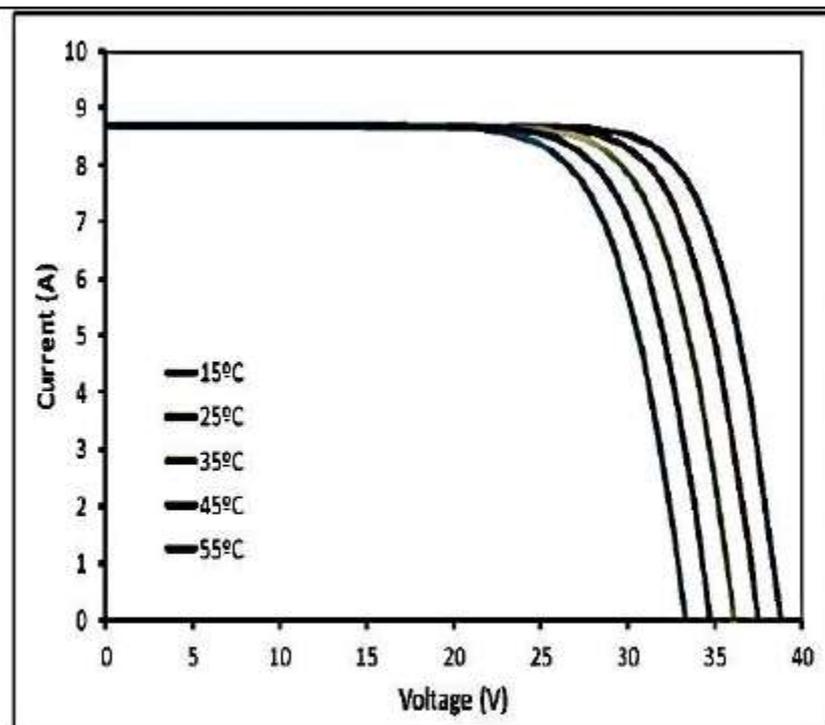
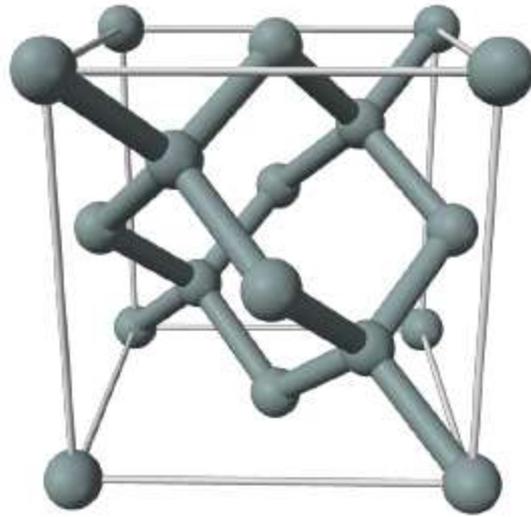
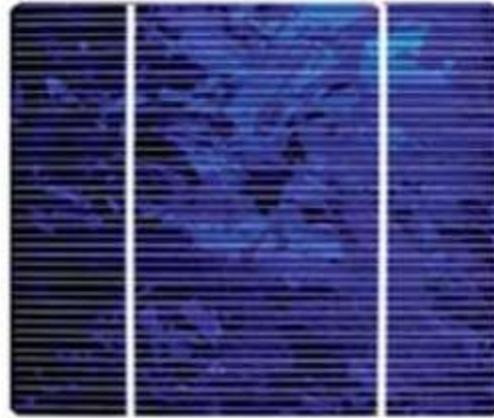


Figura Fb. Curvas I-V para distintas temperatura de la célula
Valor de irradiancia solar constante (1000 W/m²)



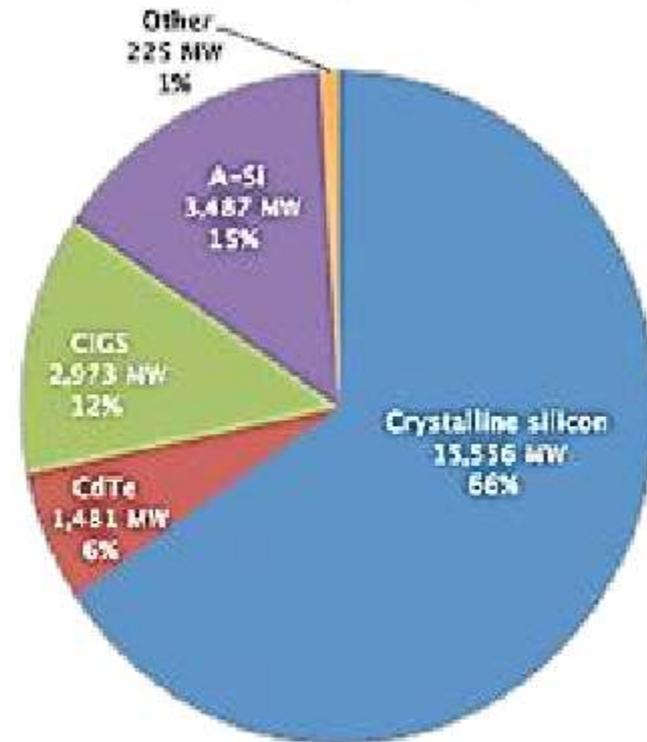
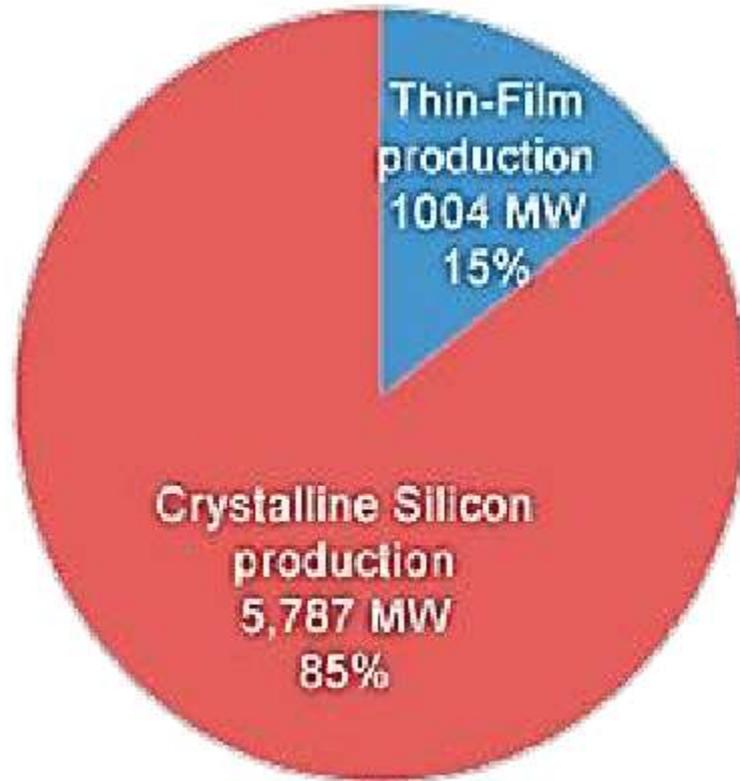
Mono



Poly



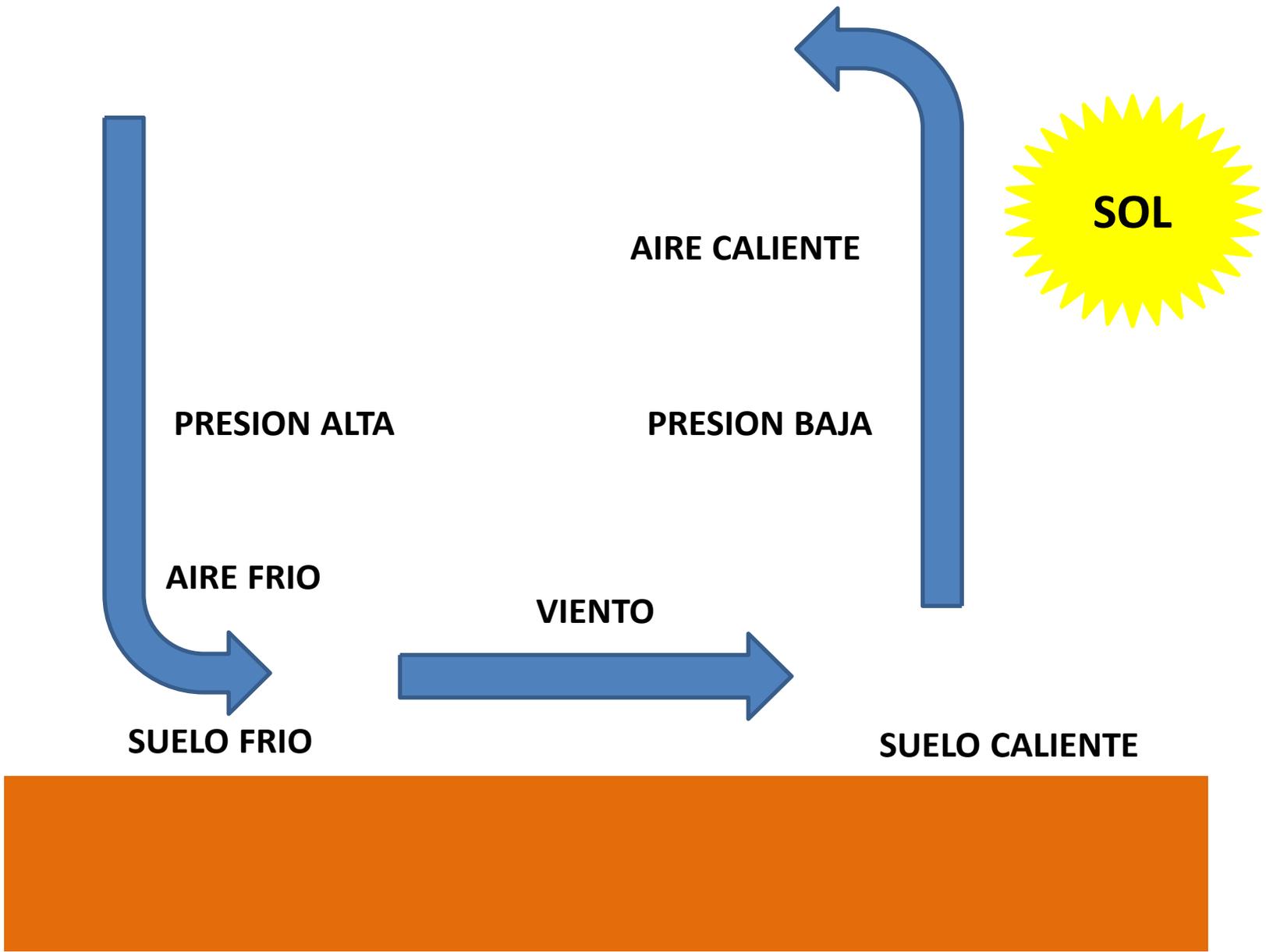
Thin Film



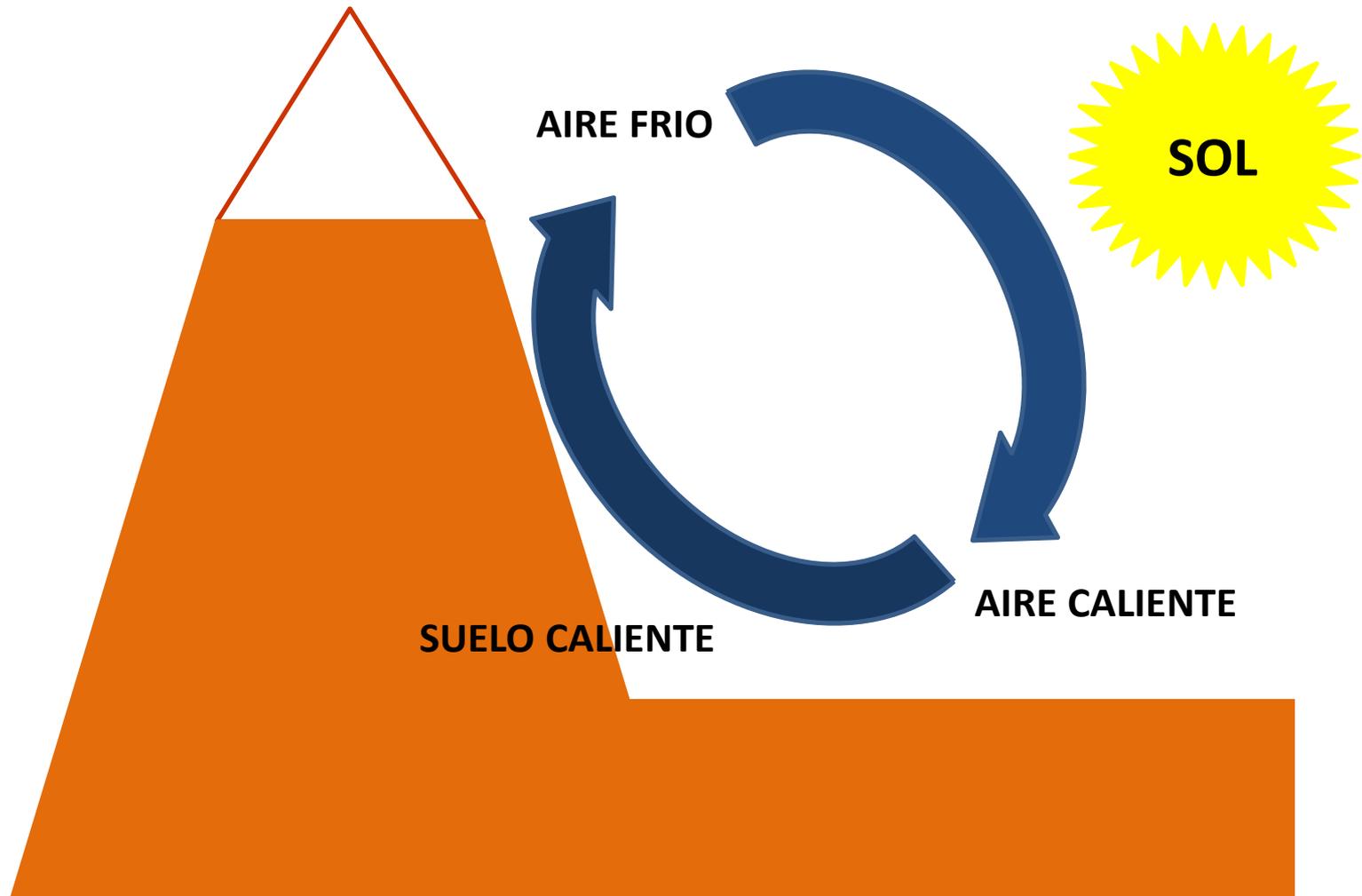
Note: Production volumes include wafer, cell, or module conversion, not including feedback and demand limitations.

ENERGIA EOLICA

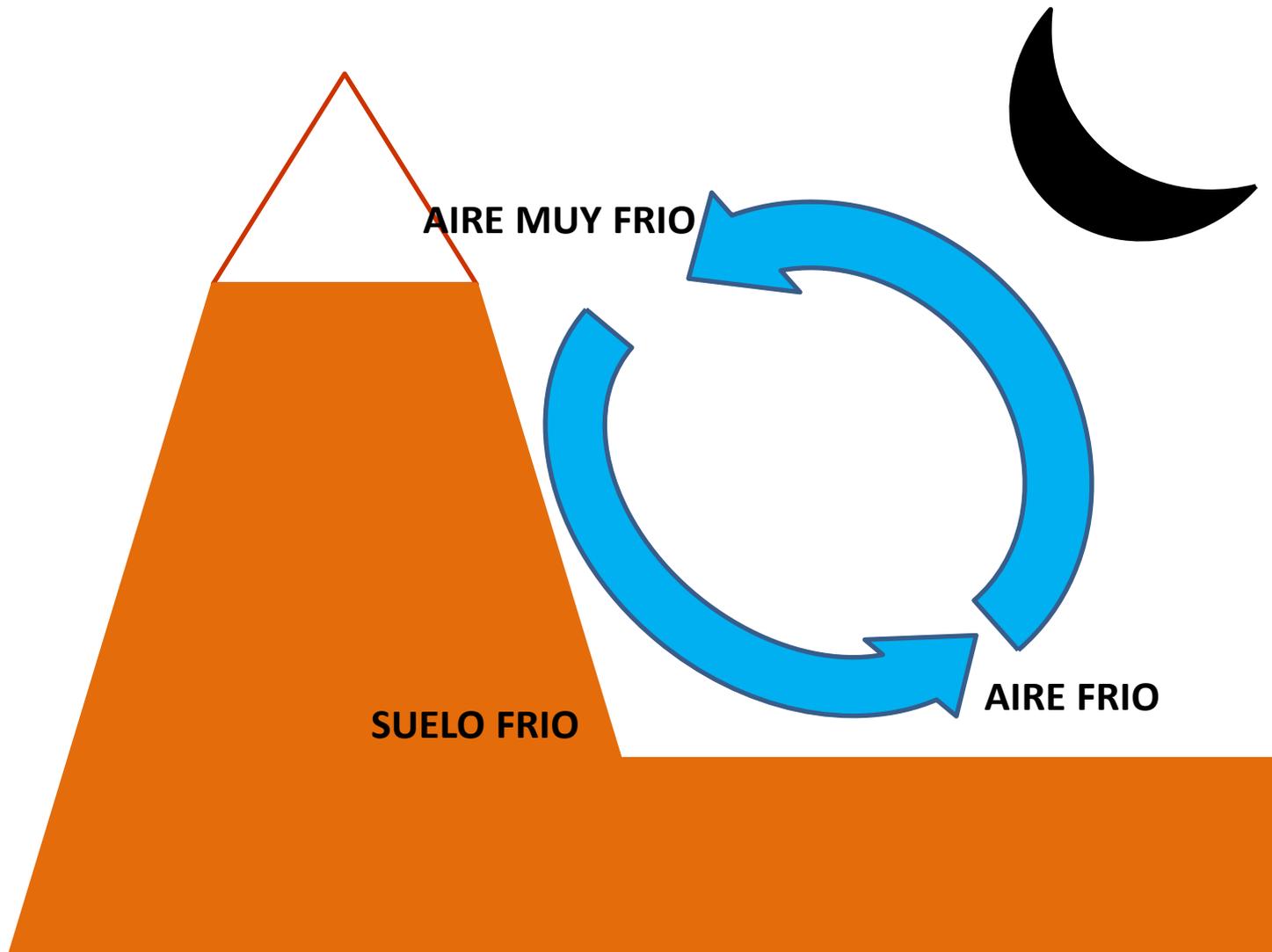
CIRCULACION DEL AIRE



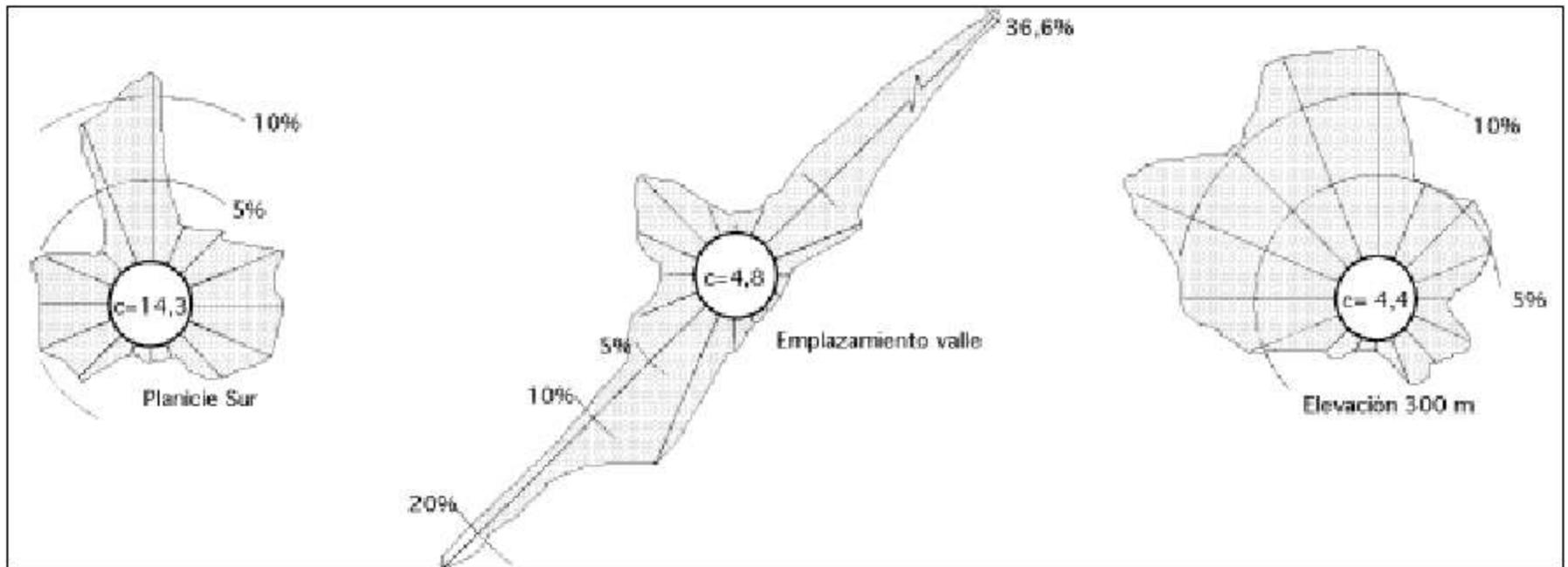
CIRCULACION DEL AIRE DE MONTAÑA ASCENDENTE DURANTE EL DIA



CIRCULACION DEL AIRE DE MONTAÑA DESCENDENTE DURANTE LA NOCHE



- El viento viene definido por dos parámetros esenciales que son, su dirección y su velocidad.



$$P(\text{útil}) = \text{COP} * P(\text{eólica})$$

$$P(\text{eólica}) = \frac{1}{2} * \rho * V^3 * A \quad (\text{en W})$$

ρ = densidad del aire (kg/m³)

V = velocidad media viento (m/s)

A = área de barrido (m²)

QOLLPANA

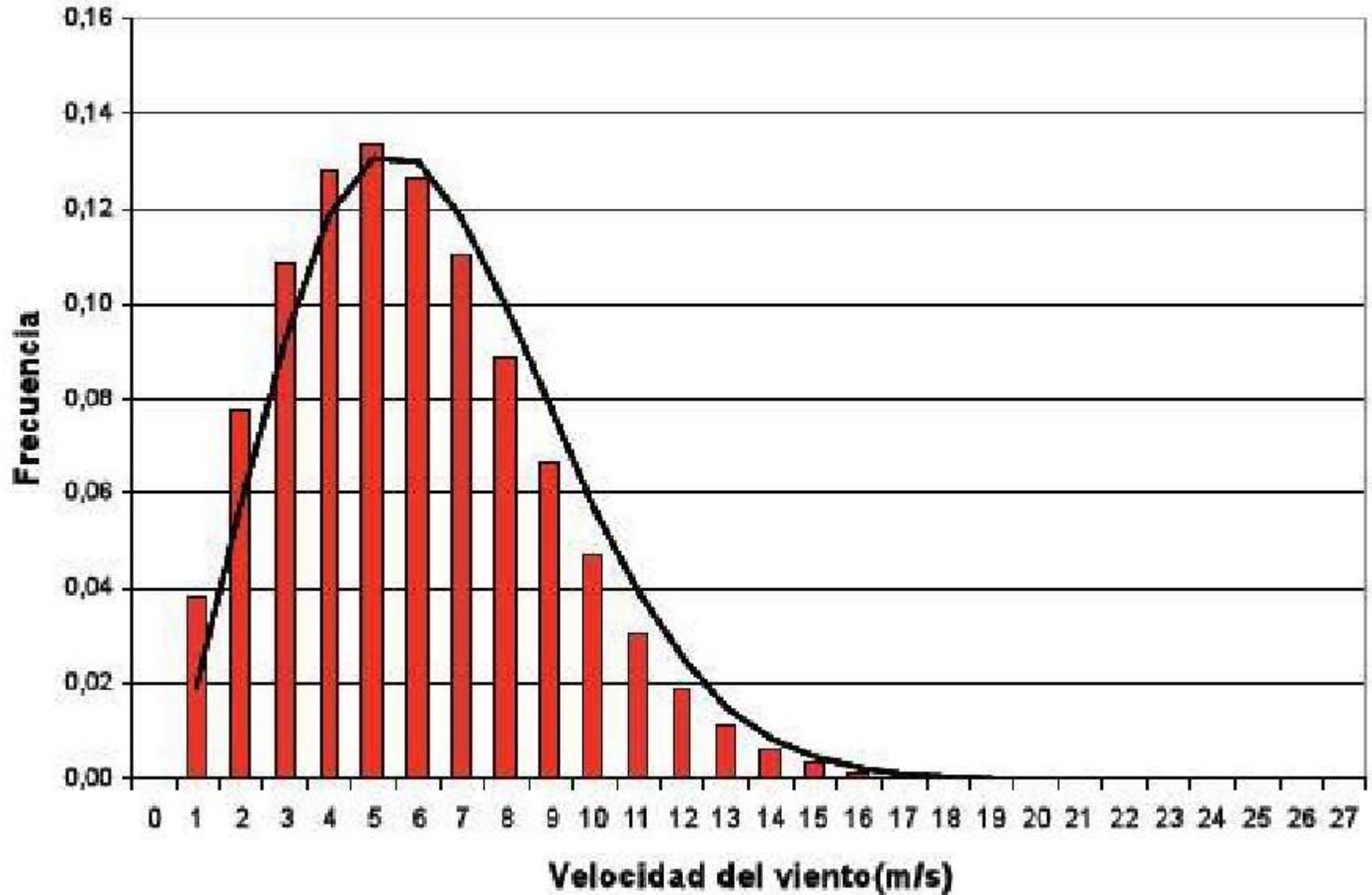
Estimar la cantidad de potencia útil que se puede extraer de Qollpana si se utilizan 12 torres eólicas, cada una de 55 m de radio, siendo que el promedio del viento es de 8,3 m/s y la densidad del aire es de 1,03 kg/m³.

CALCULOS QOLLPANA

P(útil)	P(útil)	COP	Densidad	Velocidad	Area	Radio
MW	W	p.u.	kg/m3	m/s	m2	m
21,9	21.948.502,1	0,33	1,02	8,3	114.039,8	55,0
2,6	2.645.587,8	0,33	1,02	4,1	114.039,8	55,0
175,6	175.588.016,7	0,33	1,02	16,6	114.039,8	55,0

Númerode Beaufort	Velocidaddel viento(km/h)	Velocidaddel viento(m/s)	Denominación	Efectosentierra
0	0a1	0a0,27	Calma	Calma,elhumoasciende verticalmente
1	2a5	0,55a1,38	Brisamuy suave	Elhumoindicaladireccióndel viento
2	6a11	1,66a3,05	Brisamuydébil	Secaenlashojasdelosárboles, empiezanamoverselosmolinosde loscampos
3	12a19	3,33a5,27	Brisaligera	Seagitanlashojas,ondulanlas banderas
4	20a28	5,55a7,77	Brisa moderada	Selevantapolvoypapeles,se agitanlascopasdelosárboles
5	29a38	8,05a10,5	Brisafresca	Pequeñosmovimientosdelos árboles,superficedeloslagos ondulada
6	39a49	10,8a13,6	Brisafuerte	Semuevenlasramasdelos árboles,dificultadparamantener abiertoelparaguas.
7	50a61	13,8a16,9	Vientofuerte	Semuevenlosárbolesgrandes, dificultadparacaminarcontrael viento
8	62a74	17,2a20,5	Vientoduro	Sequebranlascopasdelos árboles,circulacióndepersonas muydificultosa
9	75a88	20,8a24,4	Vientomuy duro	Dañosenárboles,imposibleandar contraelviento
10	89a102	24,7a28,3	Temporal	Árbolesarrancados,dañosenla estructuradelasconstrucciones
11	103a117	28,6a32,5	Borrasca	Destrucciónentodaspertes,lluviass muyintensass,inundacionesmuy altas

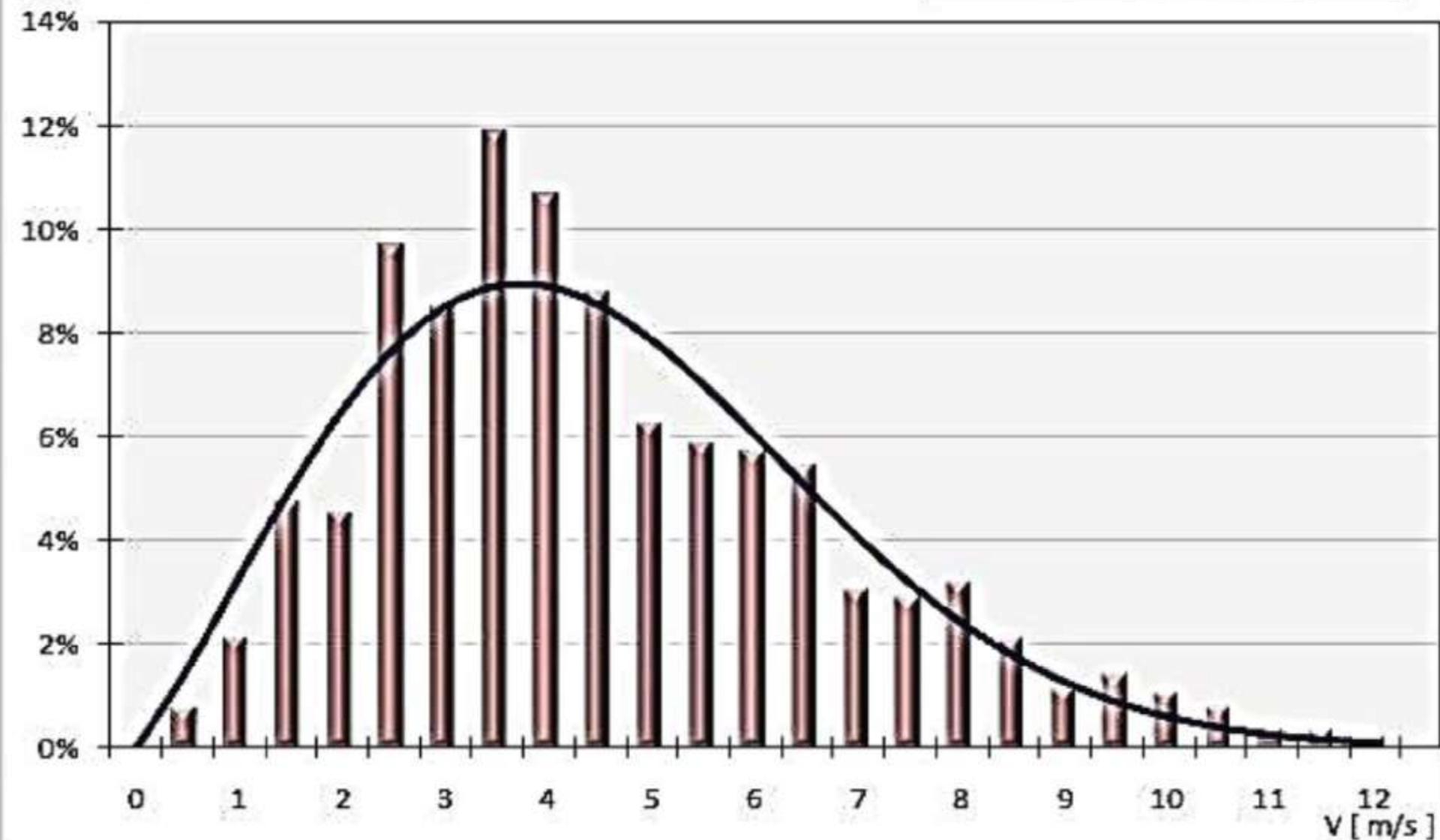
LA DISTRIBUCION DE WEIBULL



Distribución de Weibull

Distribución velocidades
Distribución Weibull

Frecuencia



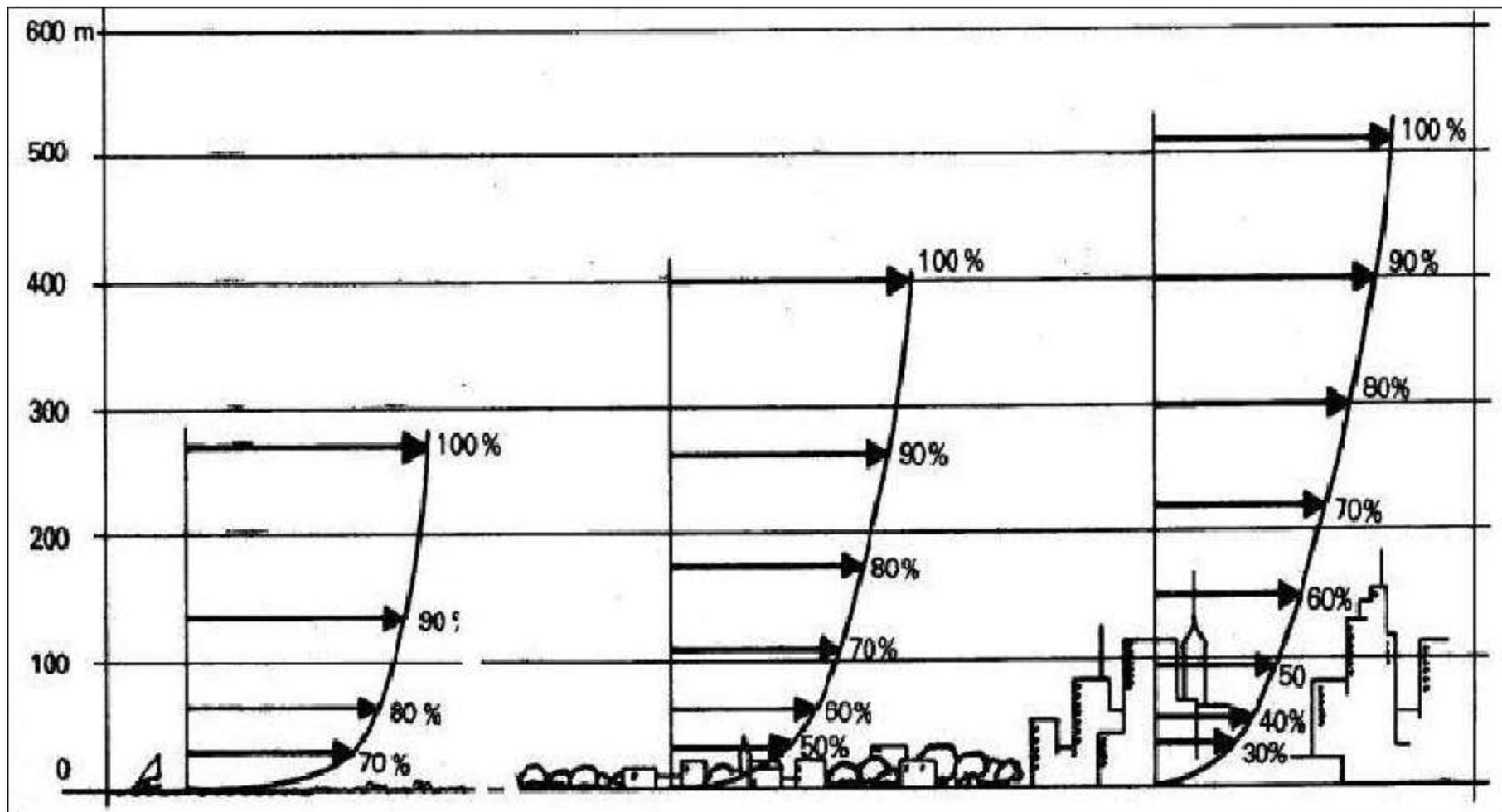
LA LEY DE BETZ

- EXTRAER ENERGIA DE LA CINETICA DEL VIENTO Y NO DE LA PRESION
- SUSTENTACION SOBRE LA PALA

$$\text{Potencia útil} = \frac{16}{27} * \frac{1}{2} * \rho * V_3^3$$

$$\text{COP max} = \frac{16}{27} = 59\%$$

PERFIL DEL VIENTO A NIVEL DEL SUELO



ELECTRICIDAD A PARTIR DEL VIENTO

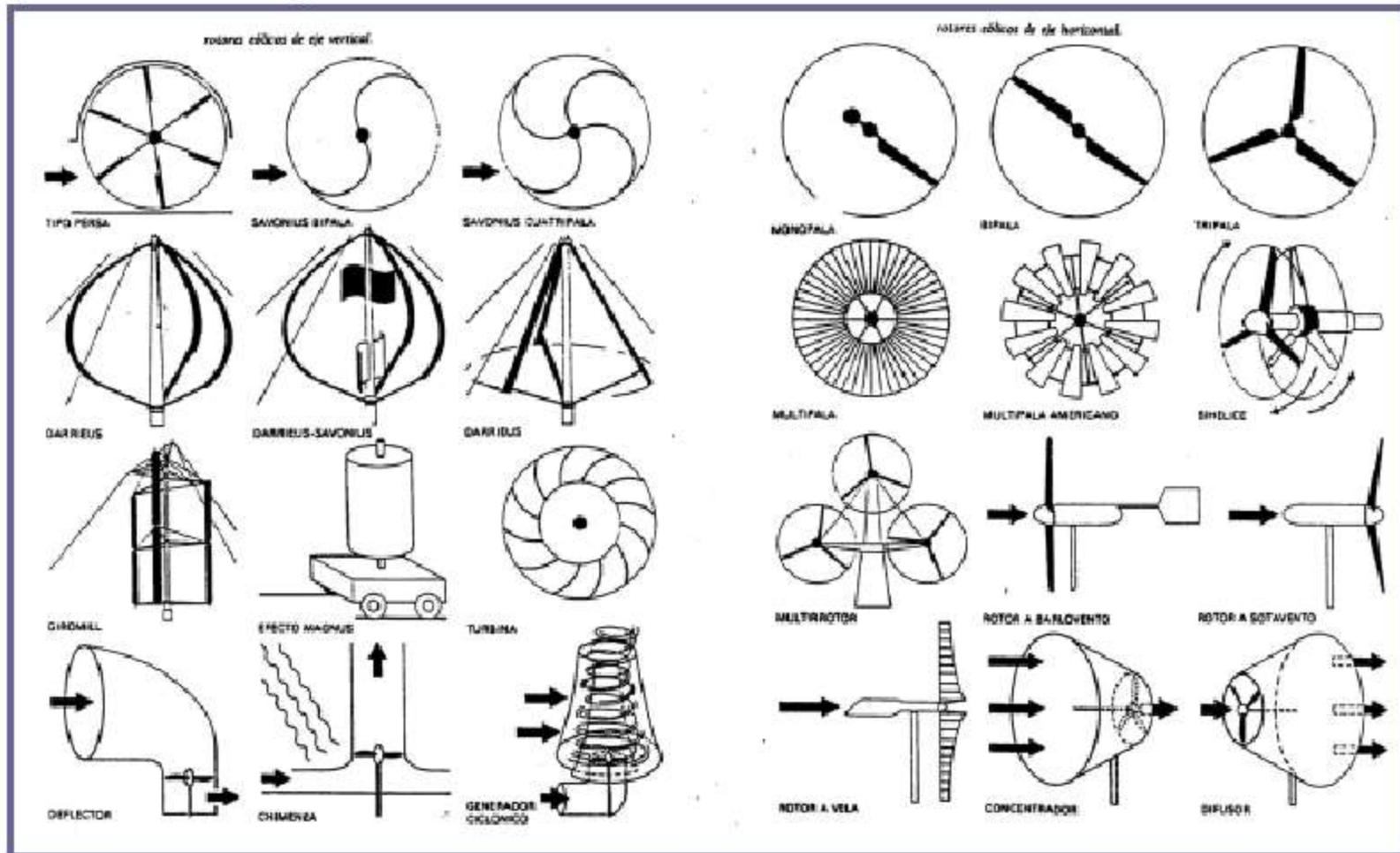




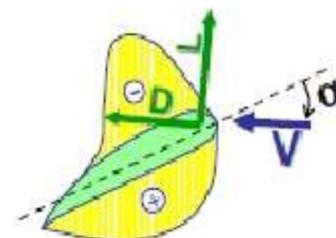
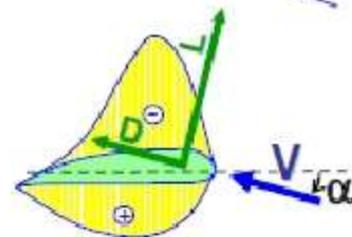
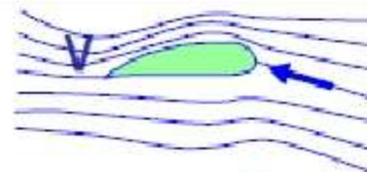
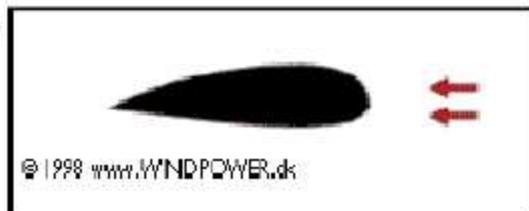
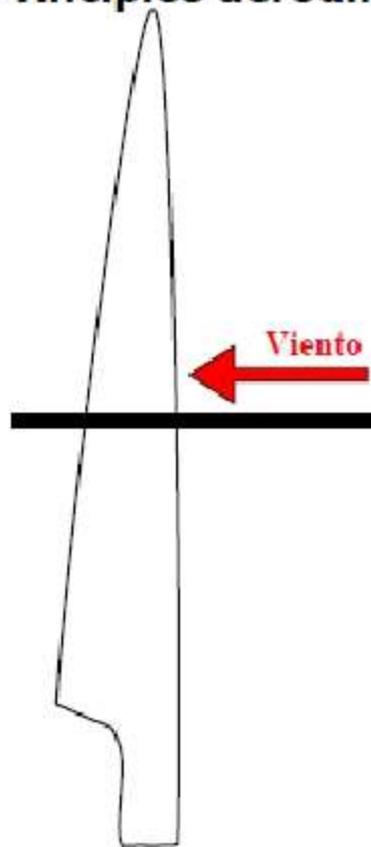


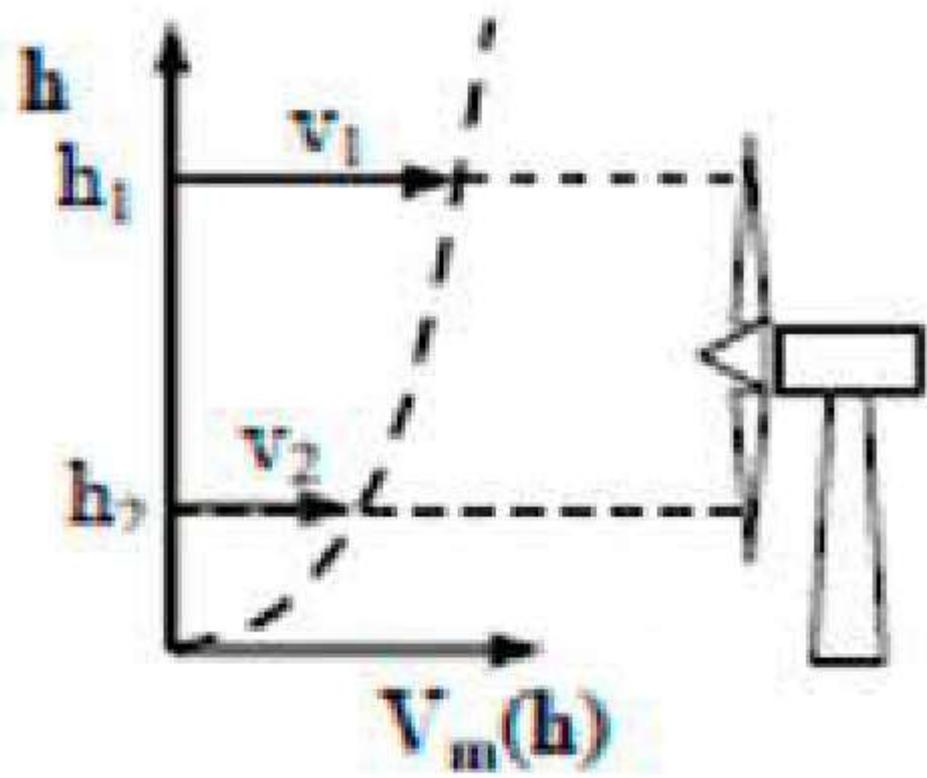


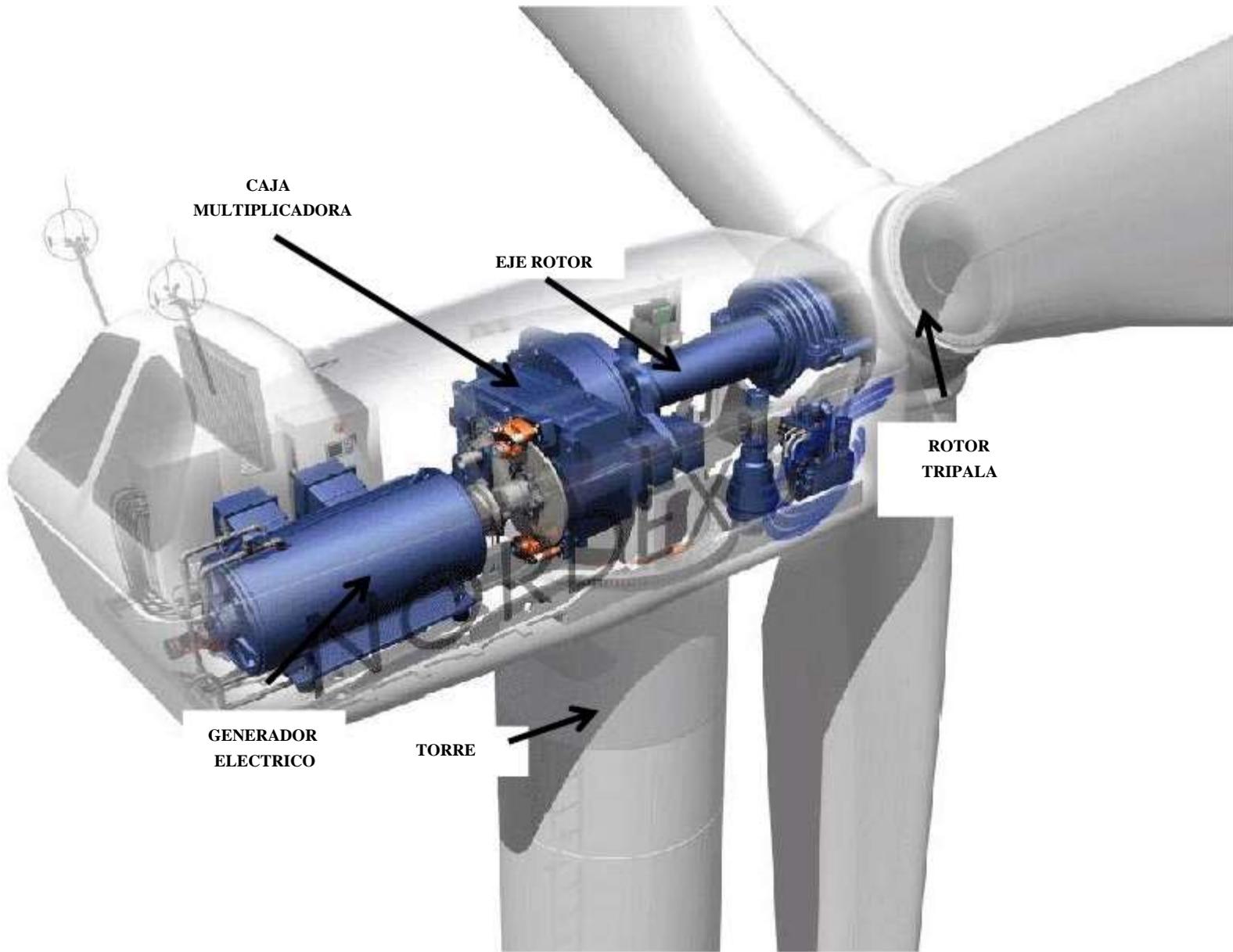
Tipos de aerogeneradores



Principios aerodinámicos. Perfiles aerodinámicos.







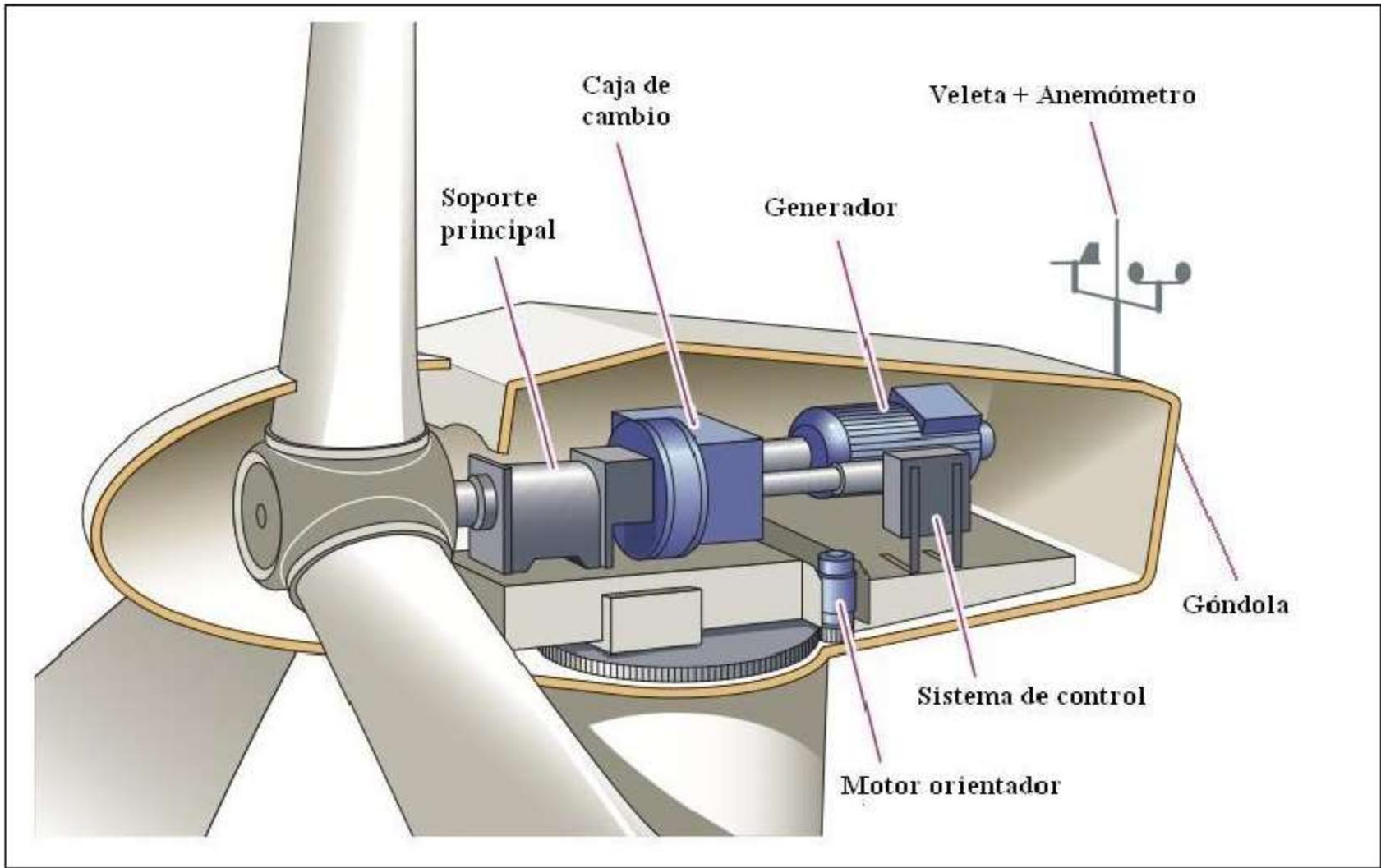
CAJA
MULTIPLICADORA

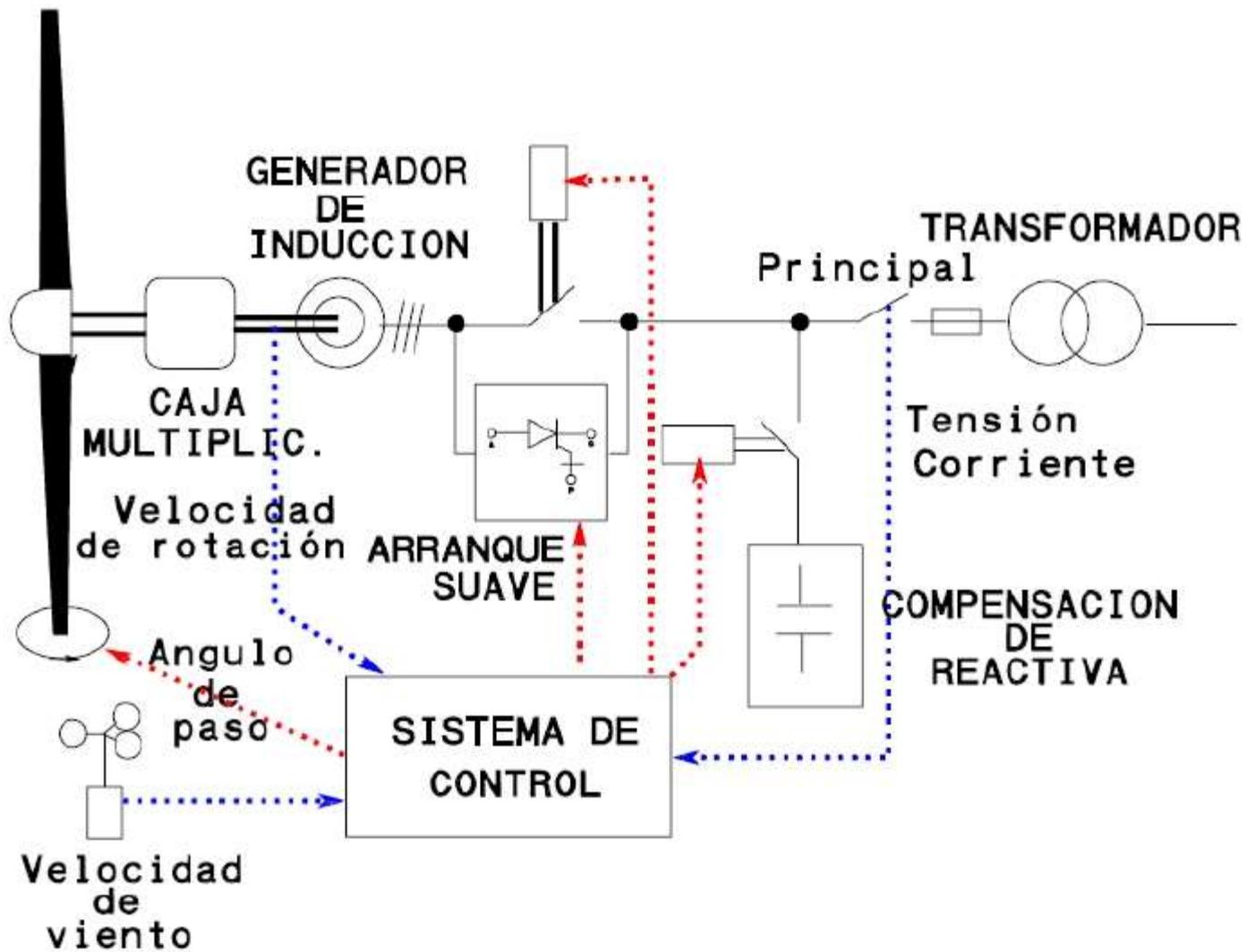
EJE ROTOR

ROTOR
TRIPALA

GENERADOR
ELECTRICO

TORRE

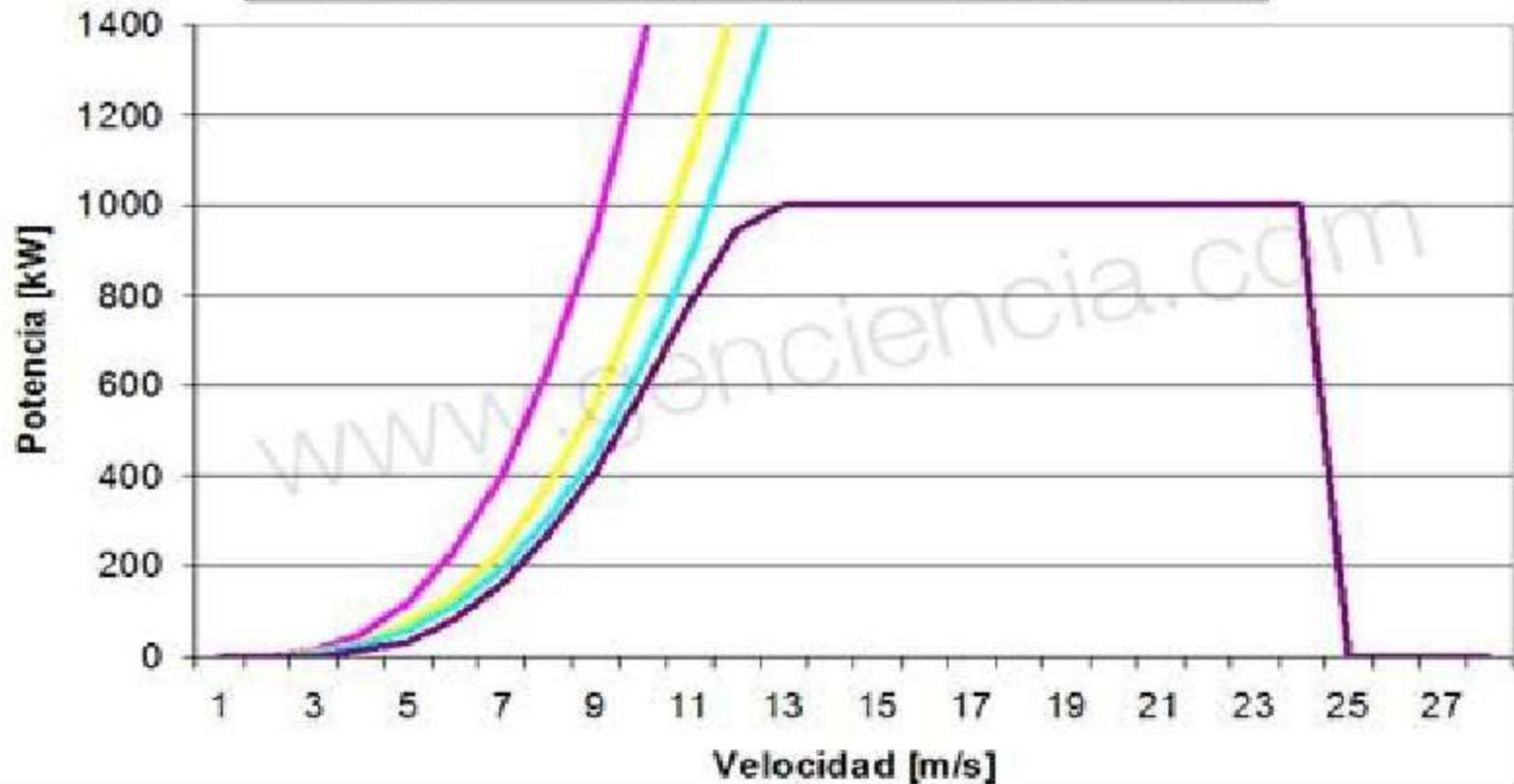




Potencia del aerogenerador

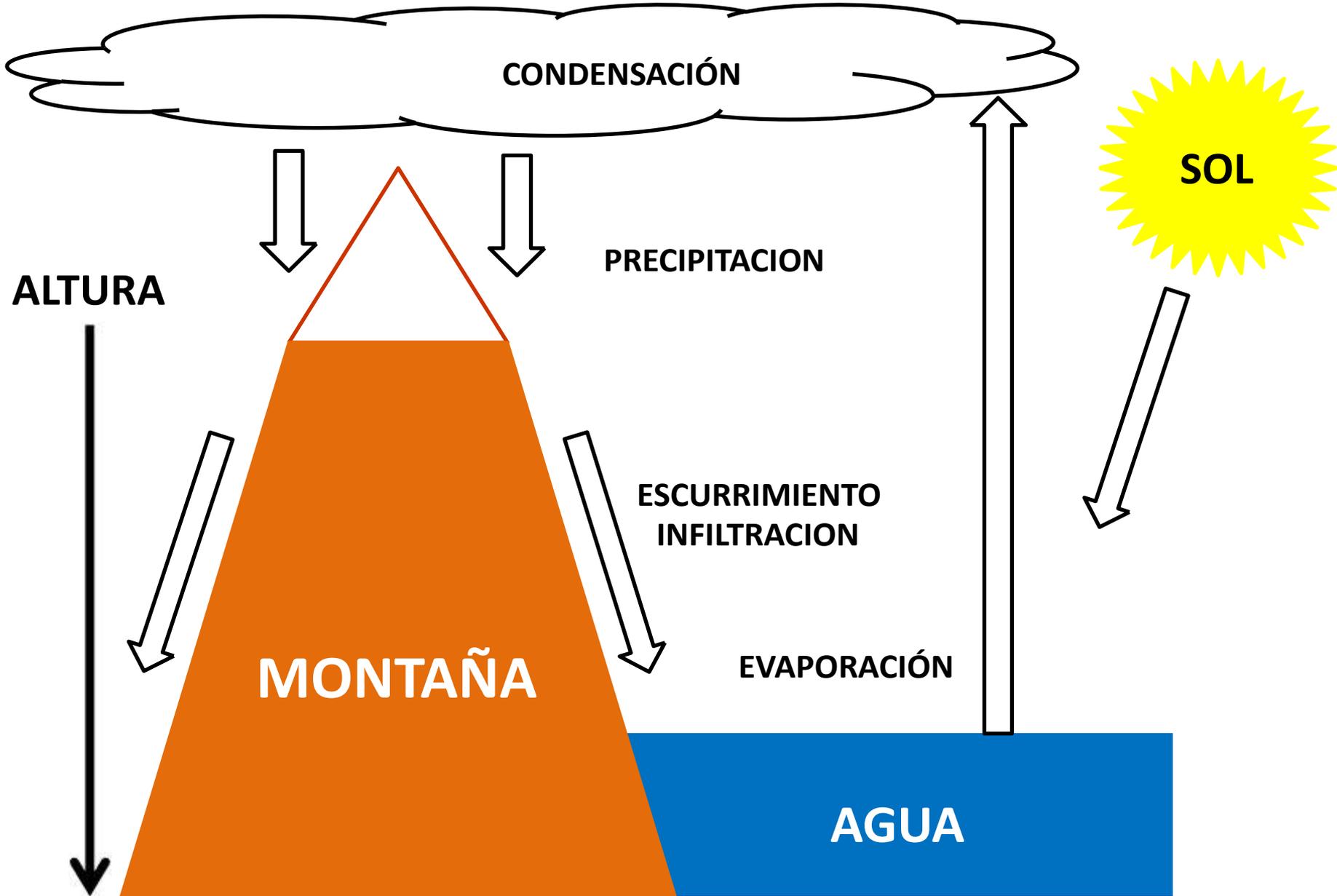
Densidad del aire = 1,225 kg/m³, diámetro = 62 m, modelo real DeWind D62

Disponibile Máxima teórica Realista Real



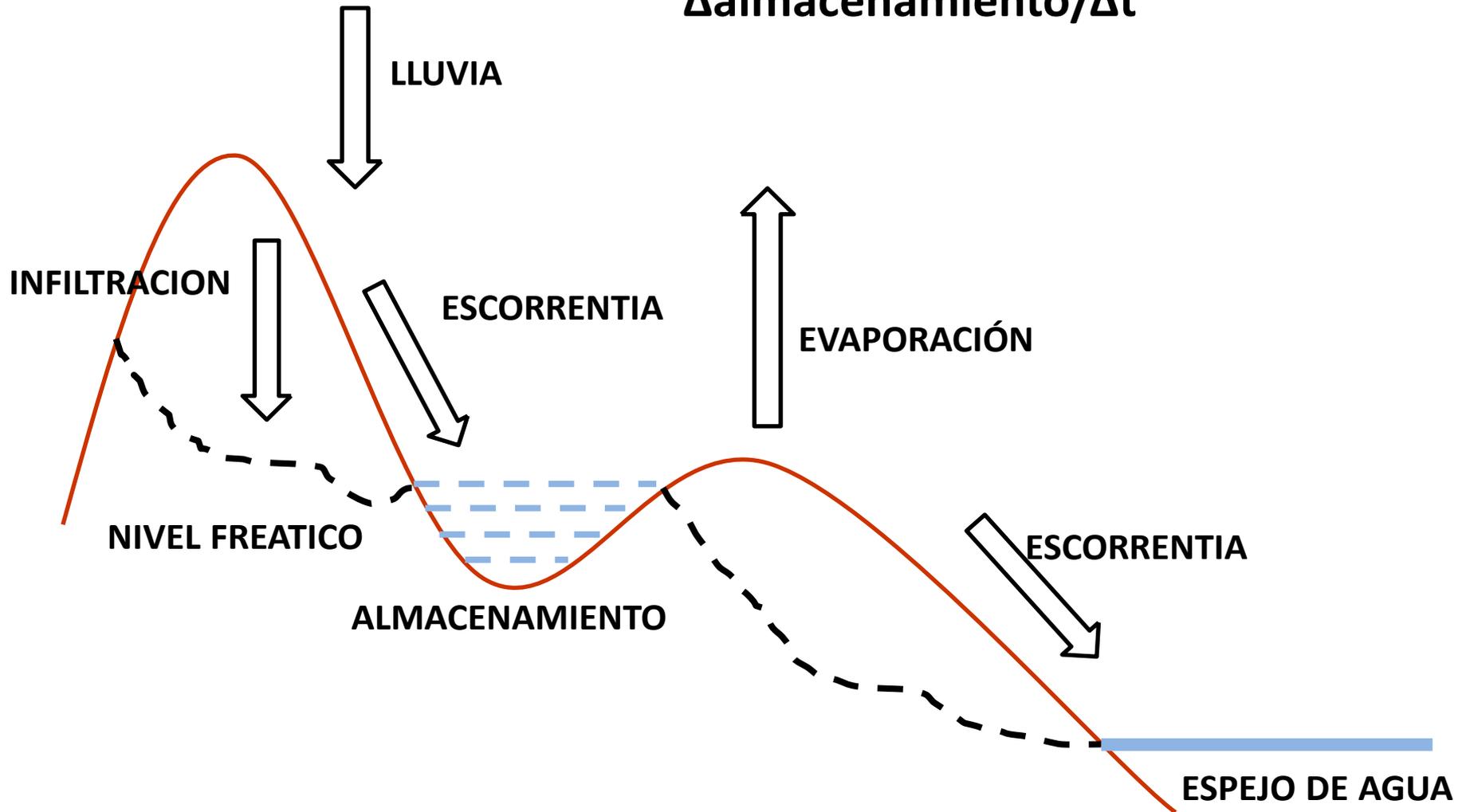
ENERGIA HIDRAULICA

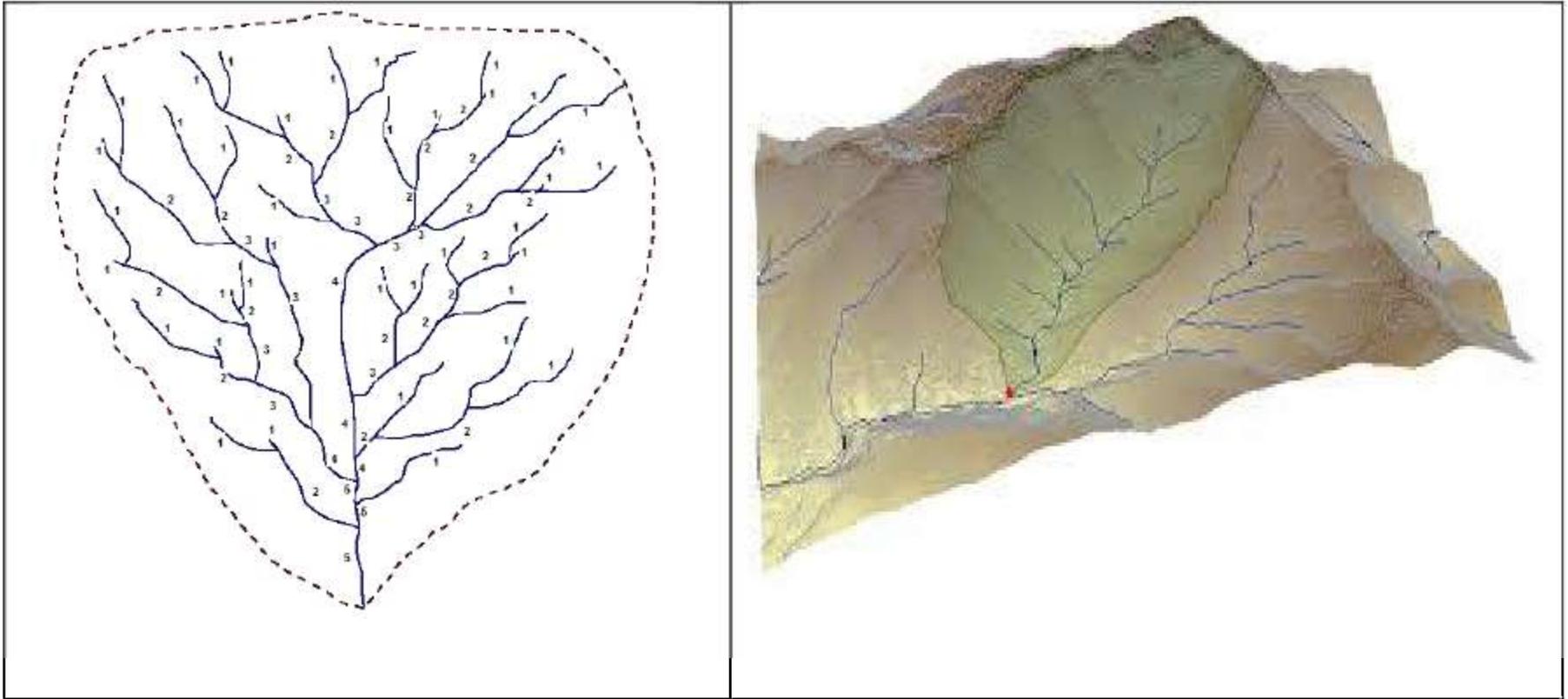
CICLO DEL AGUA: GANAR ALTURA



BALANCE HIDRICO

$$\text{Lluvia} - \text{Escorrentía} - \text{Evaporación} - \text{Infiltración} = \Delta \text{almacenamiento} / \Delta t$$





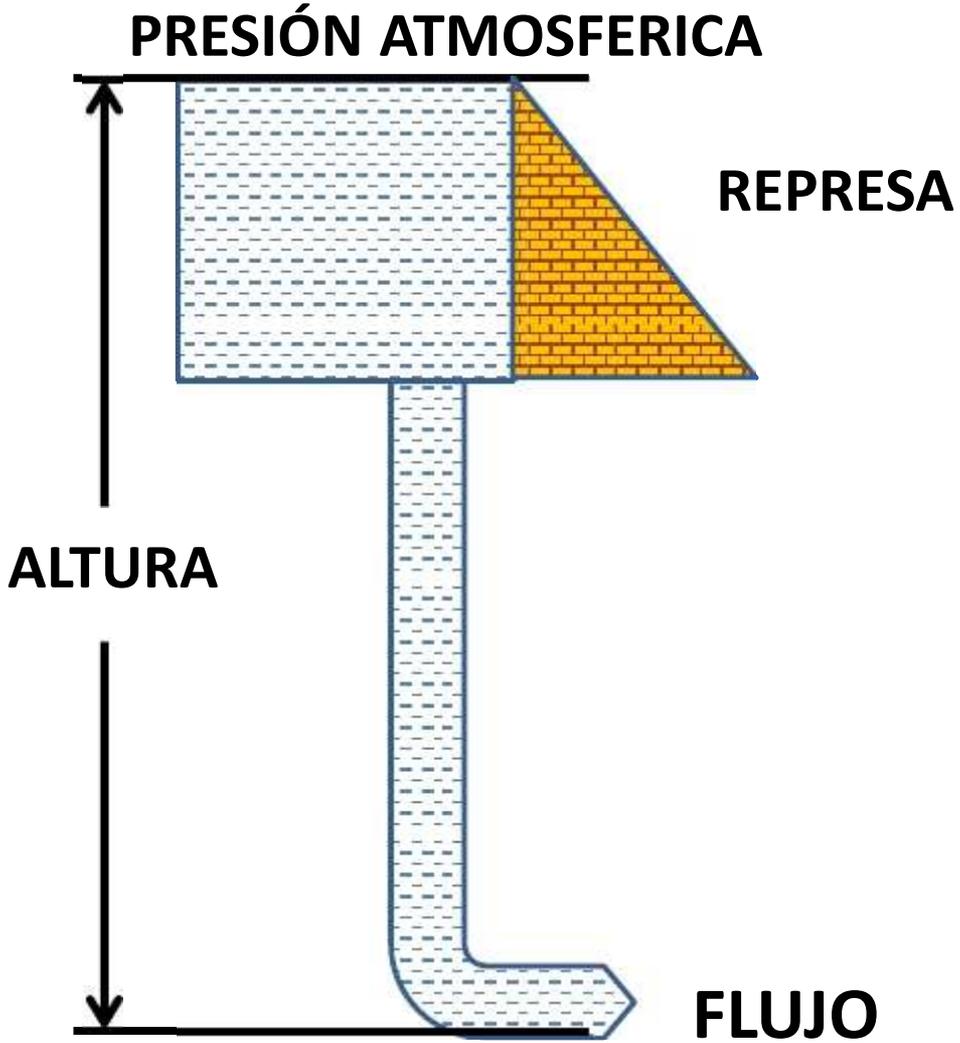
$$P(\text{útil}) = \text{COP} * m * g * \Delta h$$

m = flujo en kg/s

g = gravedad en m/s²

Δh = altura en m

PRINCIPIO



$$\text{PRESION FINAL} = \text{PRESION ATMOSFERICA} + \rho * g * H$$

PLANTA CORANI

Estimar la potencia útil obtenida si el flujo de agua es de 50.000 litros por segundo y la diferencia de altura es de 350 m. (1 litro de agua pesa 1 kilogramo)

P(útil)	P(útil)	COP	Altura	Flujo	Gravedad
MW	W	p.u	m	kg/s	m/s²
145,8	145.775.000,0	0,85	350	50.000,0	9,8
0,1250	124.950,0	0,85	100	150	9,8

EMPRESAS, SISTEMAS Y CAPACIDAD HIDROELÉCTRICA INSTALADA EN BOLIVIA

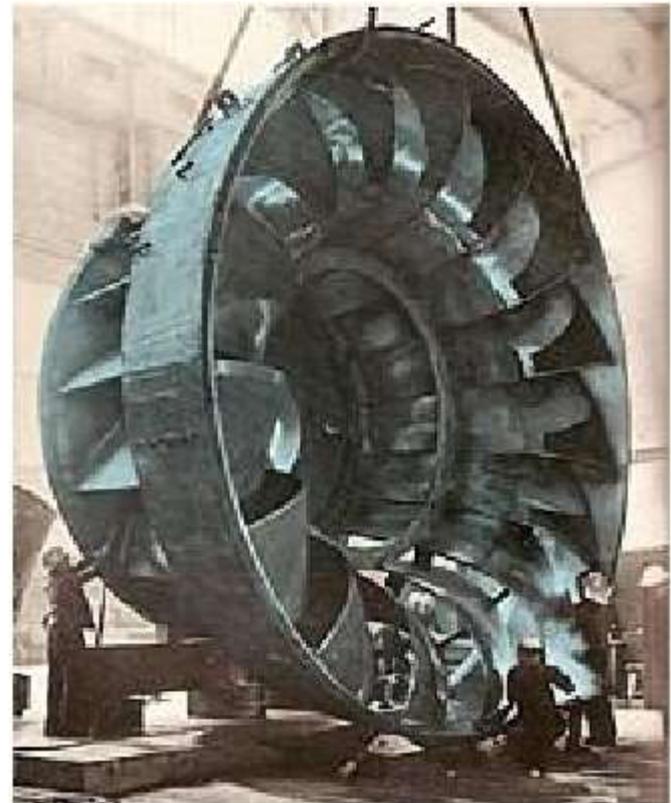
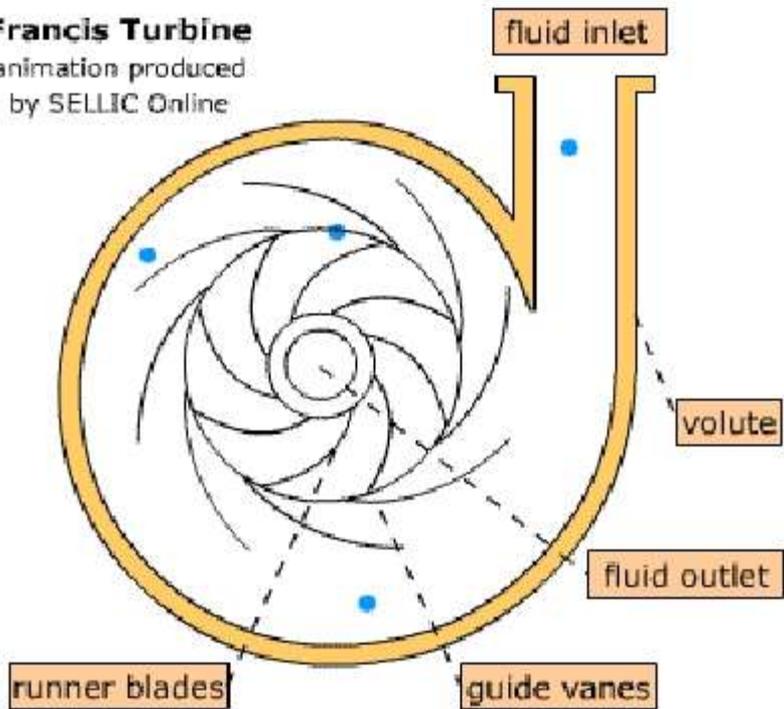
Empresa	Sistema	Capacidad instalada MW
Cobee	Zongo	188.0
Corani	Corani	148.7
Hidroeléctrica Boliviana	Taquesi	89.3
Cobee	Miguillas	21.1
Valle Hermoso	Yura	19.0
Synergia	Kanata	7.5
Servicios de Desarrollo de Bolivia	Quehata	2.0

CUADRO 1. Fuente: CNDC

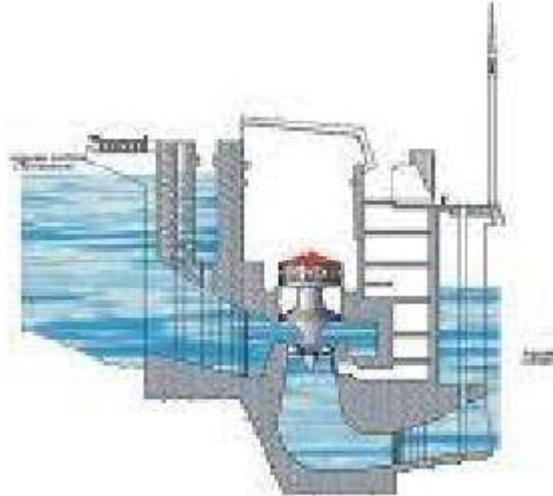
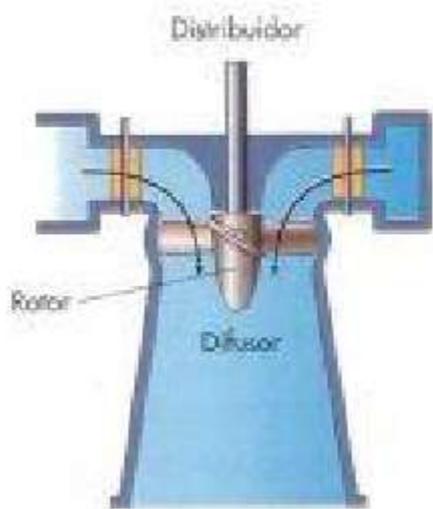
TURBINA TIPO PELTON



Francis Turbine
animation produced
by SELLIC Online



TURBINA KAPLAN



CLASIFICACION MCH

Según la dirección en que entra el agua:

- **Turbinas axiales:** el agua entra en el rodete en la dirección del eje.
- **Turbinas radiales:** el agua entra en sentido radial, no obstante el agua puede salir en cualquier dirección.

De acuerdo al modo de obrar del agua:

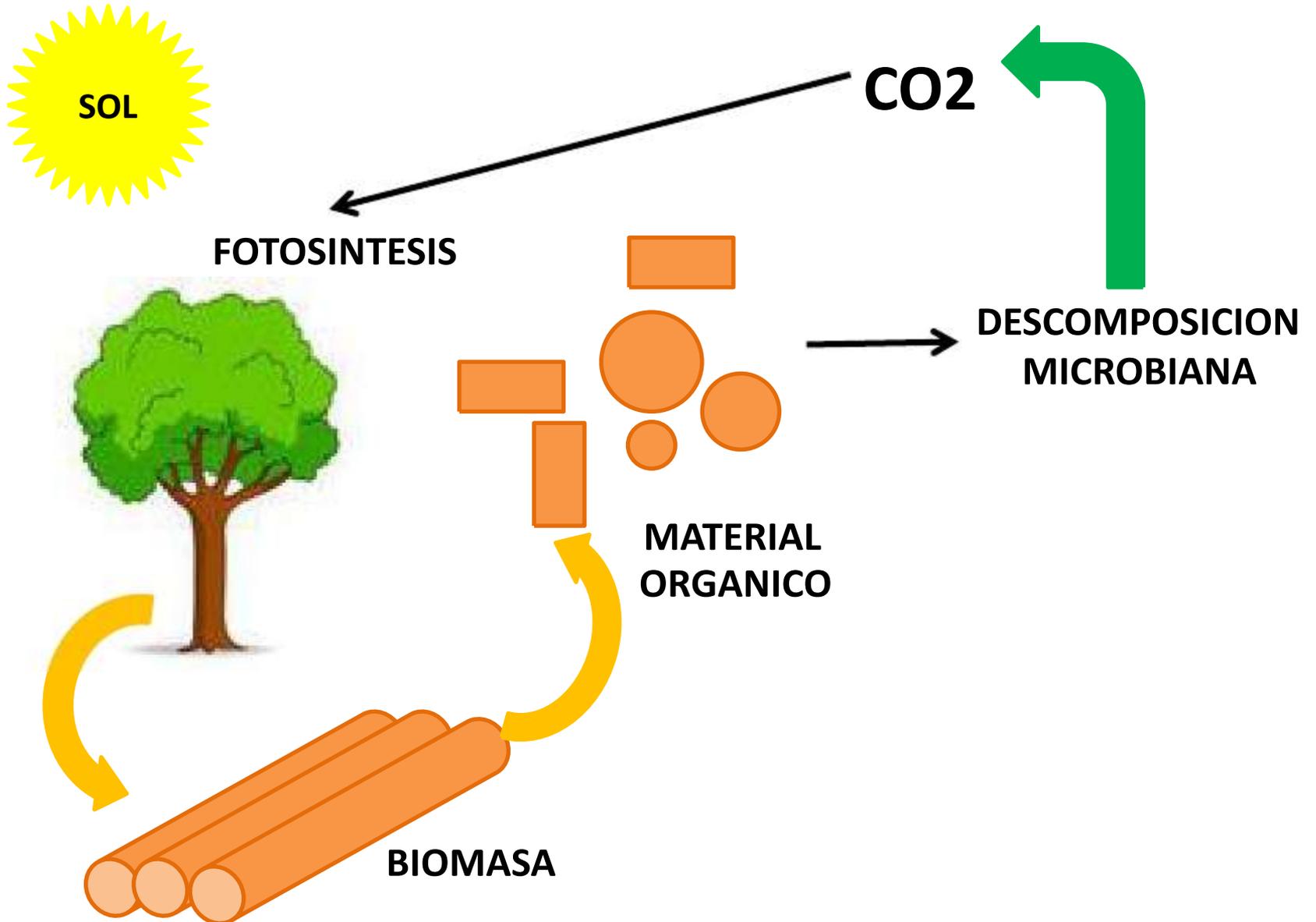
- **Turbinas de chorro o de acción simple o directa.**
- **Turbinas de sobrepresión o de reacción.**

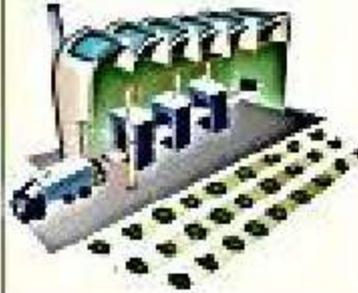
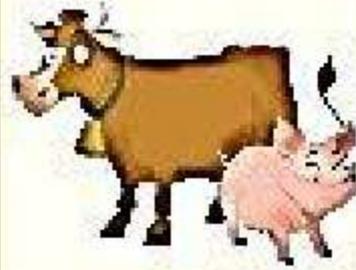
Según la dirección del eje:

- **Horizontales.**
- **Verticales.**

ELECTRICIDAD A PARTIR DE LA BIOMASA Y DE LA GEOTERMIA

CICLO DEL CARBONO





Vegetación

Animales

**Industria
agrícola**

Ciudad

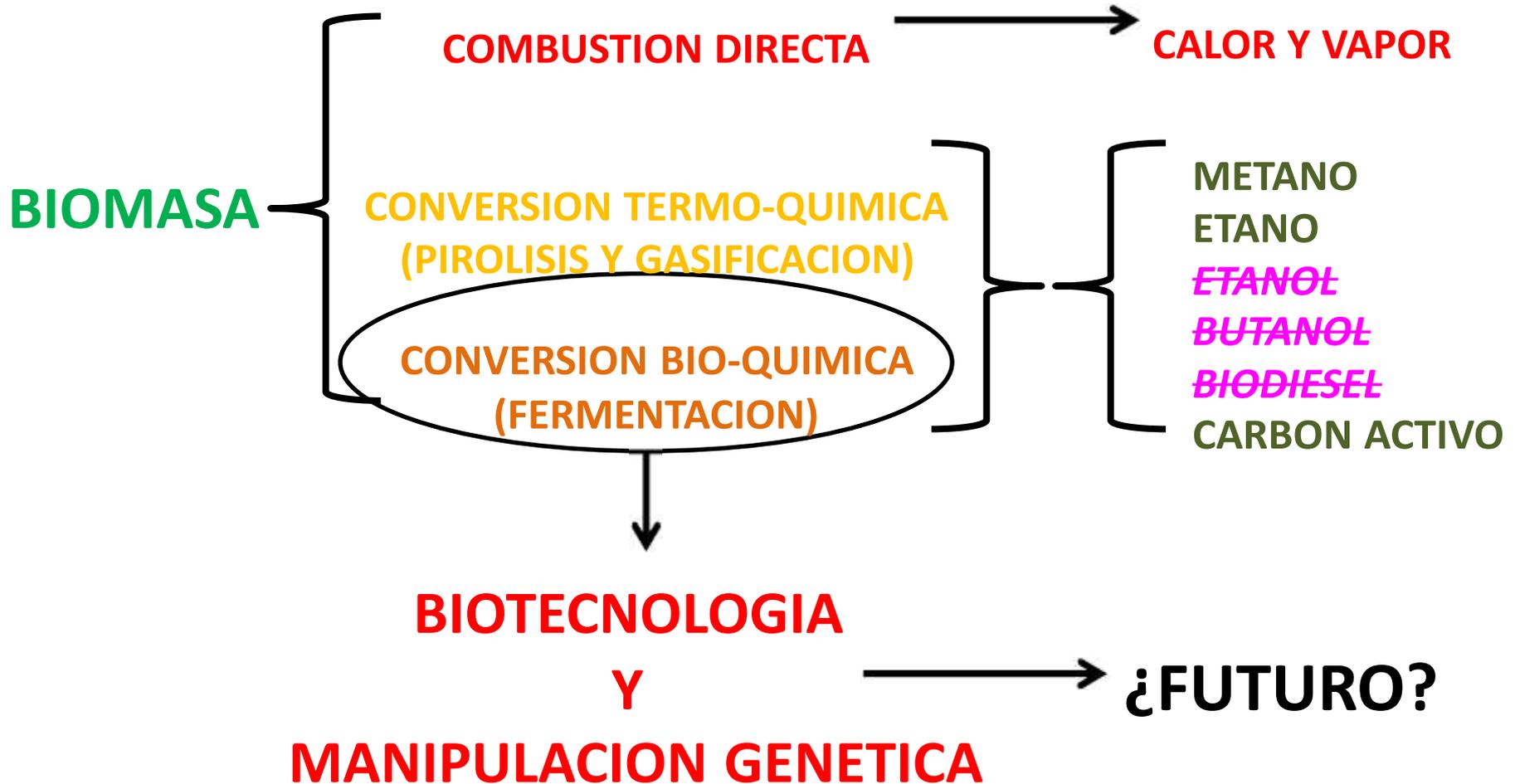


Residuos



BIOMASA

DE BIOMASA A BIOCARBURANTES



PRODUCCION ETANOL-C₂H₅OH

SACAROSA
ALMIDON
(CELULOSA)



FERMENTACION

*Saccharomyces
cerevisiae*



DESTILACION



ETANOL SECO



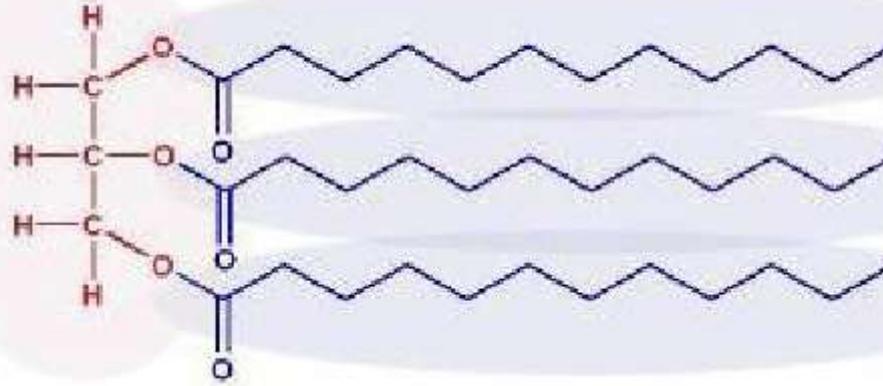
MEZCLA

GASOLINA O DIESEL

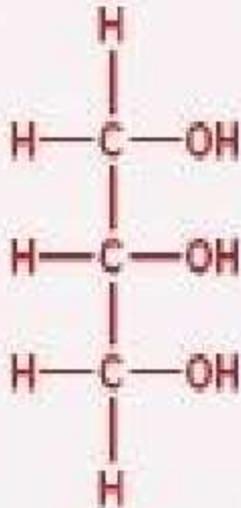
5 A 10%

RENDIMIENTO: 40 A 50 LITROS ETANOL POR TM DE CAÑA FRESCA

TRANS-ESTERIFICACION

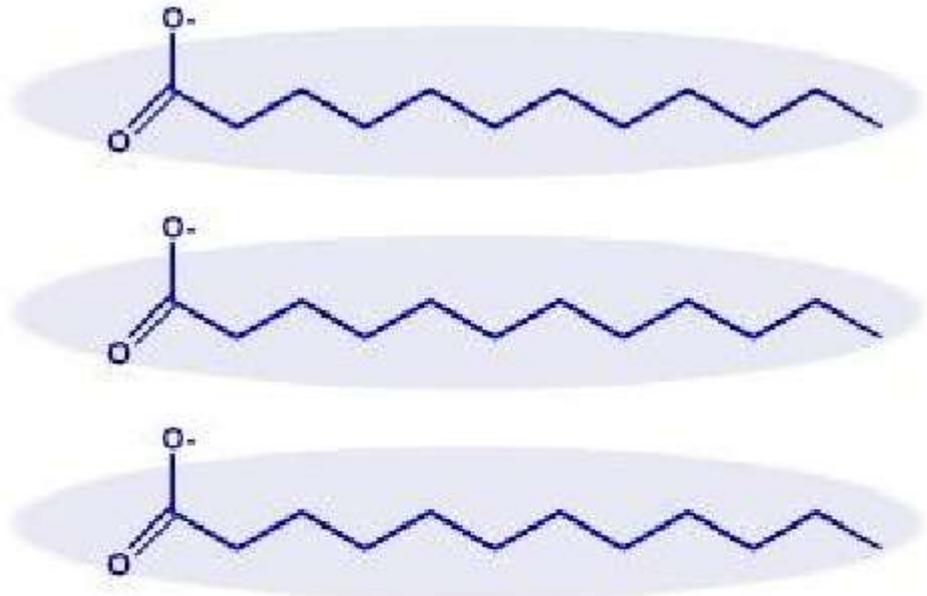


**TRIGLICERIDO
(ACEITE ORGANICO)**



GLICERINA

+

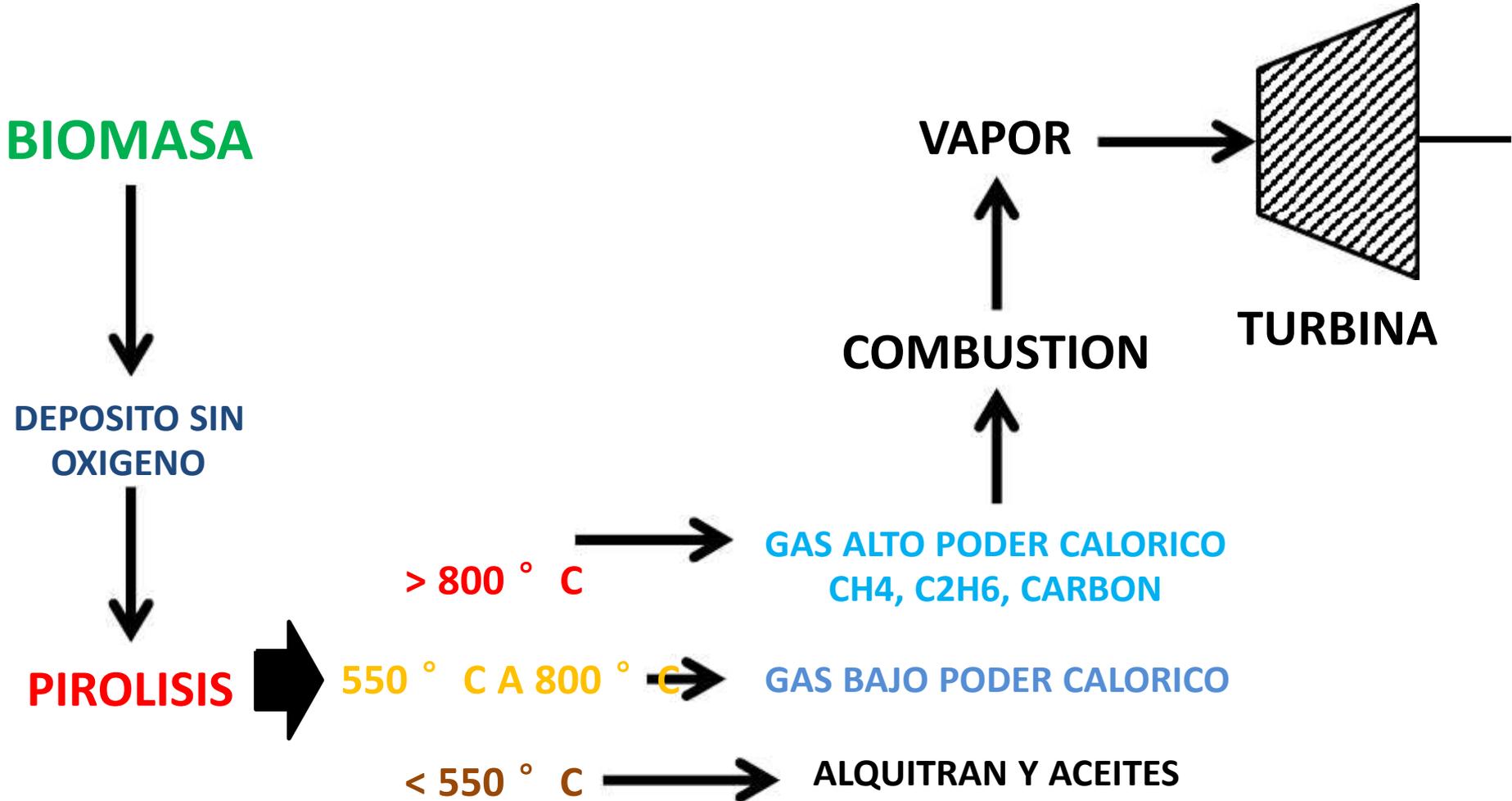


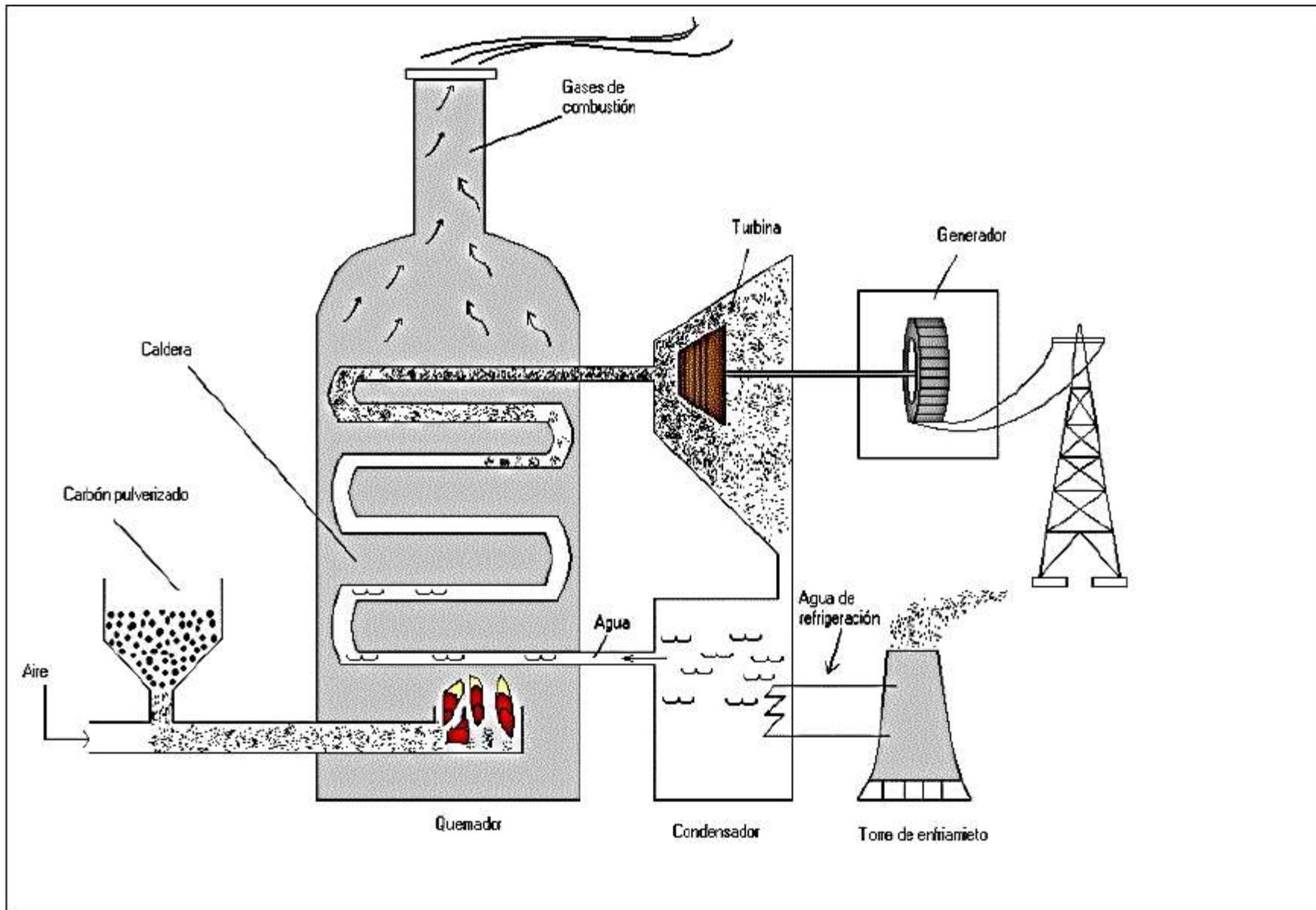
BIODIESEL

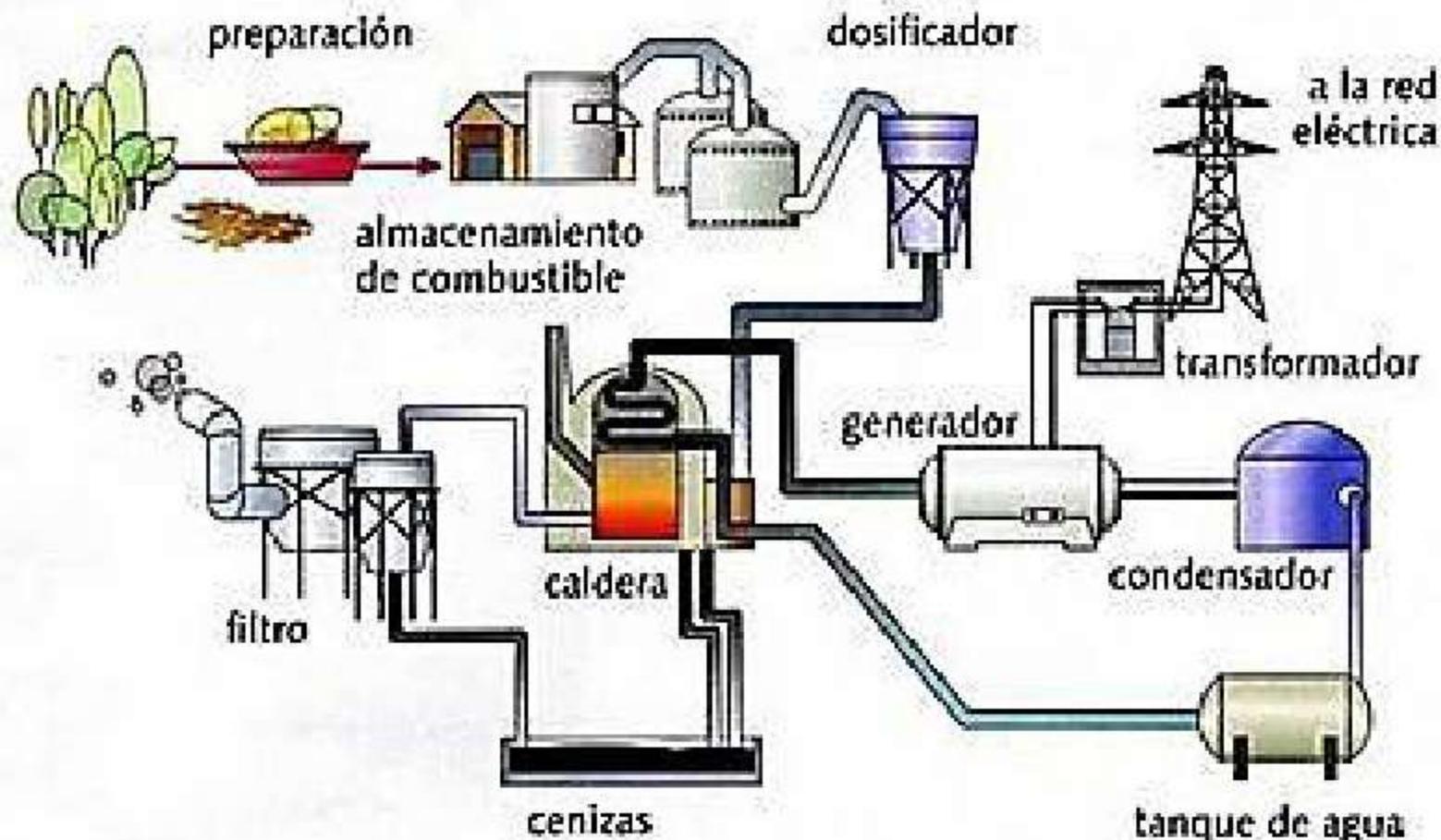
DISCUSION

- **ETANOL A PARTIR DE AZUCARES (COMIDA).**
- **BIODIESEL A PARTIR DE JATROPHA (TIERRA).**
- **BIODIESEL A PARTIR DE ALGAS (AGUA), SE REQUIERE CO₂ PARA ALIMENTAR LAS ALGAS, PRODUCEN ACEITE.**
- **¿BIOCARBURANTES EN FUTURO?**

PIRÓLISIS (TERMO-QUIMICO)

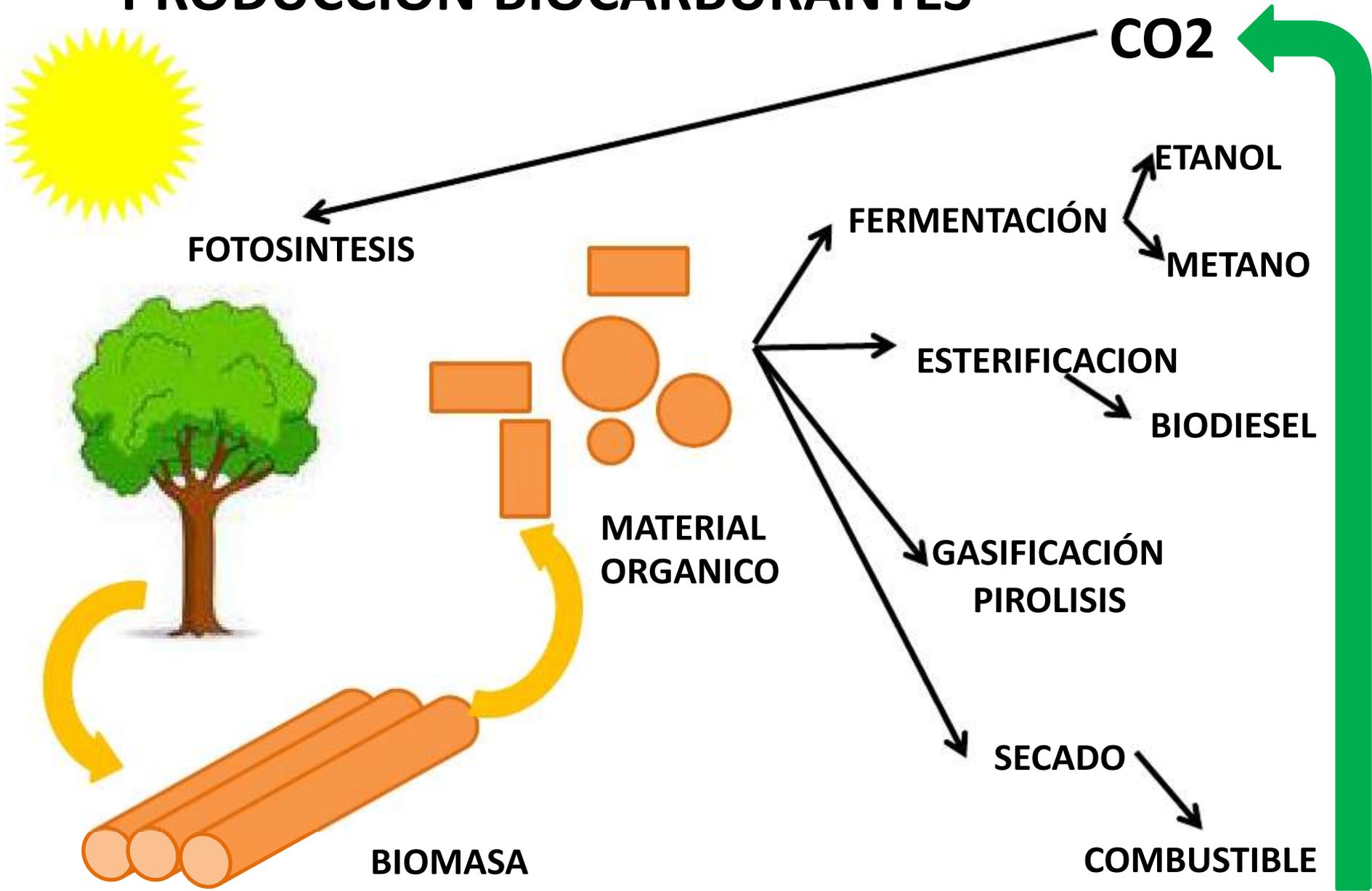




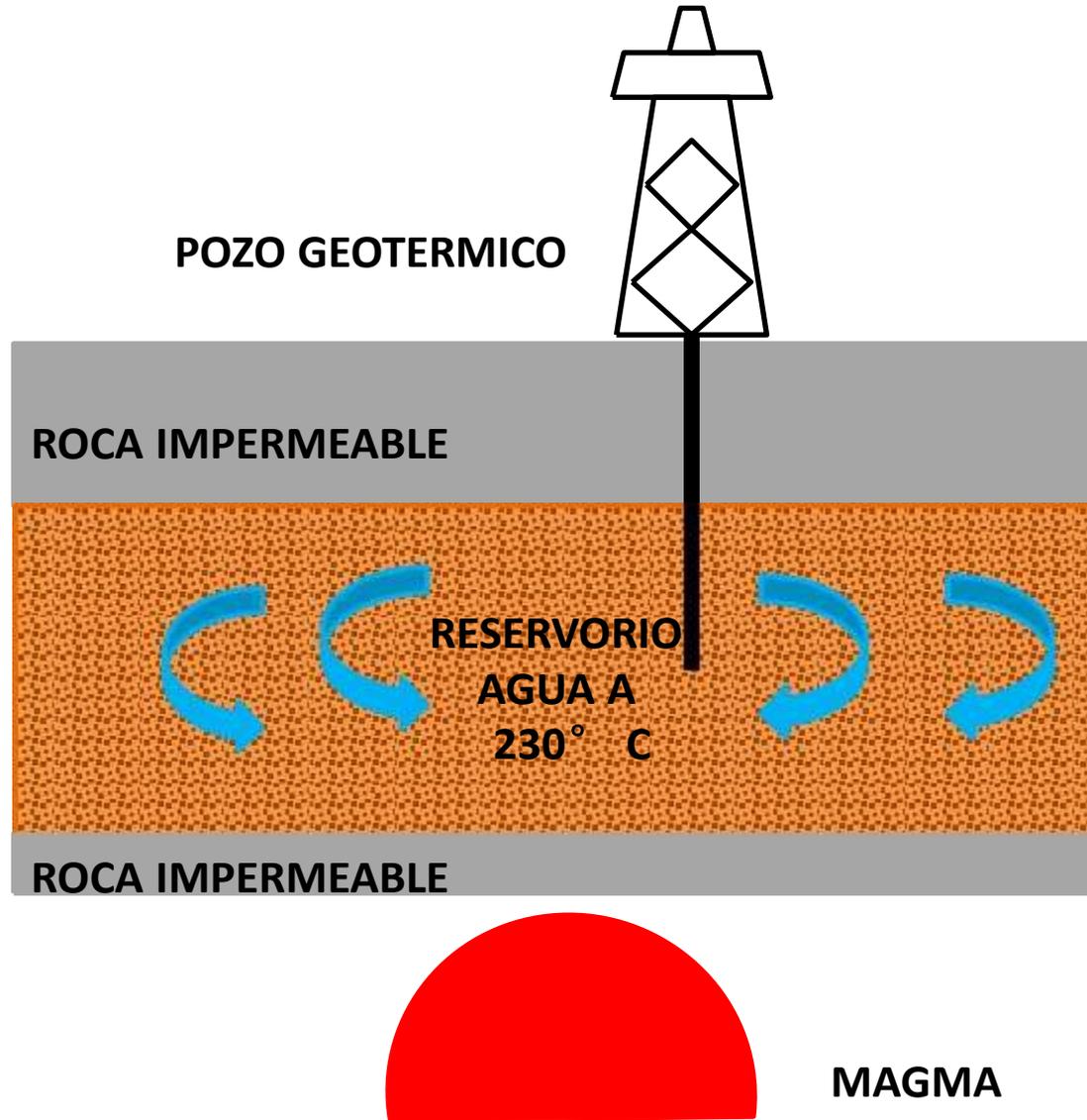


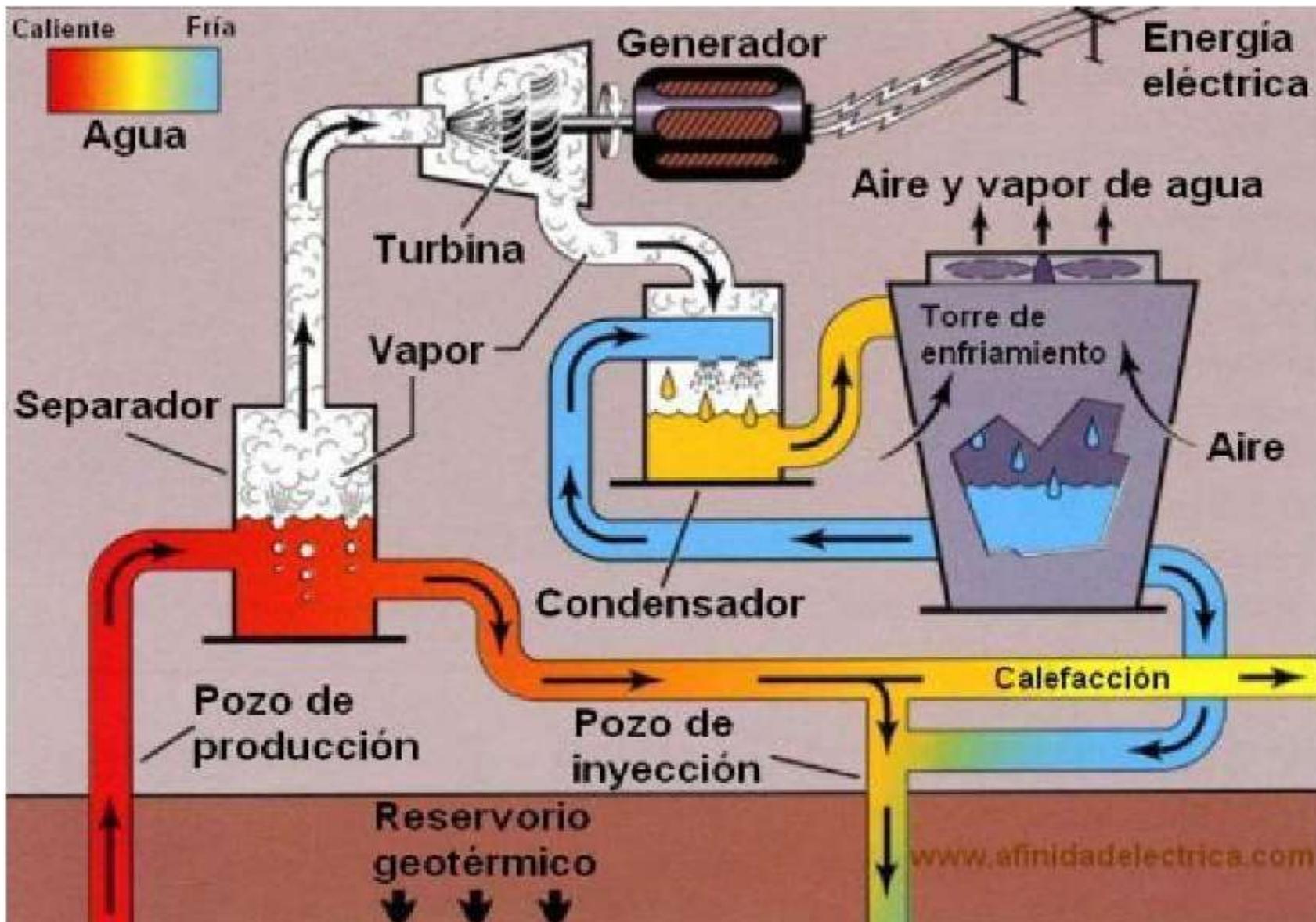
Esquema de una central de biomasa.

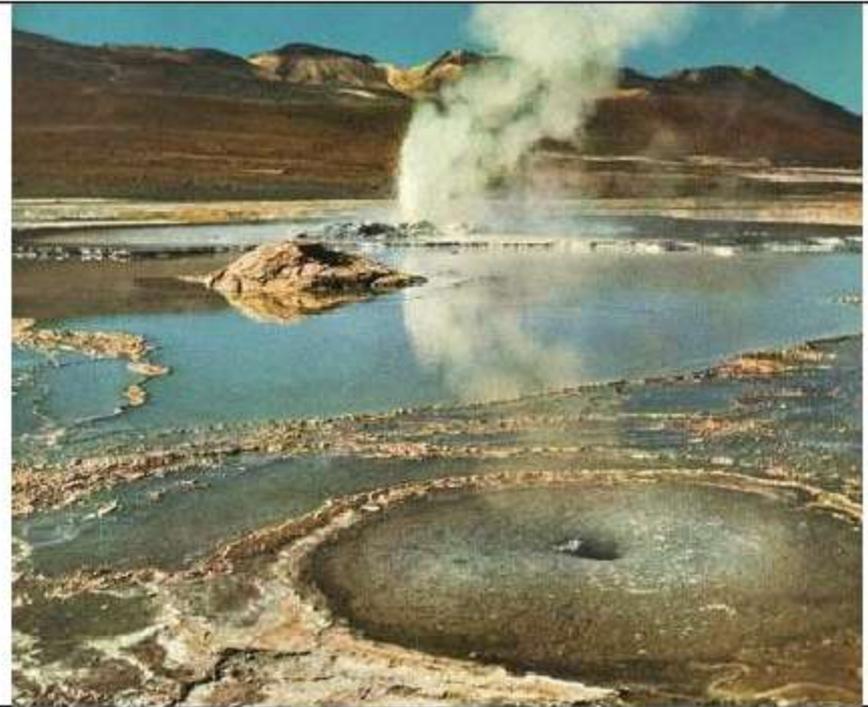
PRODUCCION BIOCARBURANTES



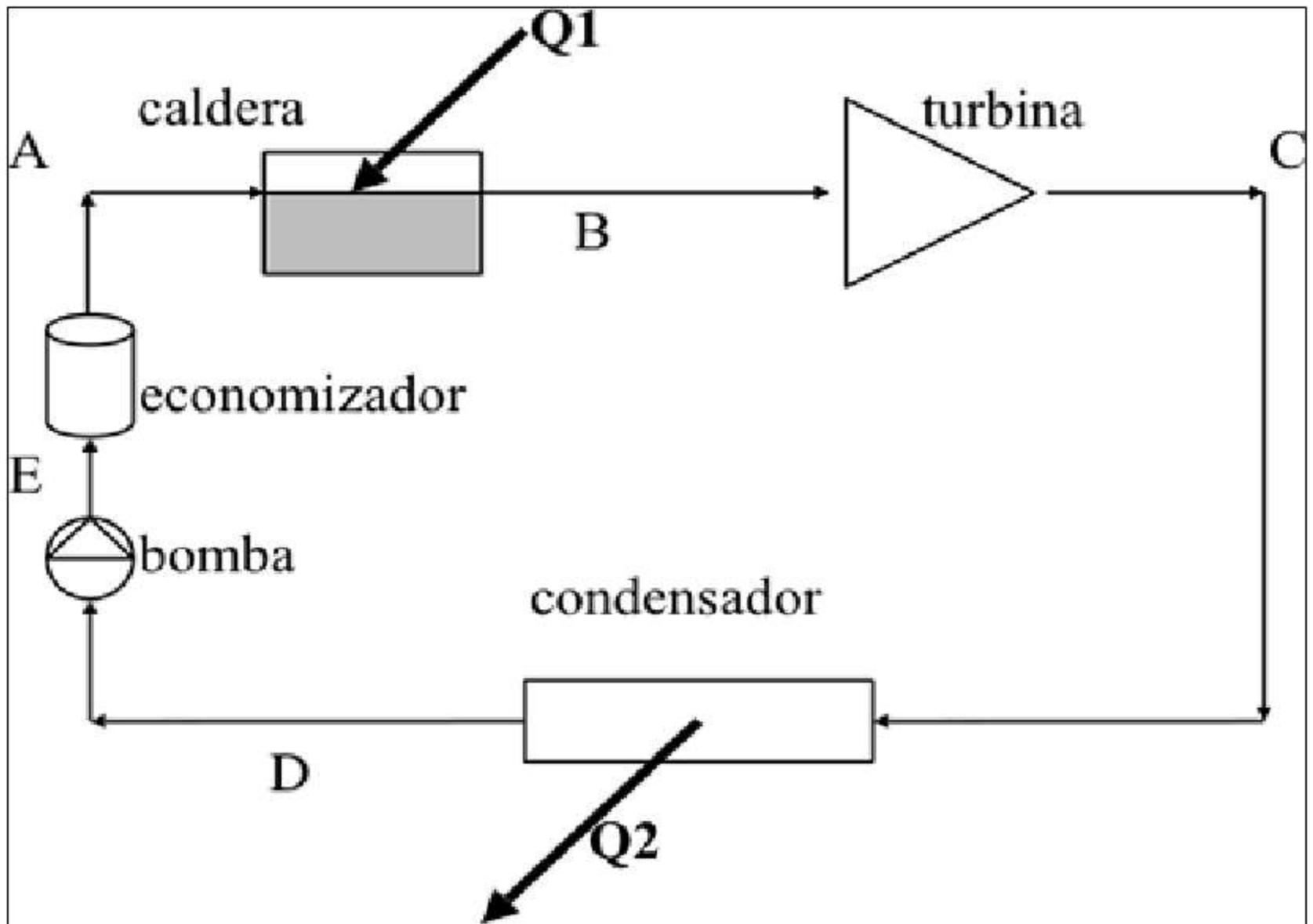
CICLO GEOTERMICO



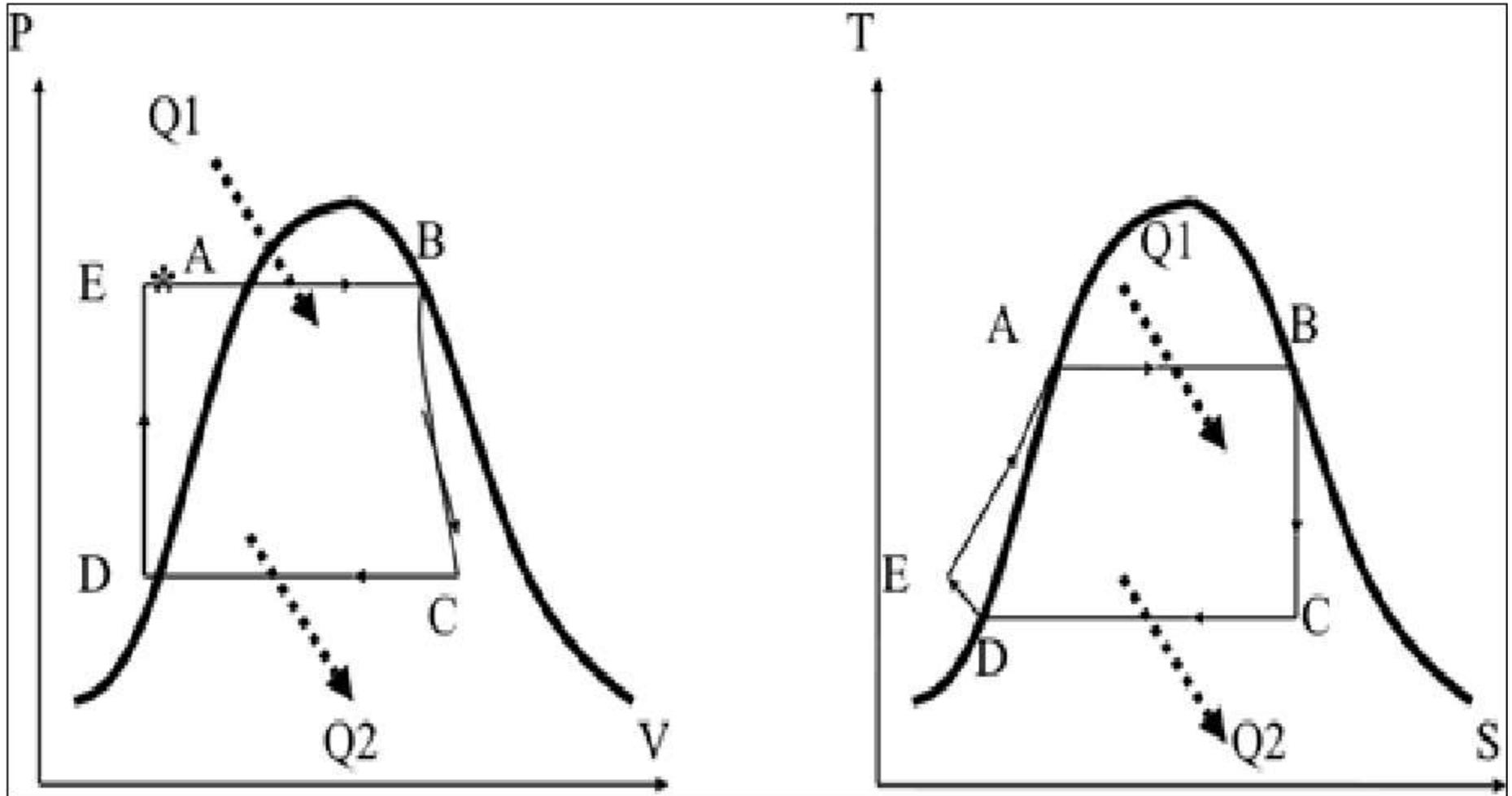








CICLO DE RANKINE



NORMAS TECNICAS PARA LAS ENERGIAS RENOVABLES

NORMAS TECNICAS

NORMAS TECNICAS SISTEMAS AISLADOS

NB 795: ENSAYOS MODULOS FV

NB 948: ENSAYOS BATERIAS PARA FV

NB 1056: INSTALACION SISTEMAS FV (5 kW)

NB 81001: REGULADORES

NB 81002: CONVERTOR CC-CC

NB 81003: LUMINARIAS

NB 81004: INVERSORES

Requisitos técnicos para sistemas fotovoltaicos y sus componentes.

SISTEMAS FV

IEC 61215 (mono y poli cristalinos)

IEC 61646 (amorfo)

- Pruebas mecánicas.
- Pruebas eléctricas.
- Pruebas ópticas.
- Pruebas estanqueidad.

CONEXIÓN A LA RED

Norma IEEE 1547

- La frecuencia de la tensión y de la corriente que proporciona un sistema fotovoltaico o eólico debe ajustarse a la frecuencia de la red.
- Las intermitencias en la producción de electricidad de los generadores no deben introducir armónicos o señales que perturben la red.
- Los generadores eólicos y fotovoltaicos deben desconectarse automáticamente si en la red no existe tensión. no pueden funcionar en modo “isla”.

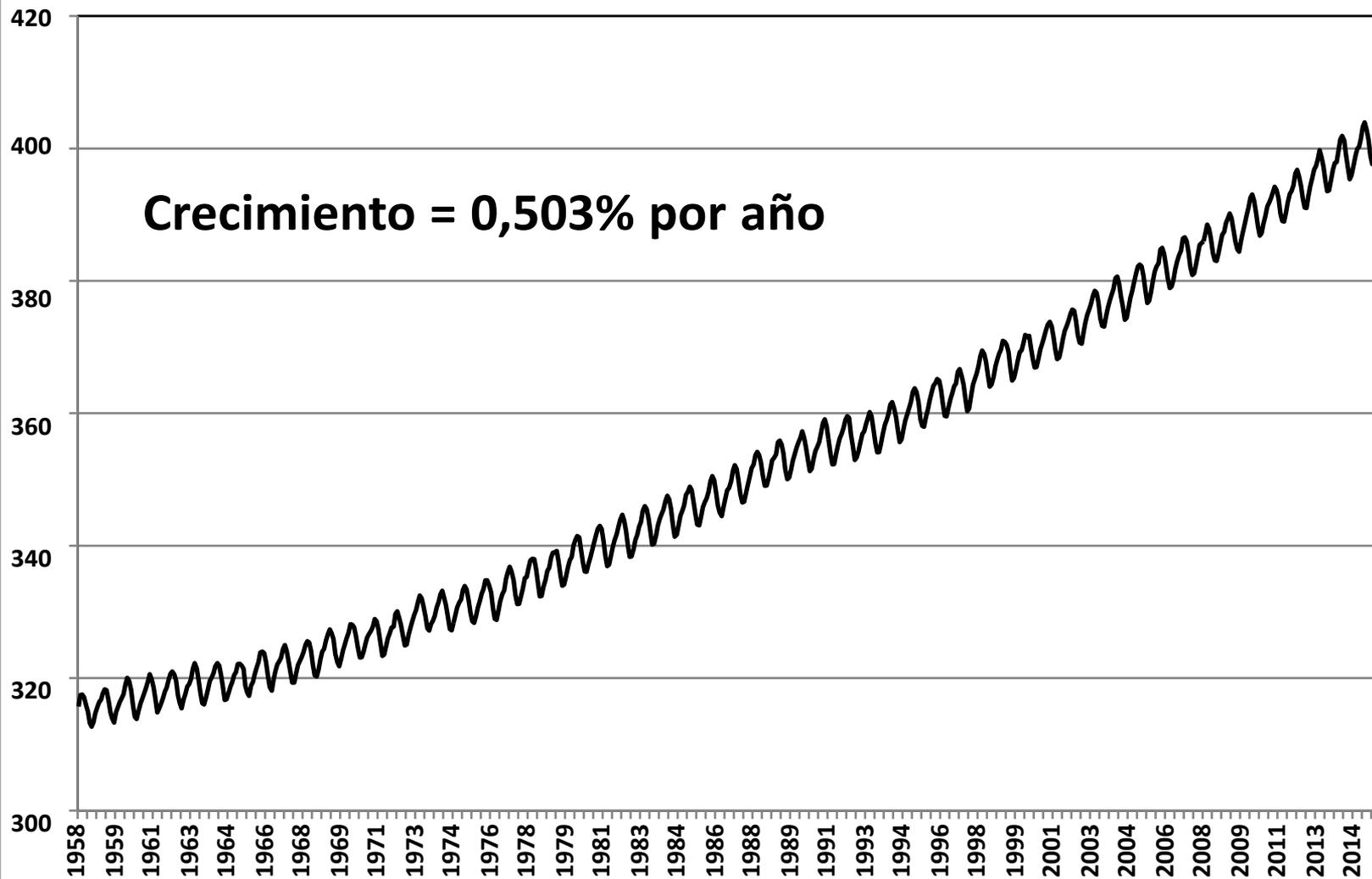
NORMA SISTEMAS EOLICOS

- IEC 61400-1

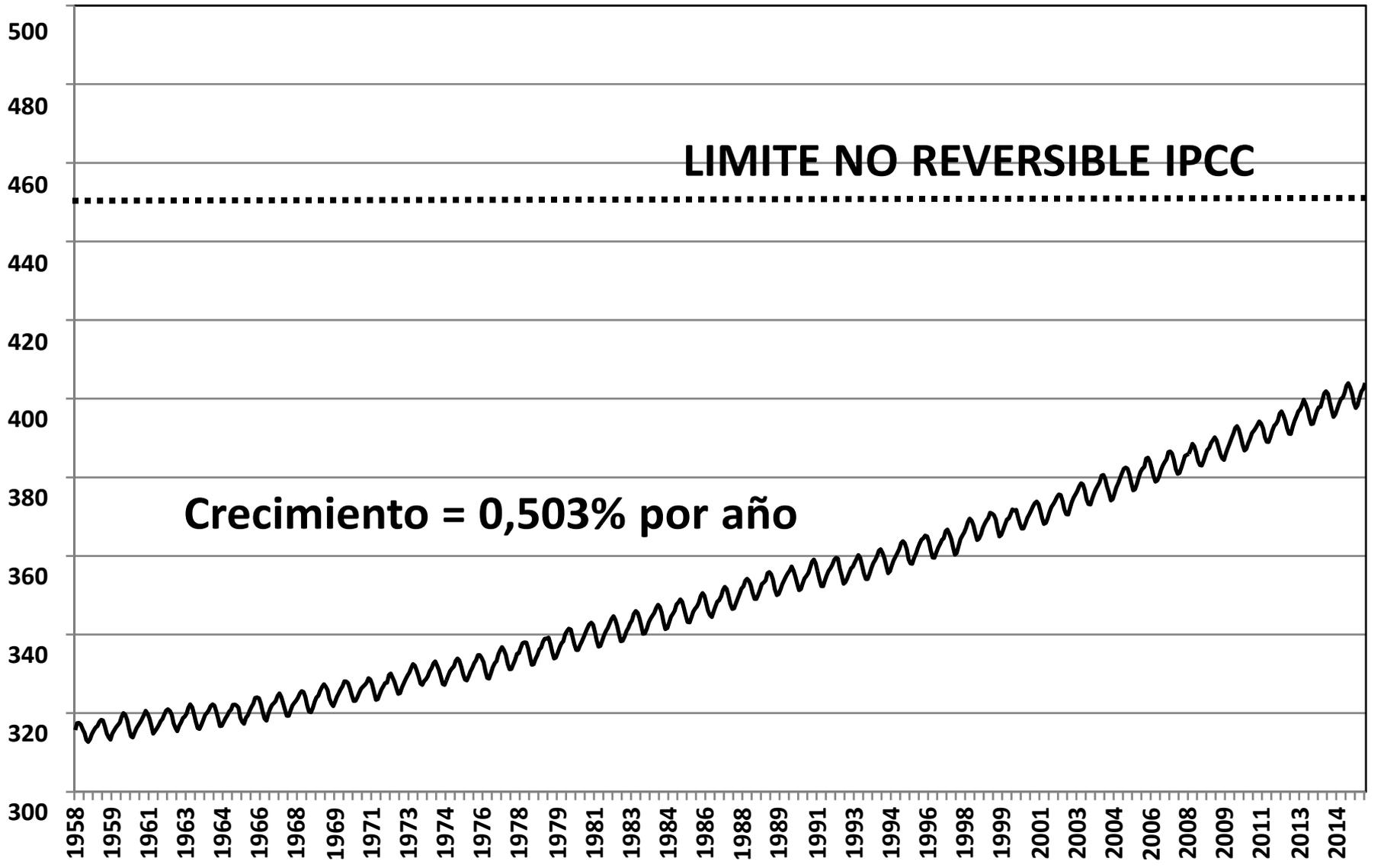
CLASE TURBINAS EOLICAS	I	II	III		
Vreferencia(m/s)	50	42,5	37,5	(Debe soportar durante 10 minutos)	
A (Intensidad de Turbulencia alta a 15m/s)	0,16				
B (Intensidad de Turbulencia alta a 15m/s)	0,14				
Lugar: Viru Viru					
C (Intensidad de Turbulencia alta a 15m/s)	A 60m altura	2011	2012	2013	MEDIA
	Vmax m/s	32	33,3	29,8	31,7
	Vprom m/s	12,2	11,9	13,1	12,4
	Desv. Standa 15m/s	0,11	0,12	0,11	0,11

**¿POR QUÉ SURGEN LAS ENERGÍAS
RENOVABLES?**

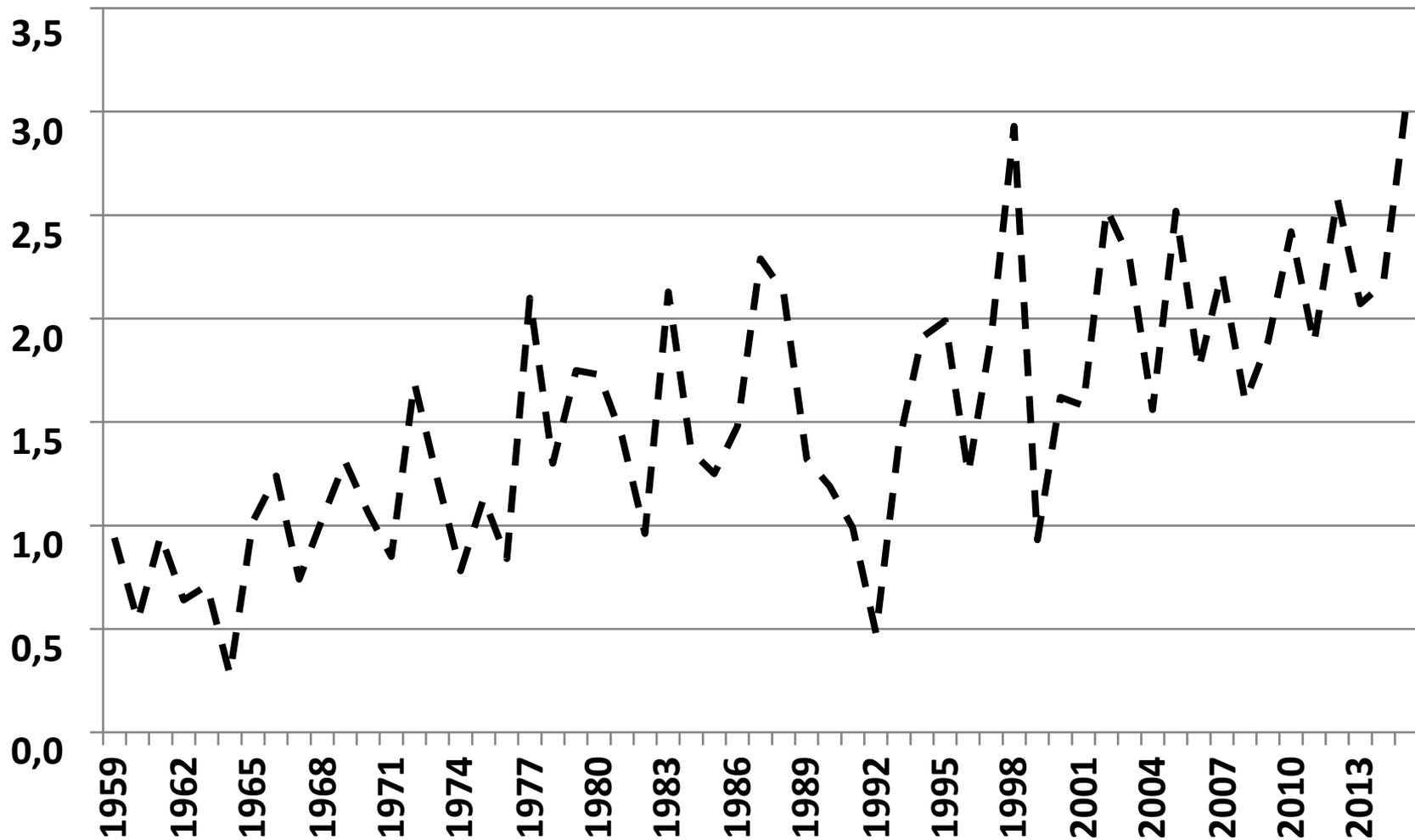
**CONCENTRACION C02 MANU LOA
1958-2014 (ppmillón)**



**CONCENTRACION C02 MANU LOA
1958-2014 (ppmillón)**



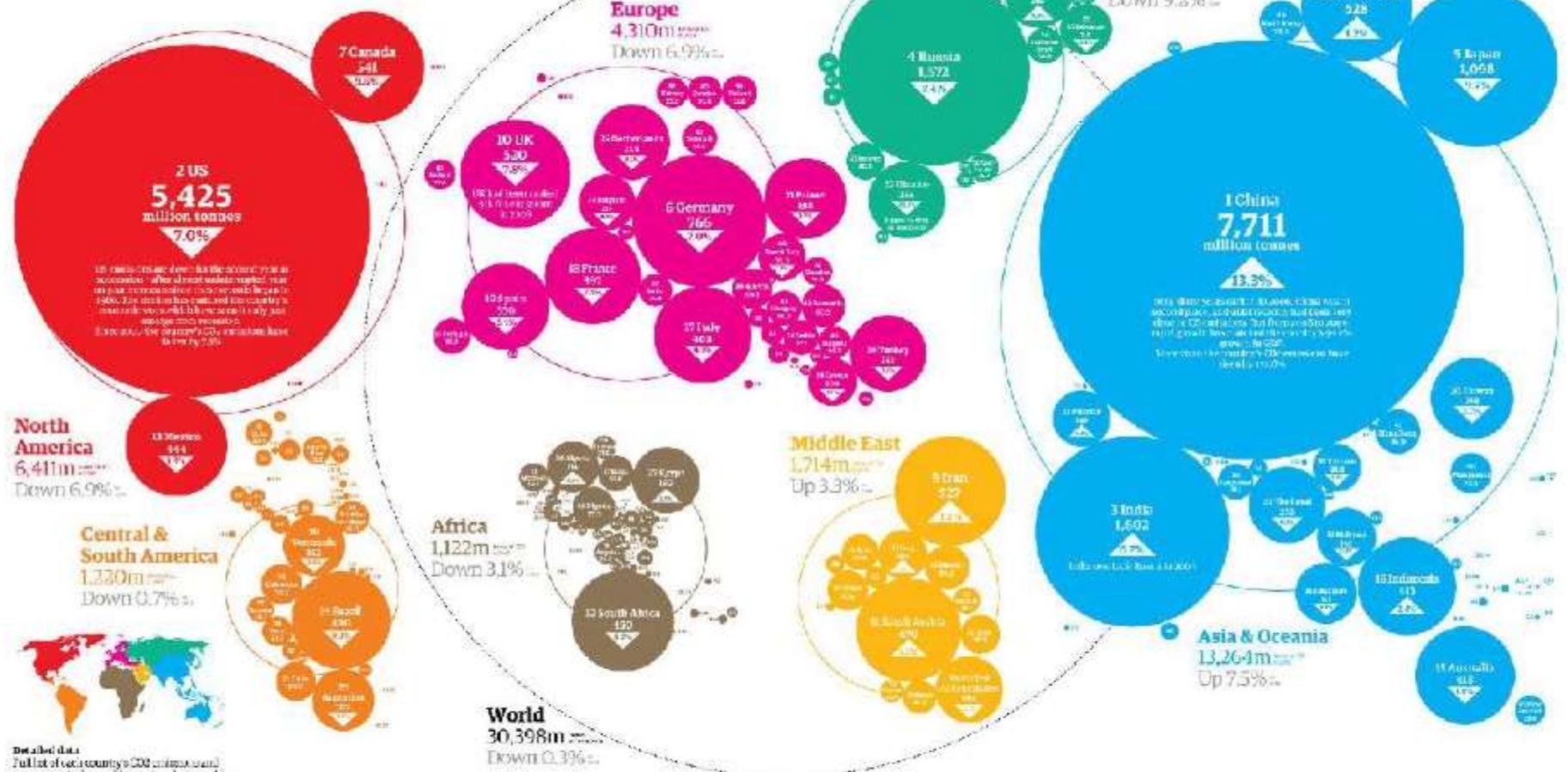
TASA DE INCREMENTO DE CO2 EN MANU LOA (en ppm/año)



An atlas of pollution: the world in carbon dioxide emissions

Latest data published by the US Energy Information Administration (EIA) shows a unique picture of economic growth - and decline. China has kept ahead of the US, as shown by its rising carbon output, each country according to EIA emissions. And, for the first time, world emissions have gone down.

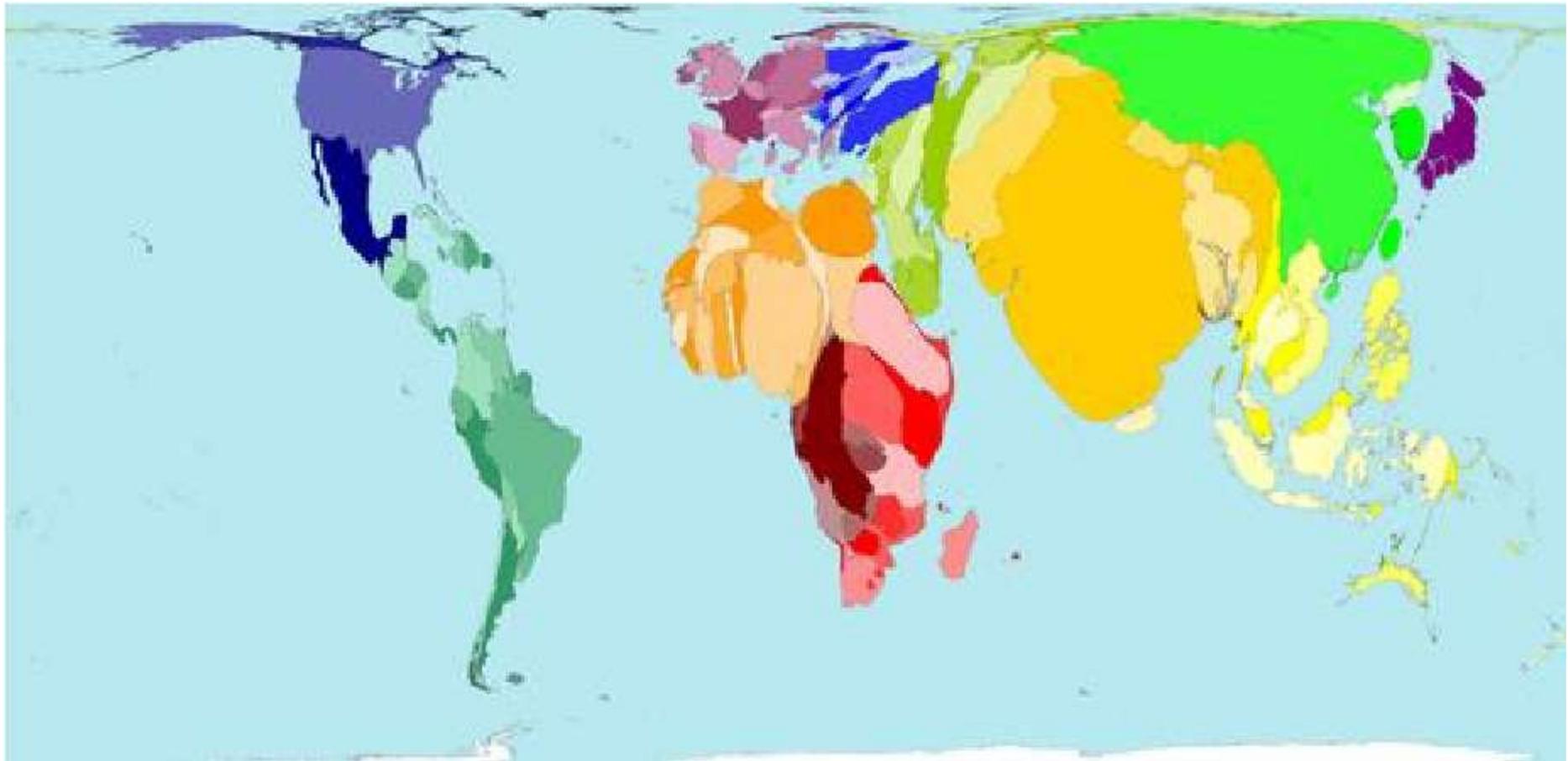
World emissions in 2010
 30,398 million tonnes
 Down 0.3% on 2009



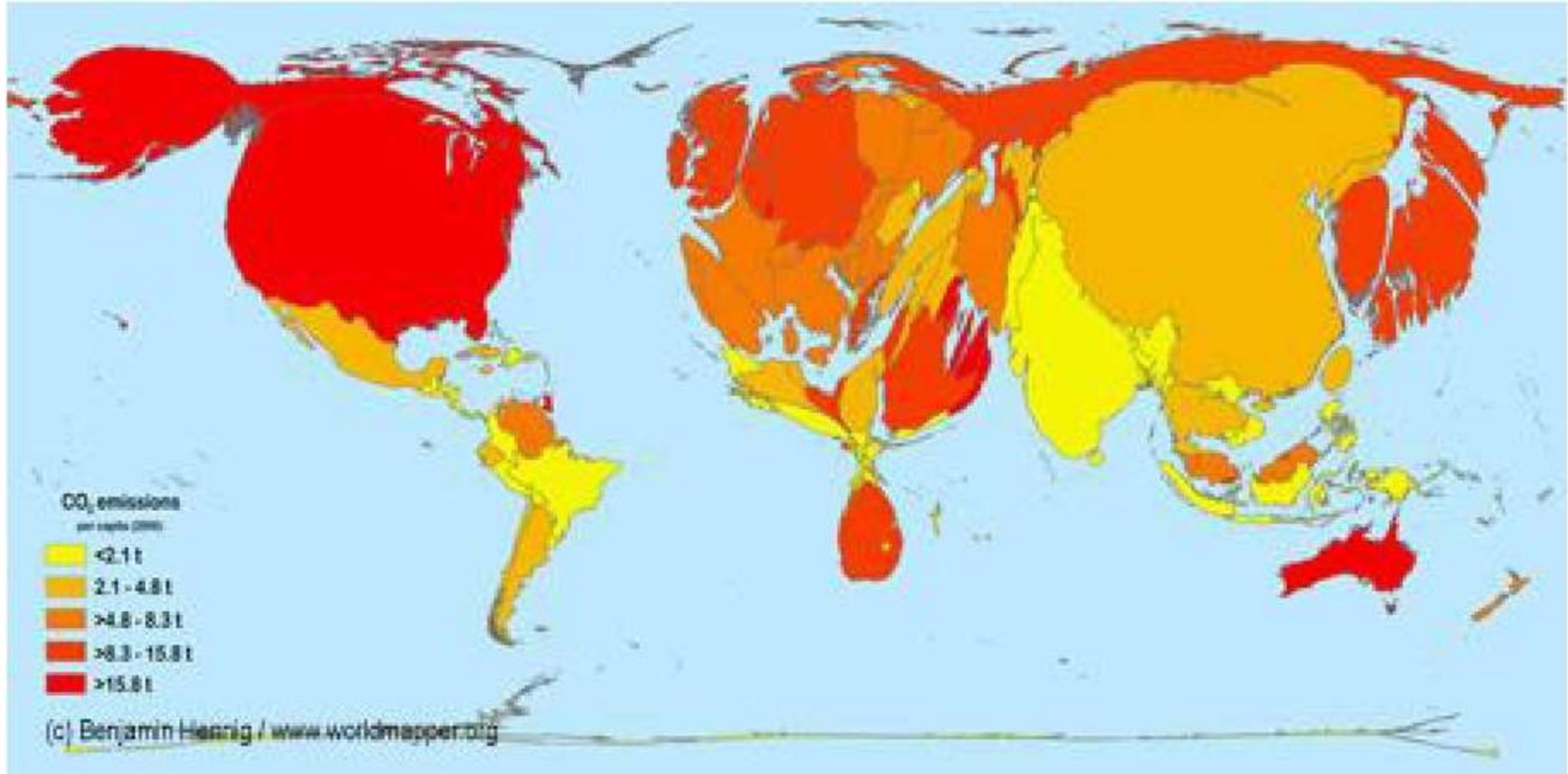
Detailed data
 Full list of each country's CO2 emissions and movement in the world emissions league table

2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000	1999	1998	1997	1996	1995	1994	1993	1992	1991	1990
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
US	China	India	Russia	Japan	Germany	France	UK	Canada	South Korea	Brazil	Italy	Spain	South Africa	Iran	Indonesia	Australia	Poland	Belgium	Sweden	Denmark

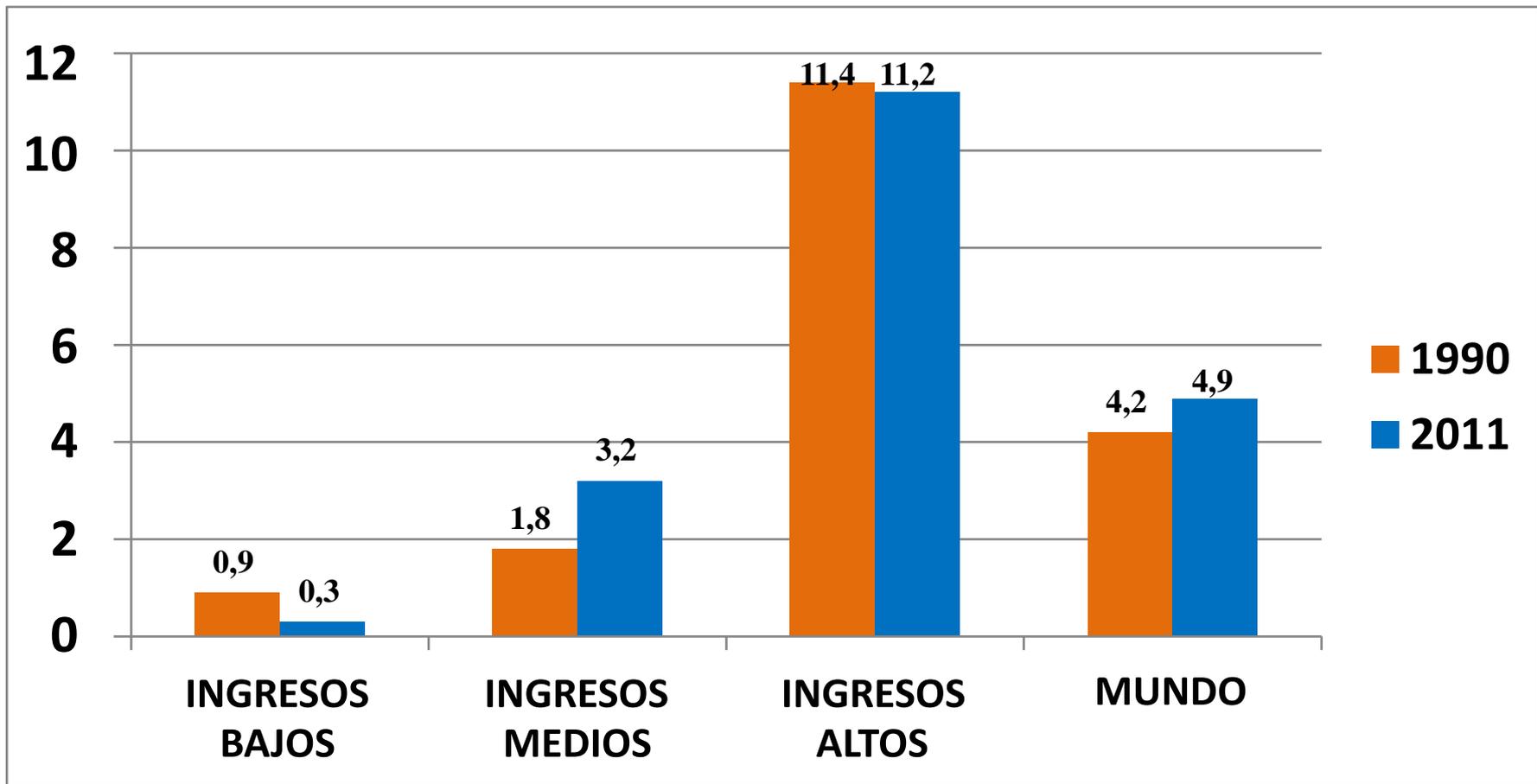
POBLACION 2050



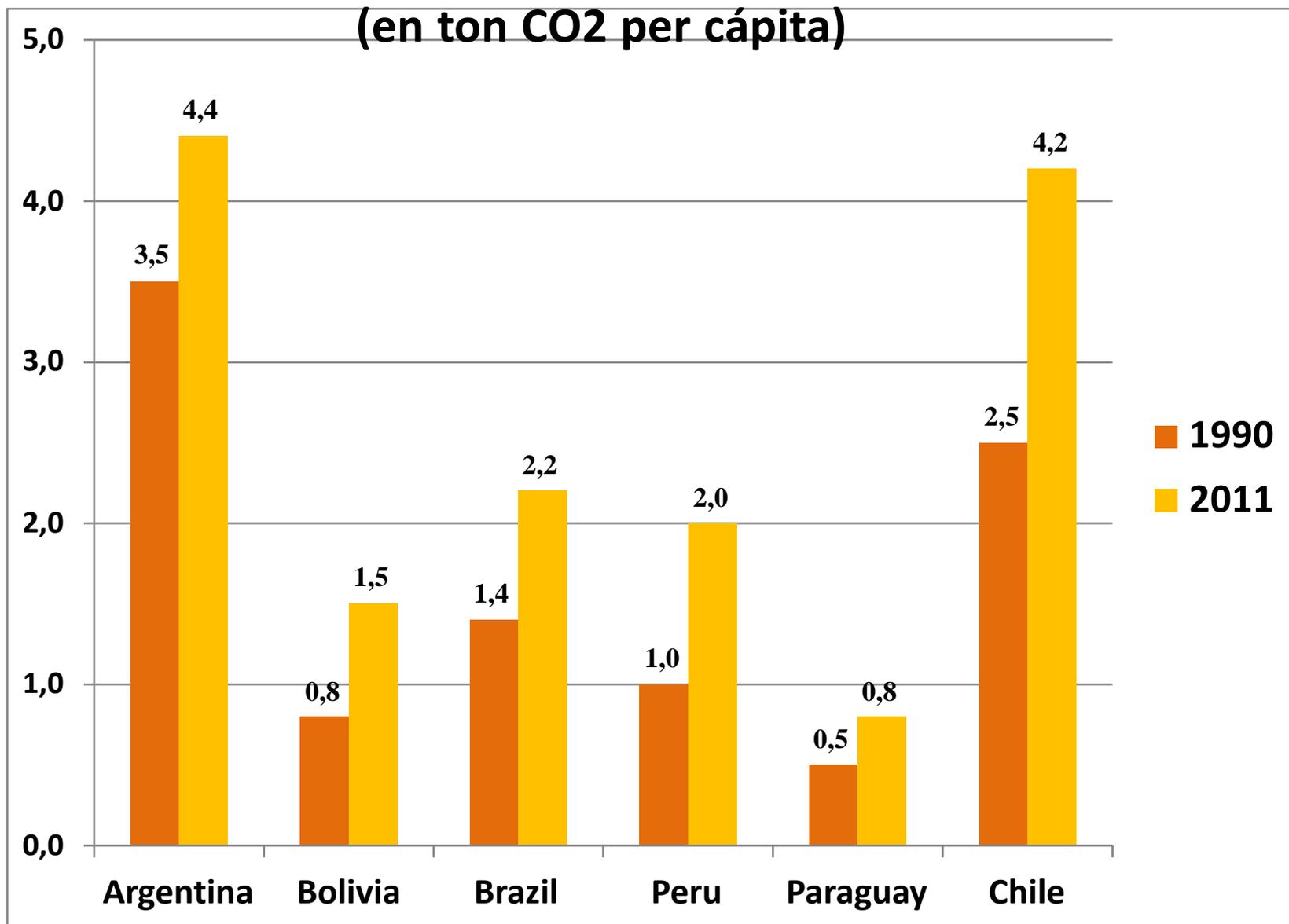
EMISIONES DE CO2 POR AÑO



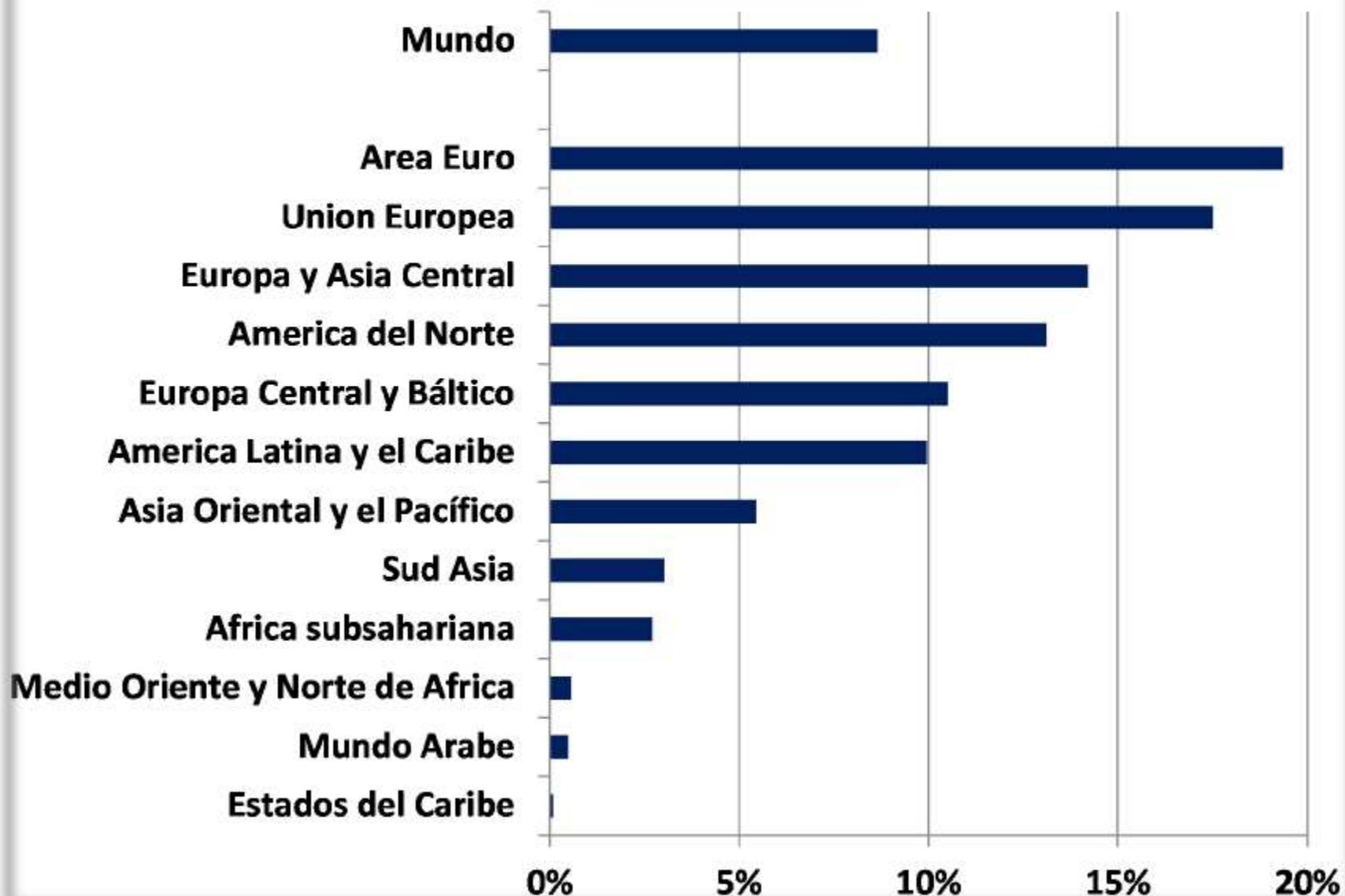
MUNDO: CRECIMIENTO DE EMISIONES CO2 PER CAPITA POR INGRESOS DE PAISES (en ton CO2 per cápita)



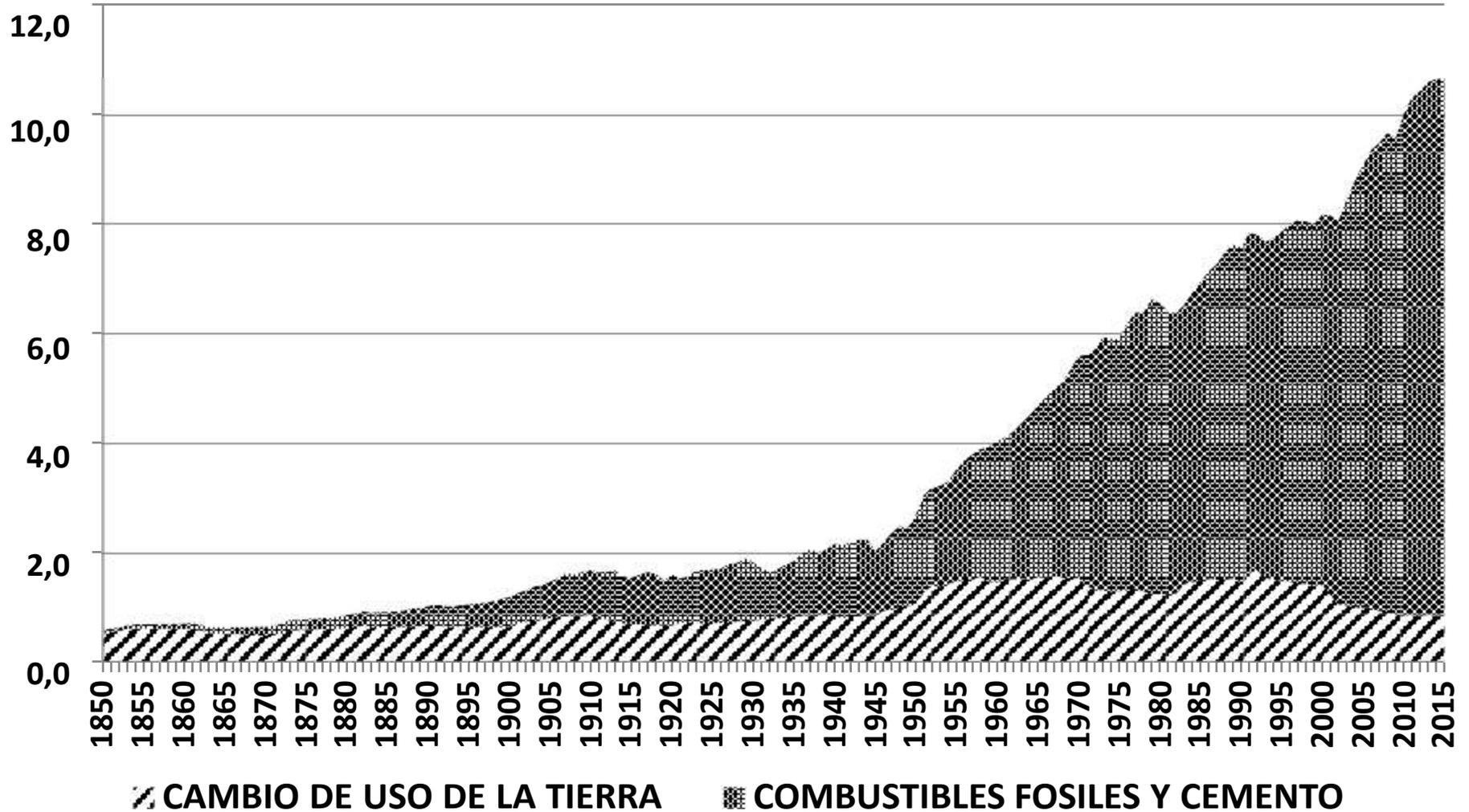
BOLIVIA: CRECIMIENTO DE EMISIONES CO2 PER CAPITA PAISES VECINOS



PARTICIPACION DE LAS ENERGIAS RENOVABLES Y NUCLEAR POR REGION



EMISIONES DE CARBONO POR AÑO (en Gigatoneladas de C por año)



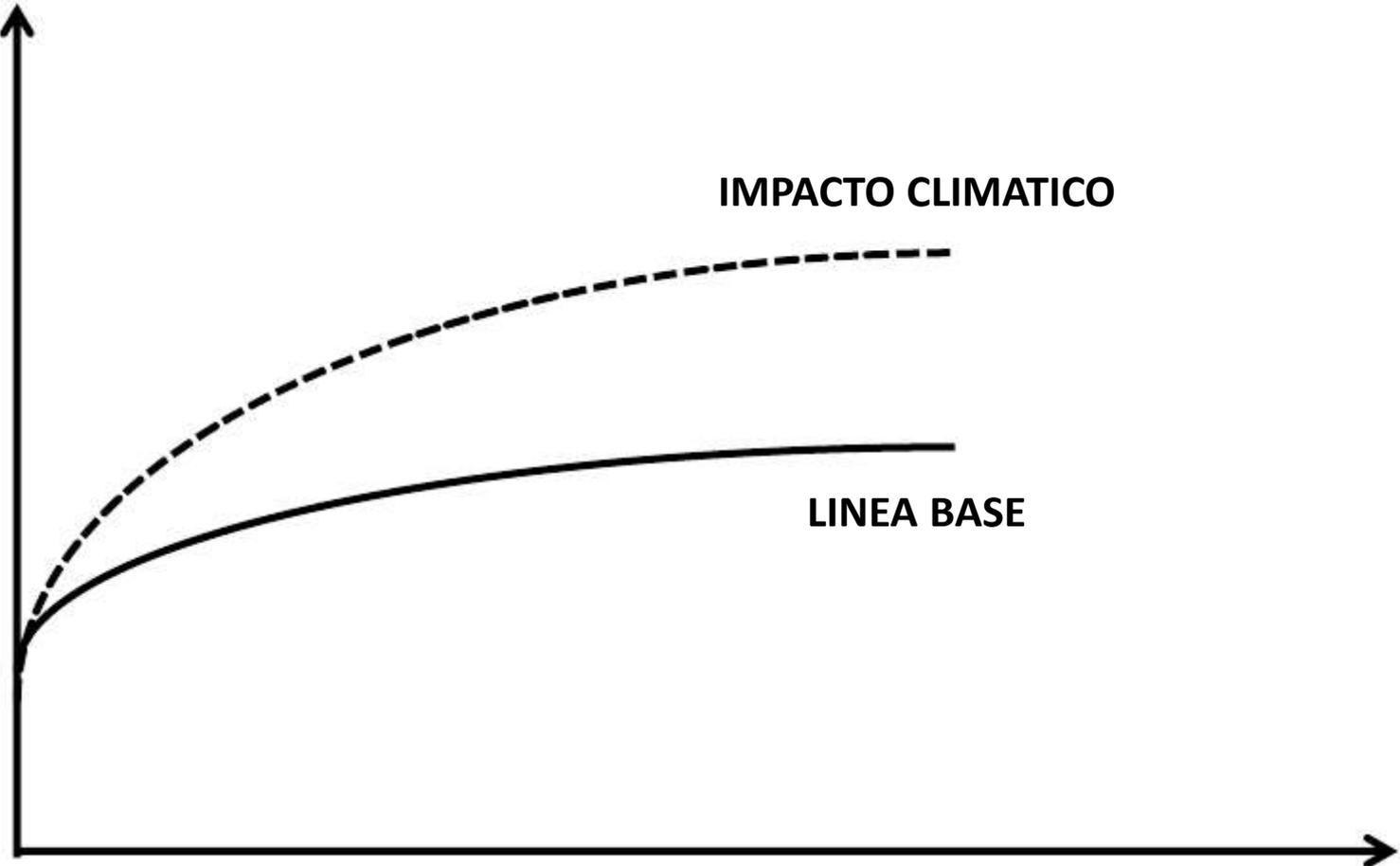
EXISTE UNA ALTA CORRELACION ENTRE:

- **PAISES RICOS**
- **EMISIONES DE CO2**
- **PARTICIPACION DE ENERGIAS RENOVABLES
Y NUCLEAR**

- **EL CAMBIO CLIMATICO TIENDE A ROMPER Y MODIFICAR LOS CICLOS NATURALES**
- **HACERLOS MAS AGUDOS O INTERRUMPIRLOS: CASO CHACALTAYA.**

IMPACTOS EN AMERICA LATINA POR EFECTO DE LA ELEVACION DE LA TEMPERATURA AMBIENTE

DEMANDA DE AGUA

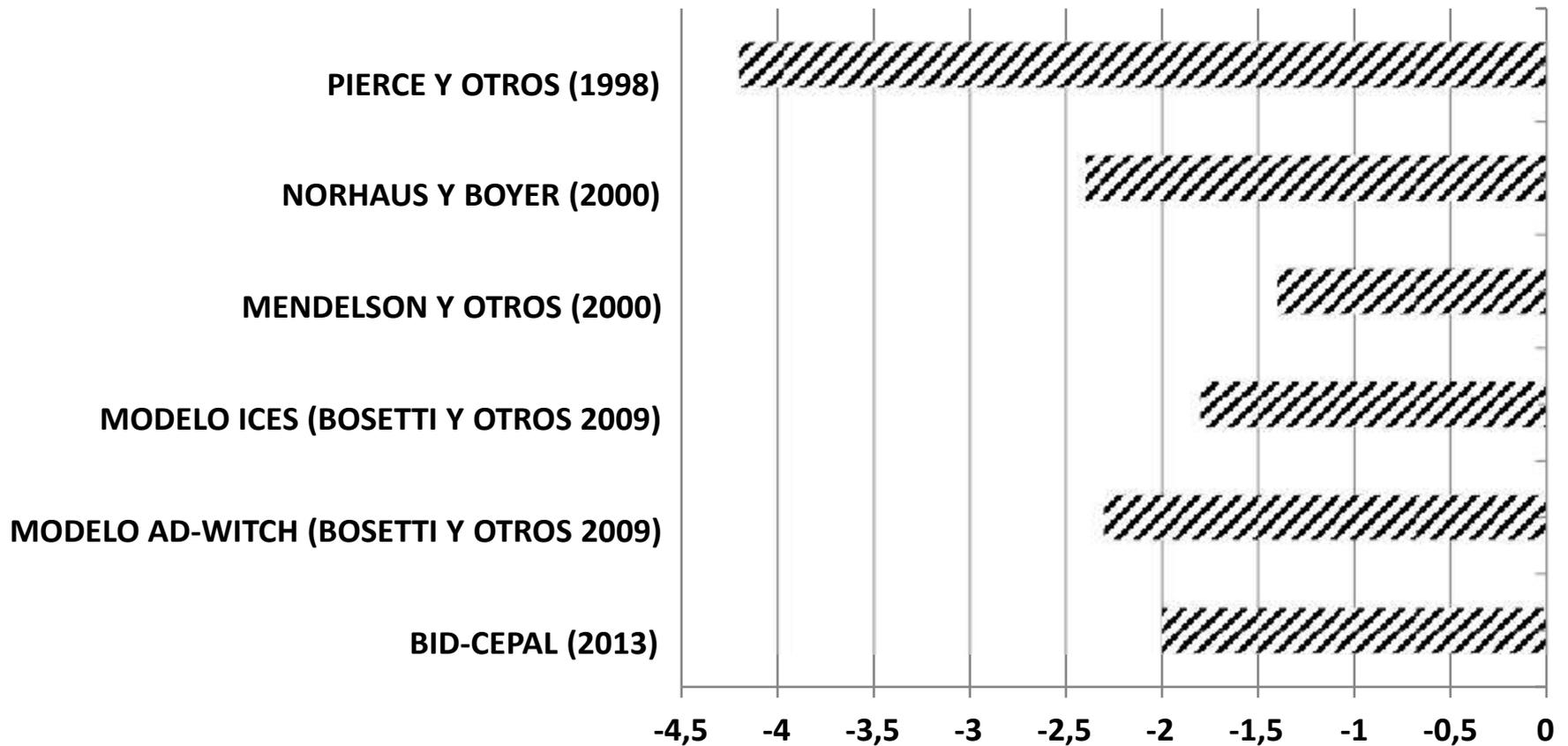


IMPACTO CLIMATICO

LINEA BASE

TIEMPO

IMPACTO DEL CAMBIO CLIMATICO SOBRE EL PIB EN LAC (en %) PARA 2,5° C



URBANIZACION EN AMERICA LATINA



**INCREMENTO DEL TRANSPORTE PRIVADO
PARA LOS INGRESOS MAS ALTOS**

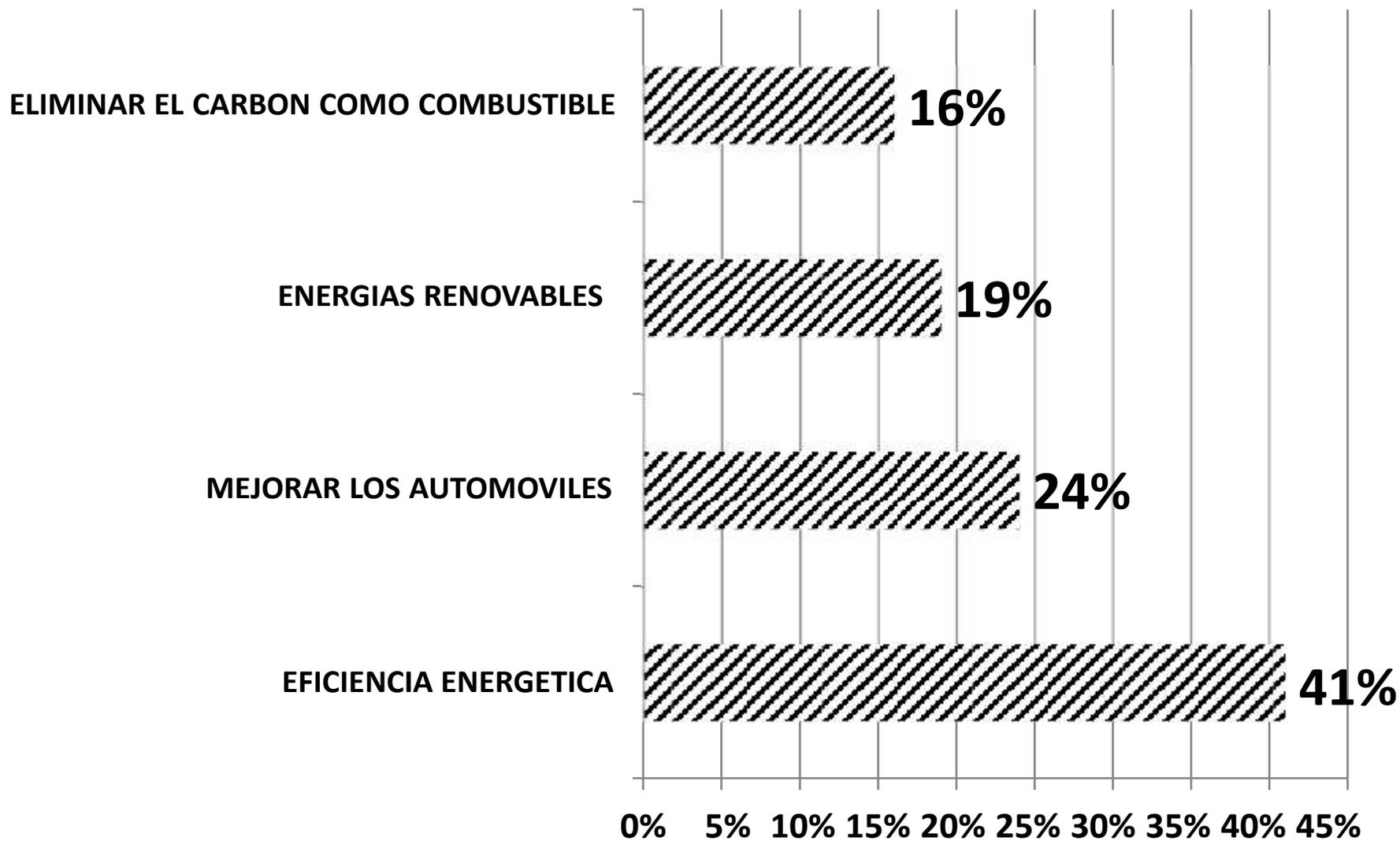


CONSUMO DE COMBUSTIBLES FOSILES



**INCREMENTO DE EMISIONES DE CO2
A LA MISMA TASA DE URBANIZACION**

ACCIONES PARA MITIGAR LAS EMISIONES DE CO2



BOLIVIA: COMPROMISOS COP 21

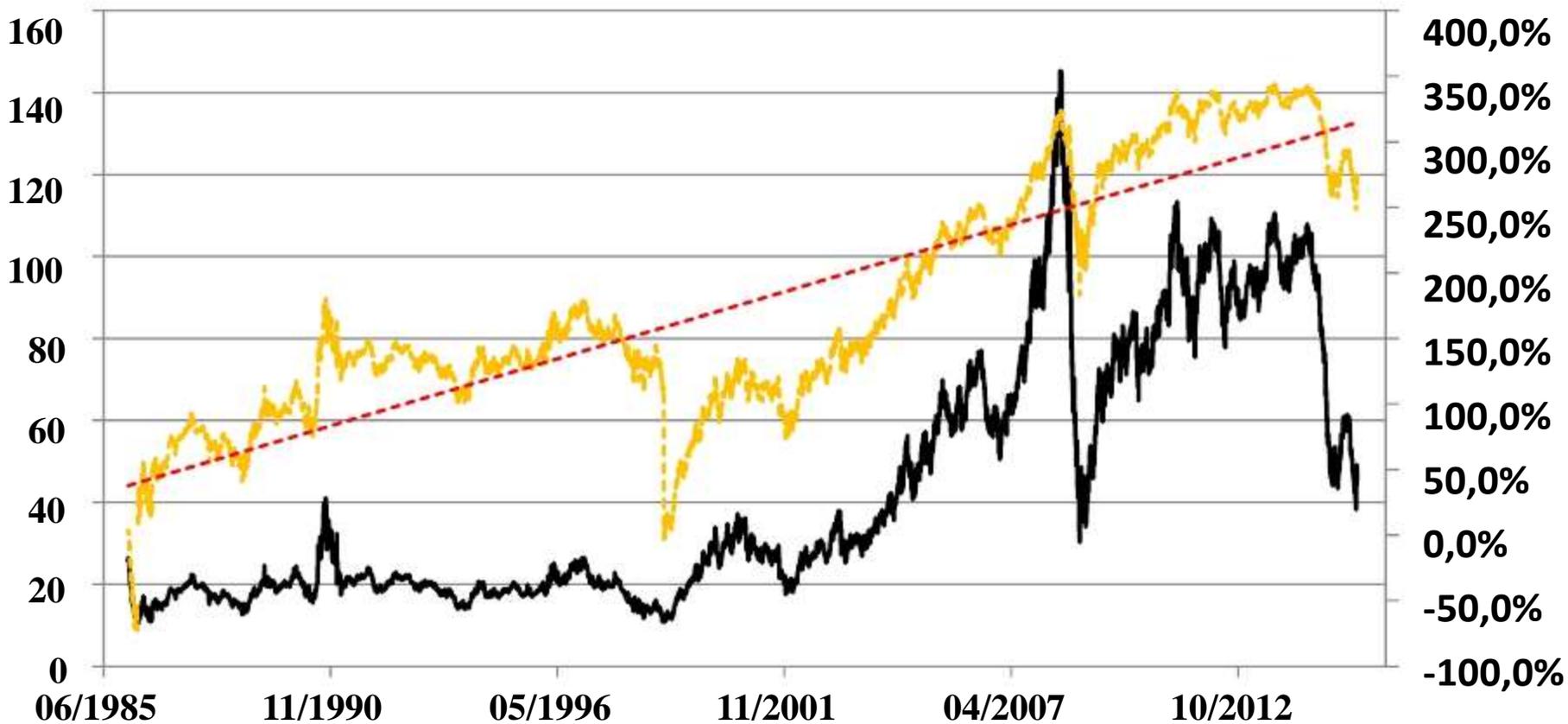
- 1 Se ha incrementado la participación de energías renovables a 79% al 2030 respecto al 39% del 2010.**
- 2 Se ha logrado incrementar la participación de las energías alternativas (no hidro) y otras energías (vapor ciclo combinado) del 2% el 2010 al 9% el 2030 en el total del sistema eléctrico, que implica un incremento de 1.228 MW al año 2030, respecto a 31 MW de 2010.**
- 3 Se ha incrementado la potencia del sector eléctrico a 13.387 MW al año 2030, respecto de 1.625 MW el 2010.**
- 4 Se han reducido las Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) por cobertura de electricidad de 14,6% el año 2010 a 3% el año 2025.**
- 5 Se ha desarrollado el potencial exportador de electricidad, generada principalmente por energías renovables, llegándose a exportar el año 2030 un estimado de 8.930 MW, incrementándose la renta energética del Estado.**
- 6 Se ha reducido la pobreza moderada al 13,4% al 2030 y erradicado la extrema pobreza al 2025, por impacto entre otros de la generación y cobertura de energía, incluyendo el incremento, distribución y redistribución de la renta energética.**
- 7 Se ha contribuido al crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB) a 5,4% al 2030, debido a la incidencia del sector energético.**

EN TERMINOS DE REDUCCIÓN DE CO2 EN EL SECTOR ELECTRICO

AÑO	2015	2030	Incremento/ año
ton CO2/MWh	0,41	0,040	-6,0%
Capacidad InstaladaMW	1.900	13.400	+40,4%

PRECIOS DEL GAS NATURAL Y DERIVADOS DEL PETROLEO

PRECIO DEL PETROLEO US\$/BARRIL (CORRIENTES) Y CRECIMIENTO ACUMULADO

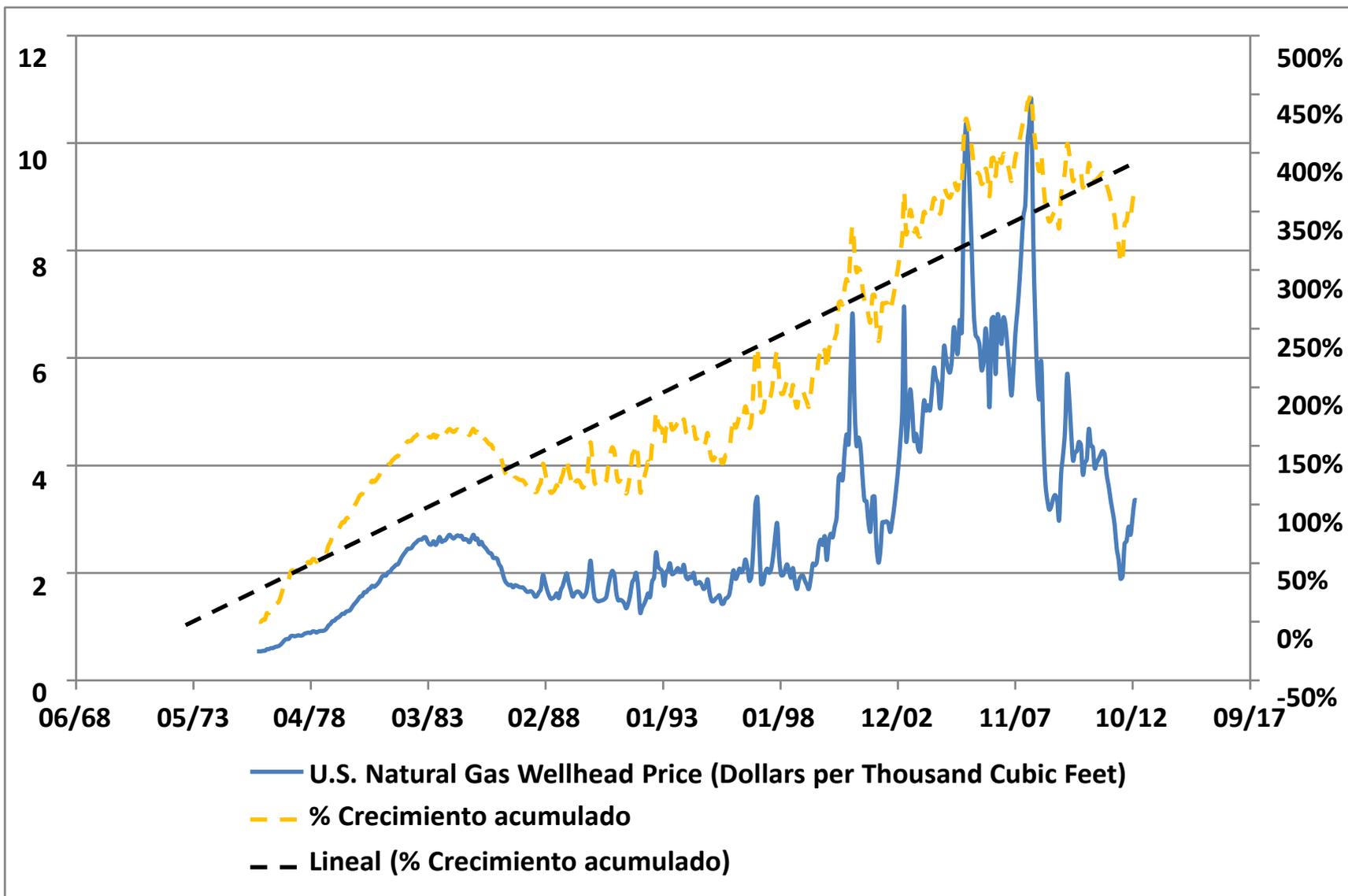


— Precio Petroleo WTI

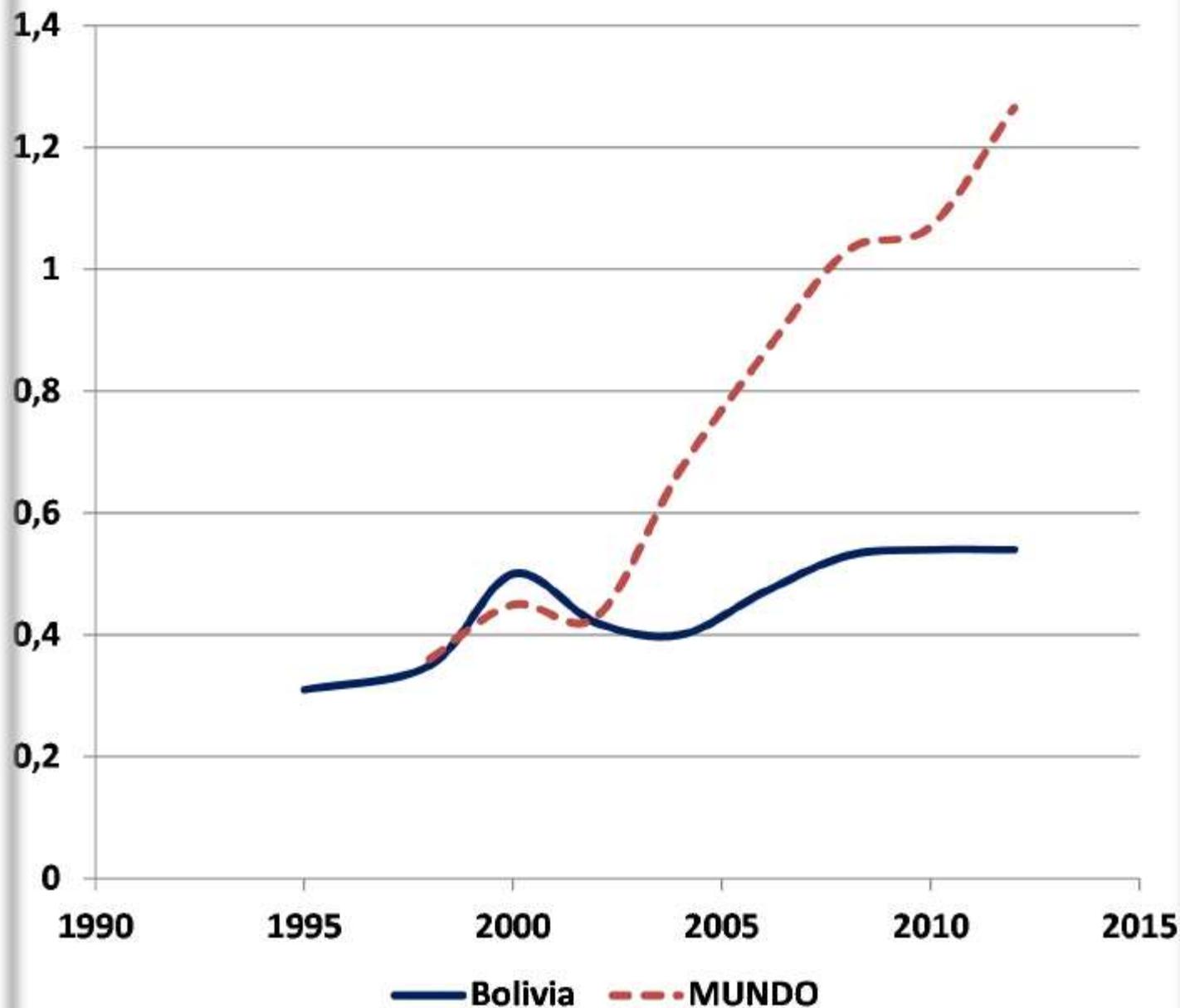
--- Crecimiento acumulado %

--- Lineal (Crecimiento acumulado %)

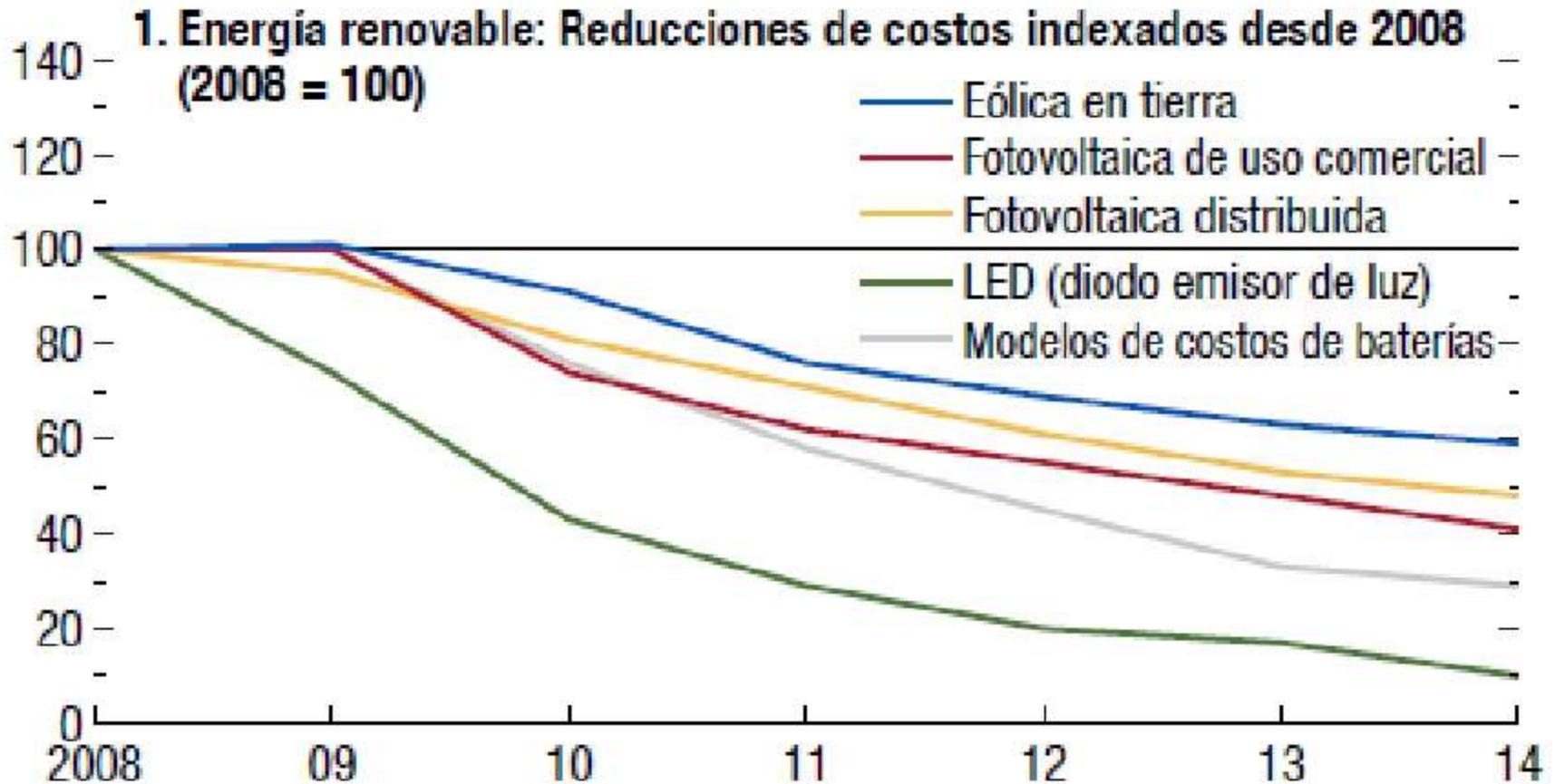
PRECIO DEL GAS NATURAL US\$/MPC (CORRIENTES)



PRECIO DEL LITRO DE DIESEL EN US\$ (=2011)



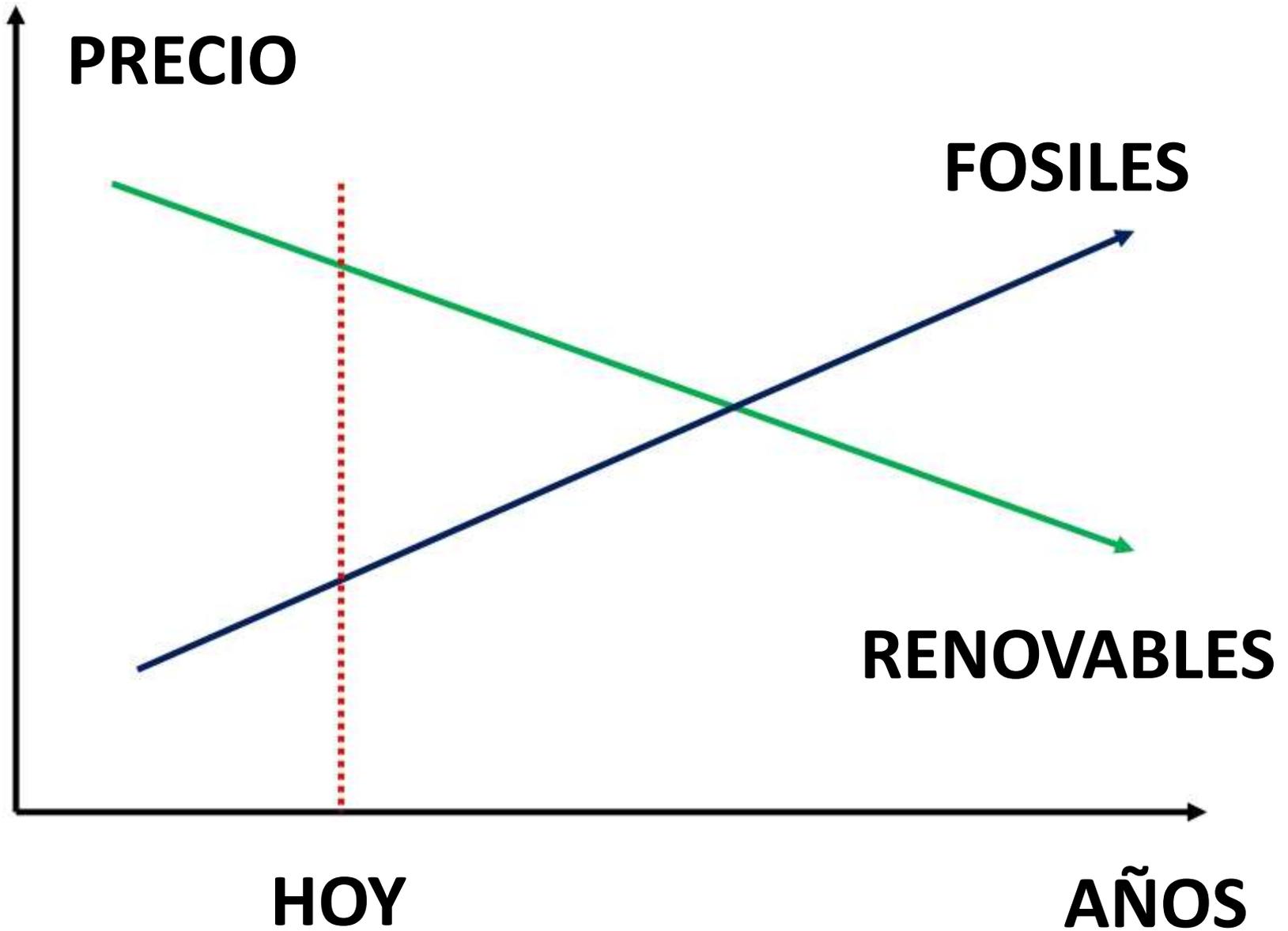
PRECIOS DE LAS RENOVABLES



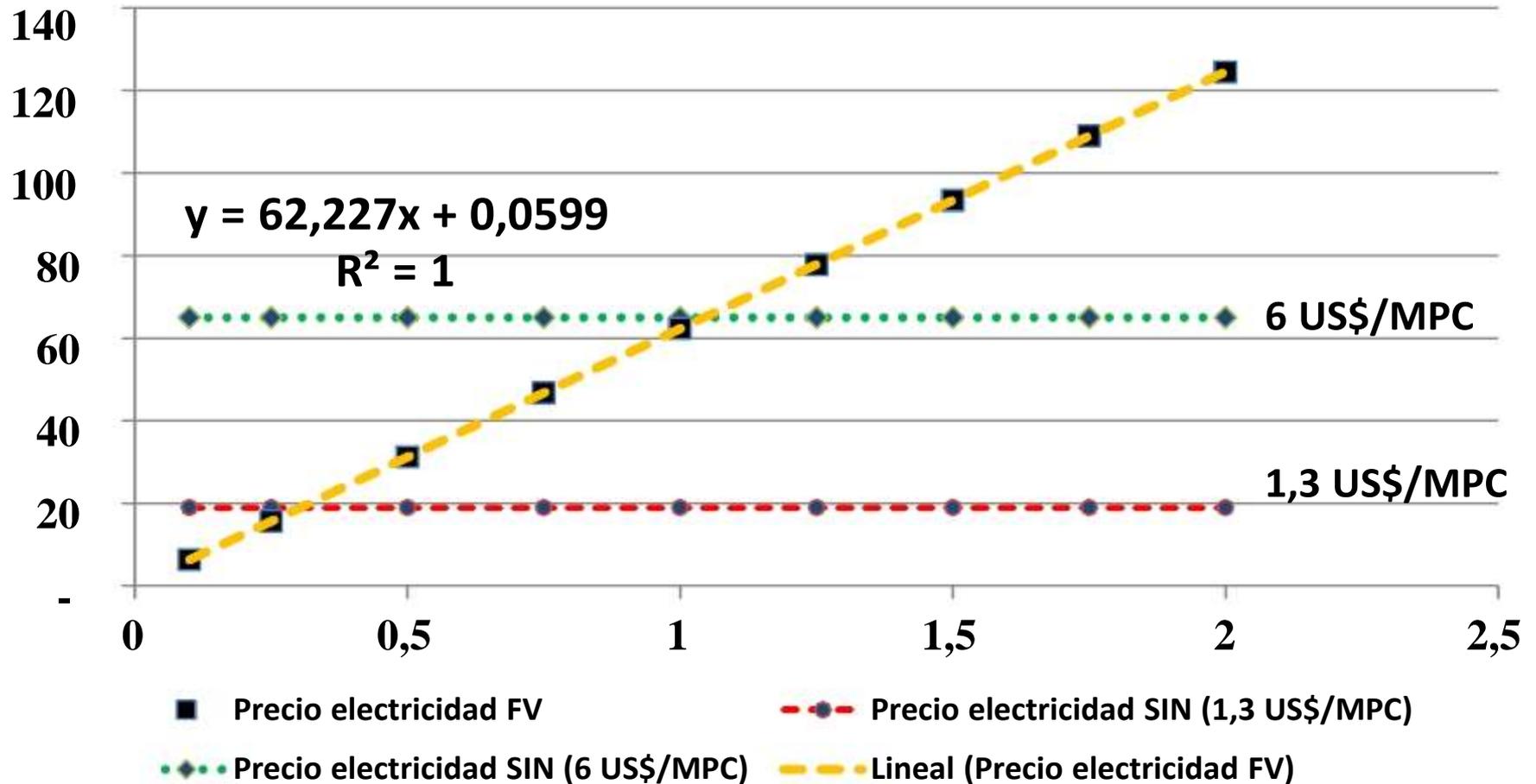
**LOS COMBUSTIBLES FOSILES
TIENDEN A SUBIR DE PRECIO**

**LA ENERGIAS RENOVABLES
TIENDEN A BAJAR EN PRECIO**

TENDENCIAS



BOLIVIA: PRECIO ELECTRICIDAD FV (US\$/MWh) EN FUNCION DEL PRECIO DEL Wattpico (US\$/Wp)



PRODUCCION DE ELECTRICIDAD

kWh - ENERGIA

FACTOR DE PLANTA

- Las operaciones de mantenimiento, los fallos más o menos largos de equipamientos, etc.
- La ausencia de demanda de electricidad que obliga a los administradores de red a disminuir o parar la producción en algunas unidades.
- La intermitencia o irregularidad de la fuente de energía como es, por ejemplo, el caso de la energía solar o la energía eólica, respectivamente.
- Las pérdidas debidas a equipos eléctricos como inversores AC/DC, líneas de transmisión internas, etc. Otras pérdidas debidas por ejemplo a sombras en el caso de energía solar.

FACTOR DE PLANTA

$F_p = \text{Energía real producida} / (\text{potencia efectiva} * 8760)$

Parqueeólico:	20-40%.
Panel fotovoltaico:	10-15%.
Central hidroeléctrica:	60%.
Central nuclear:	60%-98%.
Central termoeléctrica a carbón:	70-90%.
Central de ciclo combinado:	60%

$$\text{Energía producida} = F_p * \text{Potencia efectiva} * 8760$$



$$\text{Energía producida} = F_p * \text{COP} * \text{Fuente Renovable} * 8760$$

$$F_p < 1$$

$$\text{COP} < 1$$

$$F_p * \text{COP} \ll 1$$

ASPECTOS ECONOMICOS

COSTOS NORMALIZADOS DE ENERGIA LEVELIZED COST OF ENERGY (LCOE)

Ingreso = Egreso

Precio * Energía = Inversión + C O&M

$$\sum_{i=0}^n CNE * (1 + t)^{-i} * E_i = \sum_{i=0}^n (I_i + CO\&M_i) * (1 + t)^{-i}$$

$$CNE = \frac{\sum_{i=0}^n (I_i + CO\&M_i) * (1 + t)^{-i}}{\sum_{i=0}^n (1 + t)^{-i} * E_i}$$

COSTO NORMALIZADO DE ENERGIA

- REPRESENTA EL COSTO DE PRODUCCION AL CUAL EL VAN ES CERO PARA EL PERIODO CONSIDERADO Y A LA TASA DE ACTUALIZACION.**
- LA TASA INTERNA DE RETORNO (TIR) ES IGUAL A LA TASA DE ACTUALIZACION.**
- PERMITE COMPARAR DIFERENTES PROYECTOS**
- EL CNE ES EL PRECIO DE VENTA DE LA ENERGIA PRODUCIDA Y SIRVE DE BASE PARA ESTIMAR LOS “PREMIOS” A OTORGARSE**

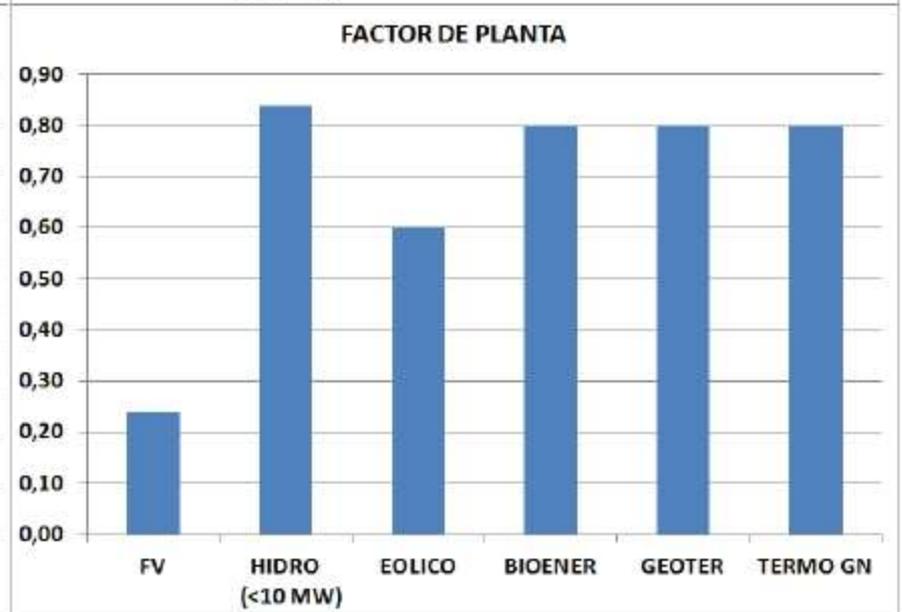
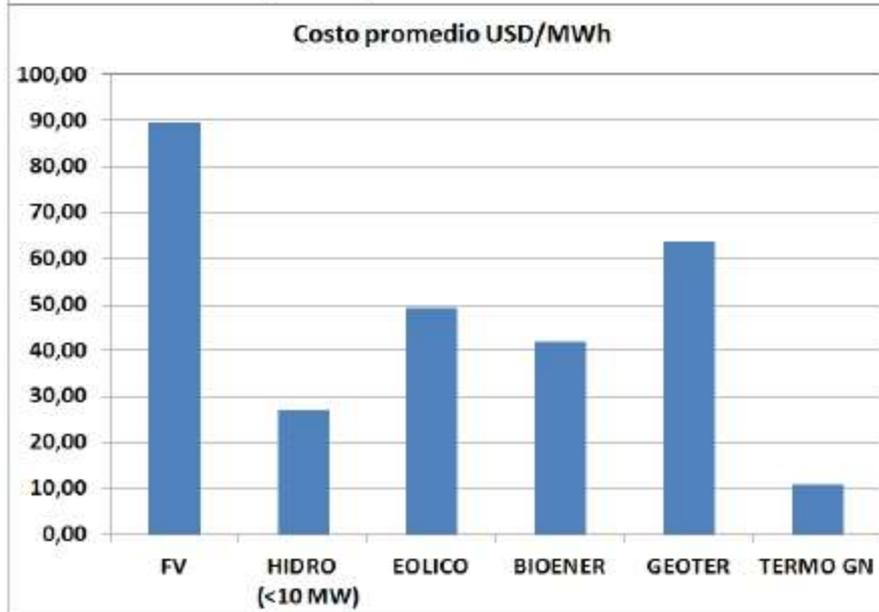
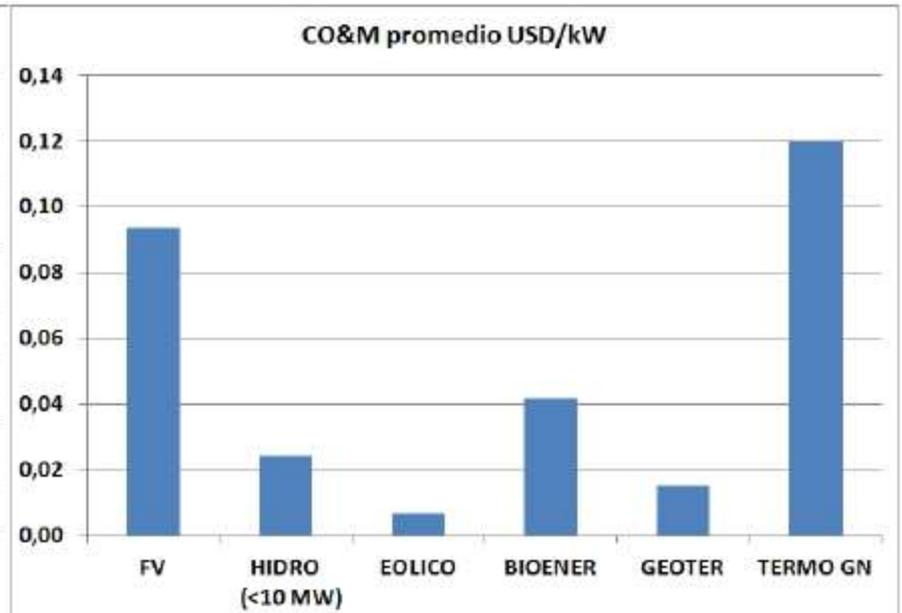
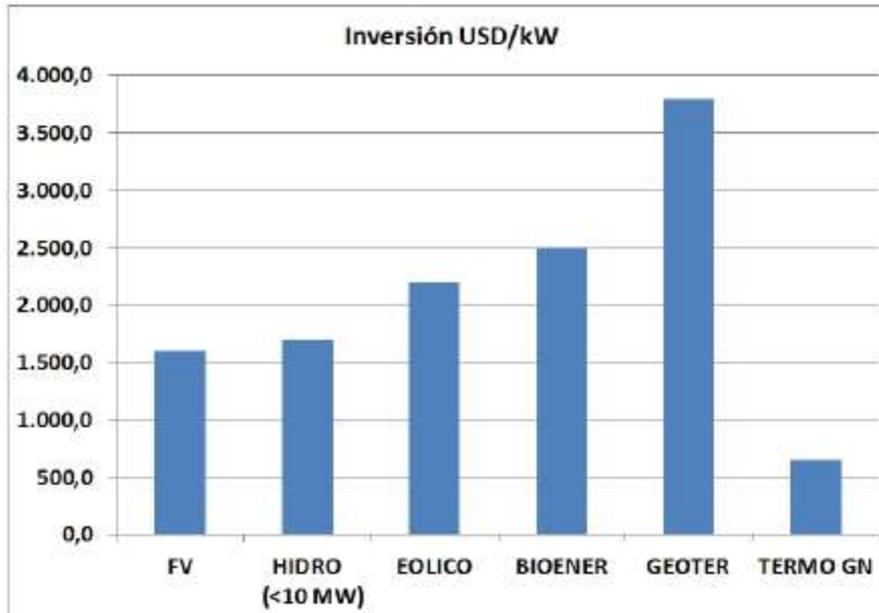
EJEMPLOS BAJO SUPUESTOS

- **CADA AÑO LA PRODUCCION DE ELECTRICIDAD ES LA MISMA**
- **NO HAY INFLACION**
- **LA PARIDAD DEL DÓLAR SE MANTIENE CONSTANTE**
- **SE VENDE TODA LA ENERGIA PRODUCIDA**
- **SE VENDE TODA LA POTENCIA FIRME**

PRECIOS - 2015

num_años	20					
tasa_actualización	10,0%					
	FV	HIDRO (<10 MW)	EOLICO	BIOENER	GEOTER	TERMO GN
Inversión USD/kW	1.600,0	1.700,0	2.200,0	2.500,0	3.800,0	650,0
CO&M promedio USD/kW	0,094	0,024	0,007	0,042	0,015	0,120
Tamaño kW	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
FACTOR DE PLANTA	0,24	0,84	0,60	0,80	0,80	0,80
Energía producida kWh	2.102,4	7.358,4	5.256,0	7.008,0	7.008,0	7.008,0
Factor Actualización	8,51	8,51	8,51	8,51	8,51	8,51
Costo promedio USD/MWh	89,44	27,14	49,17	41,91	63,69	10,91
Precio promedio Nodo USD/MWh	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52
Precio promedio Nodo USD/kW-mes	12,21	12,21	12,21	12,21	12,21	12,21
Precio monómico USD/MWh	16,52	18,18	16,52	18,26	18,26	18,26

COSTOS INVERSION Y O&M



$$C.G. \left[\frac{US\$}{MWh} \right] = \frac{\sum_{i=0}^n \frac{I_i + CC_i + O\&M_i}{(1+r)^i}}{\sum_{i=0}^n \frac{E_i}{(1+r)^i}}$$

Donde:

I_i = Costo inversión en el año i [US\$]

CC_i = Costo Ciclo de Combustible en el año i [US\$]

$O\&M_i$ = Costo de mantención y operación en el año i [US\$]

E_i = Energía Generada en el año i [MWh]

n = vida útil más el tiempo de construcción [Años]

r = tasa de descuento

C.G. = Costo de la electricidad (Levelized Cost Of Electricity)

$$C.G. \left[\frac{US\$}{MWh} \right] = \frac{\sum_{i=0}^n \frac{I_i + CC_i + O\&M_i}{(1+r)^i}}{\sum_{i=0}^n \frac{E_i}{(1+r)^i}}$$

Fijando n y r como constantes, podemos constatar lo siguiente:

- CC_i es cero
- $O\&M_i$ entre 3 a 5% de I_i
- I_i valor alto
- E_i es la energía generada depende de los valores F_p y COP

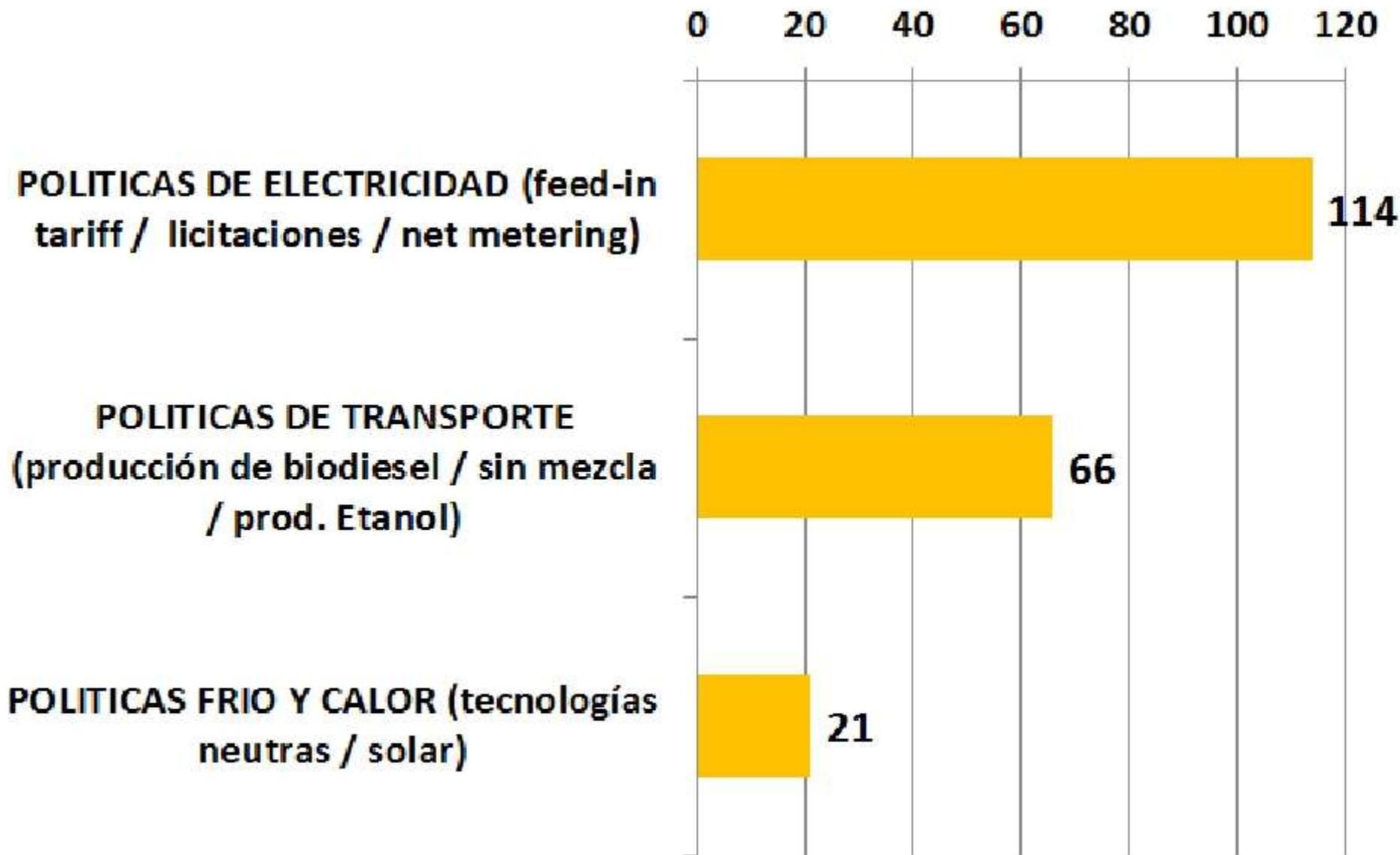
CONSECUENCIAS

Reducir la Inversión, incrementar COP, incrementar F_p

- i) Incentivar la producción de equipos de energía alternativa, incrementando su demanda,
- ii) Establecer centros de investigación y desarrollo de estas fuentes energéticas y
- iii) Modificar el patrón de la demanda de electricidad y haciendo que su uso sea más eficiente (aplanar la curva de carga, utilizar focos y equipos que ahorran electricidad, trasladar cargas a horas en la cuales la electricidad es más barata, etc.).

POLITICAS QUE PROMUEVEN LAS ENERGIAS RENOVABLES

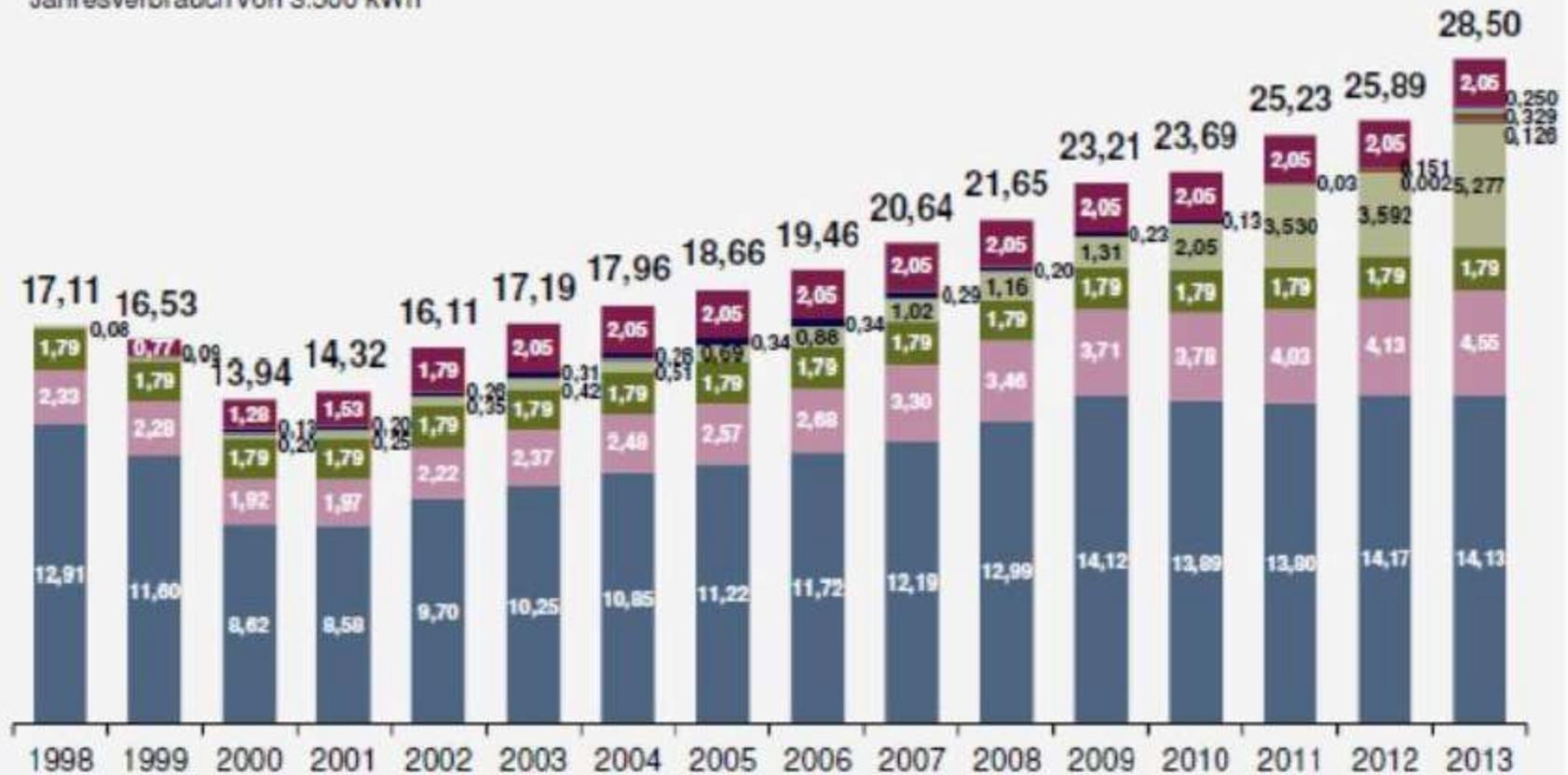
PAISES CON POLITICAS

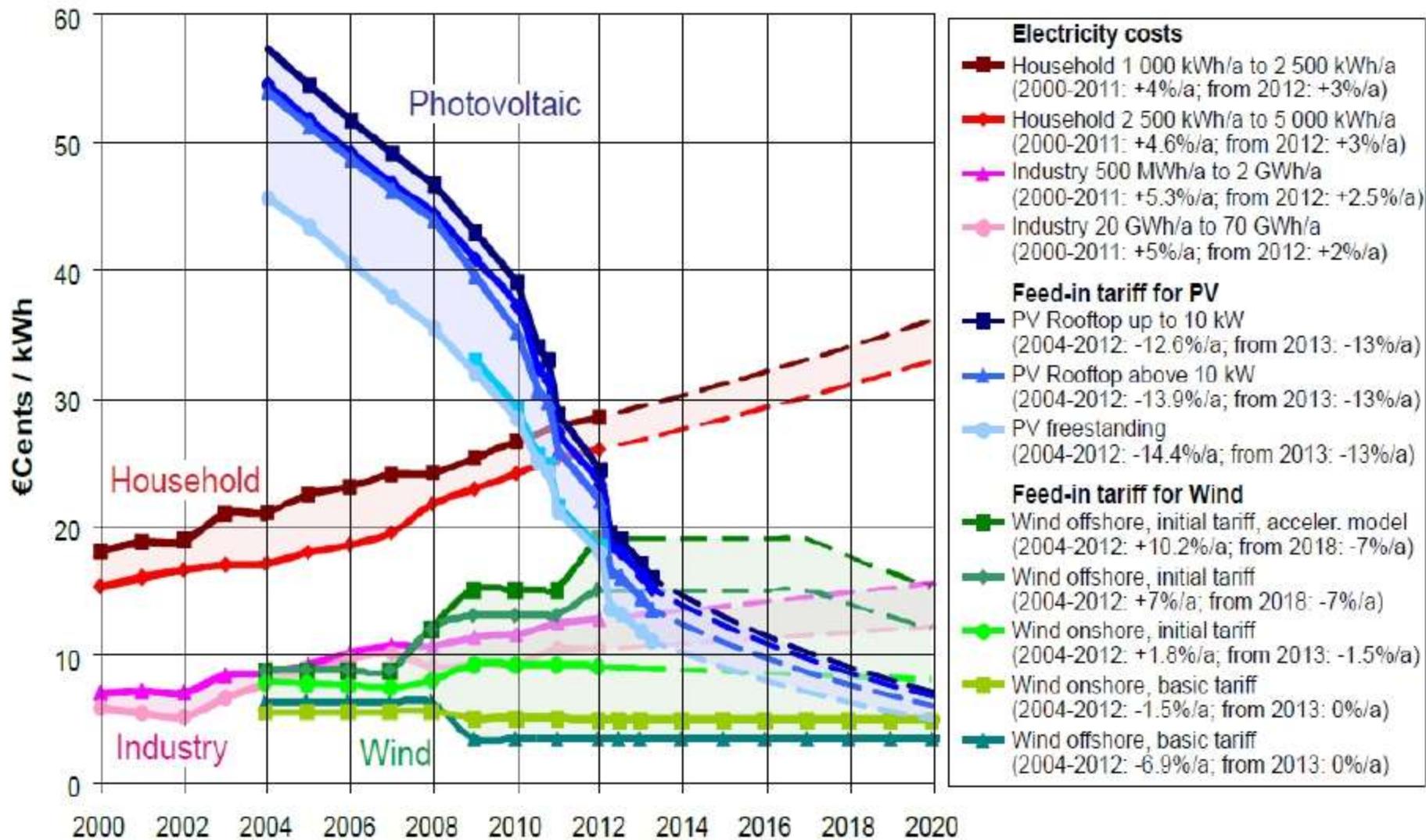


PRECIO DE LA ELECTRICIDAD PARA RESIDENCIALES

Precio promedio para una vivienda de 3 personas in ct €/kwh

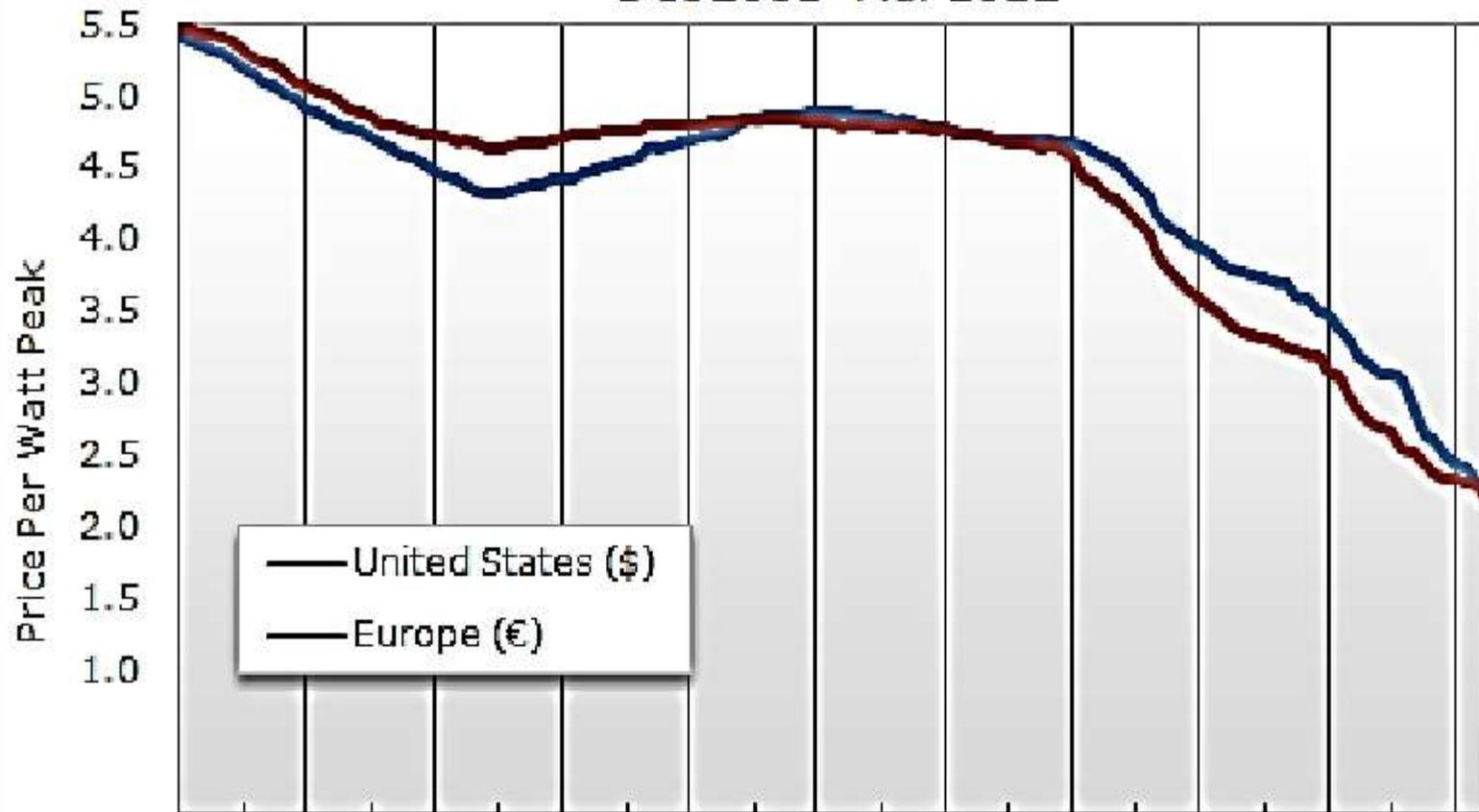
Jahresverbrauch von 3.500 kWh

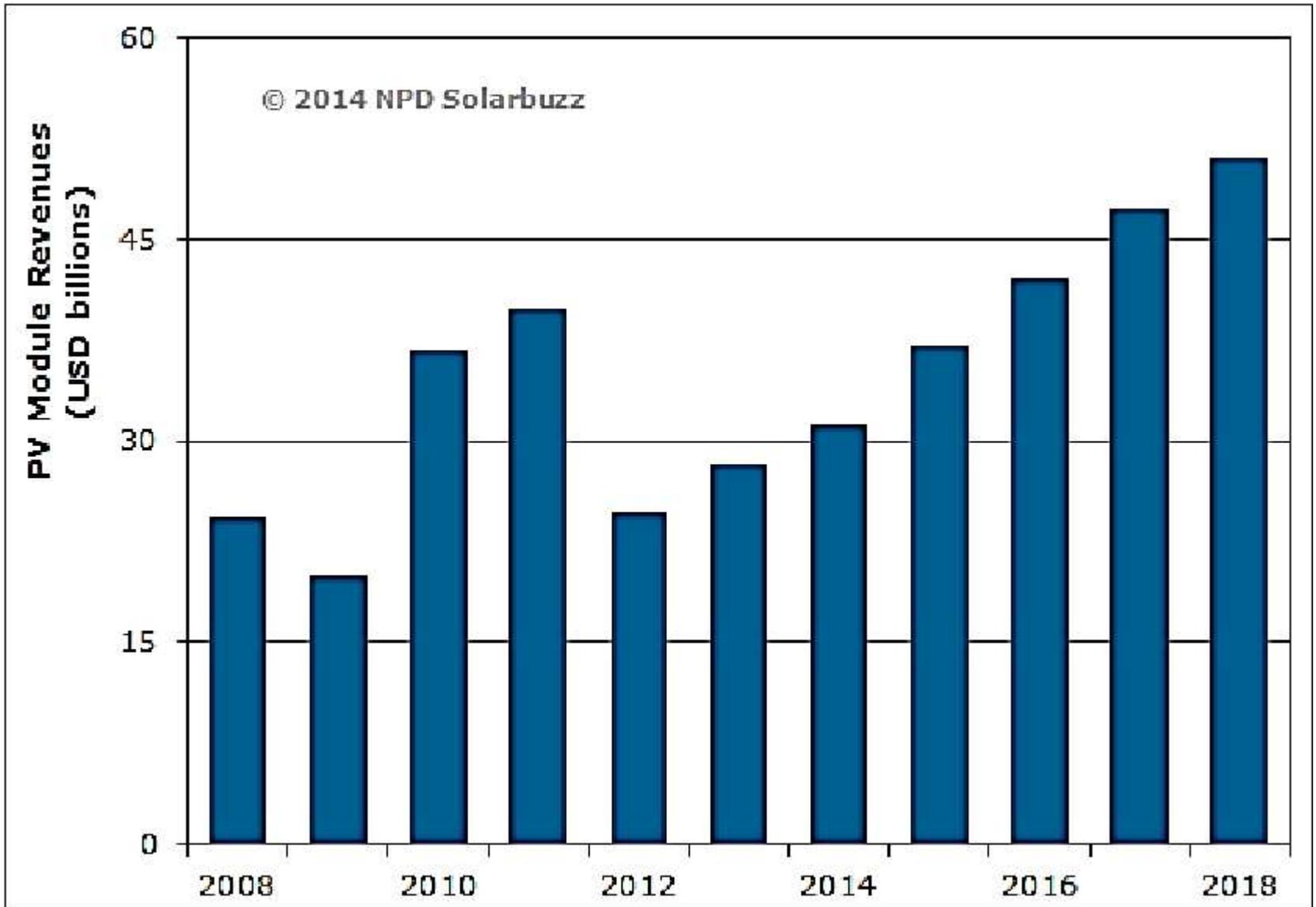




NPD Solarbuzz Retail Module Price Index

Dec 2001 - Mar 2012





MECANISMOS VOLUNTARIOS

- Venta de una cantidad fija de kWh por mes a un precio también fijo y estable en el largo plazo.
- Venta de energía alternativa como un porcentaje del consumo mensual.
- Cargo fijo por kWh que proviene de las energías renovables.
- Contrato por potencia máxima y fija en kW.
- Emisión de Certificados de Energía Renovable (CER) por parte de los generadores de este tipo de energía.
- «Net metering» o «saldo neto»: un consumidor puede generar su propia energía con una fuente alternativa en su domicilio o empresa y consumir lo que autoproduce, exporta a la red el excedente.

MECANISMOS MANDATORIOS

- Resultados de las políticas nacionales o regionales que se han traducido en leyes que fijan metas.
- Las leyes generan condiciones para que determinadas fuentes renovables sean elegibles.
- Imponen obligaciones a las empresas eléctricas como generar una fracción de su demanda con energías alternativas o facilitar el acceso y el despacho preferente a estas fuentes energéticas.

CERTIFICADOS

- Generadores con energía alternativa emiten certificados.
- Son recolectados por empresas intermediarias y autorizadas en la colocación de estos certificados.
- Compiten y se venden aquellos que son más baratos.
- Empresas consumidoras y las empresas eléctricas compran estos CER.

FEED-IN-TARIFF

- Promoción de la generación distribuida con energías alternativas.
- La empresa eléctrica compra esta producción a un precio «feed-in-tariff».
- La empresa eléctrica de distribución está obligada a comprar toda la producción y presentar los comprobantes de compra como prueba de cumplimiento de las obligaciones de suministrar una fracción de su demanda con energías renovables.
- La empresa eléctrica para poder pagar a las energías renovables “algo más”, debe transferir este “plus” a todos los consumidores que están bajo su área de operación.

NET METERING

- Se venden los excedentes y se compran los déficits de electricidad a precios de distribución.

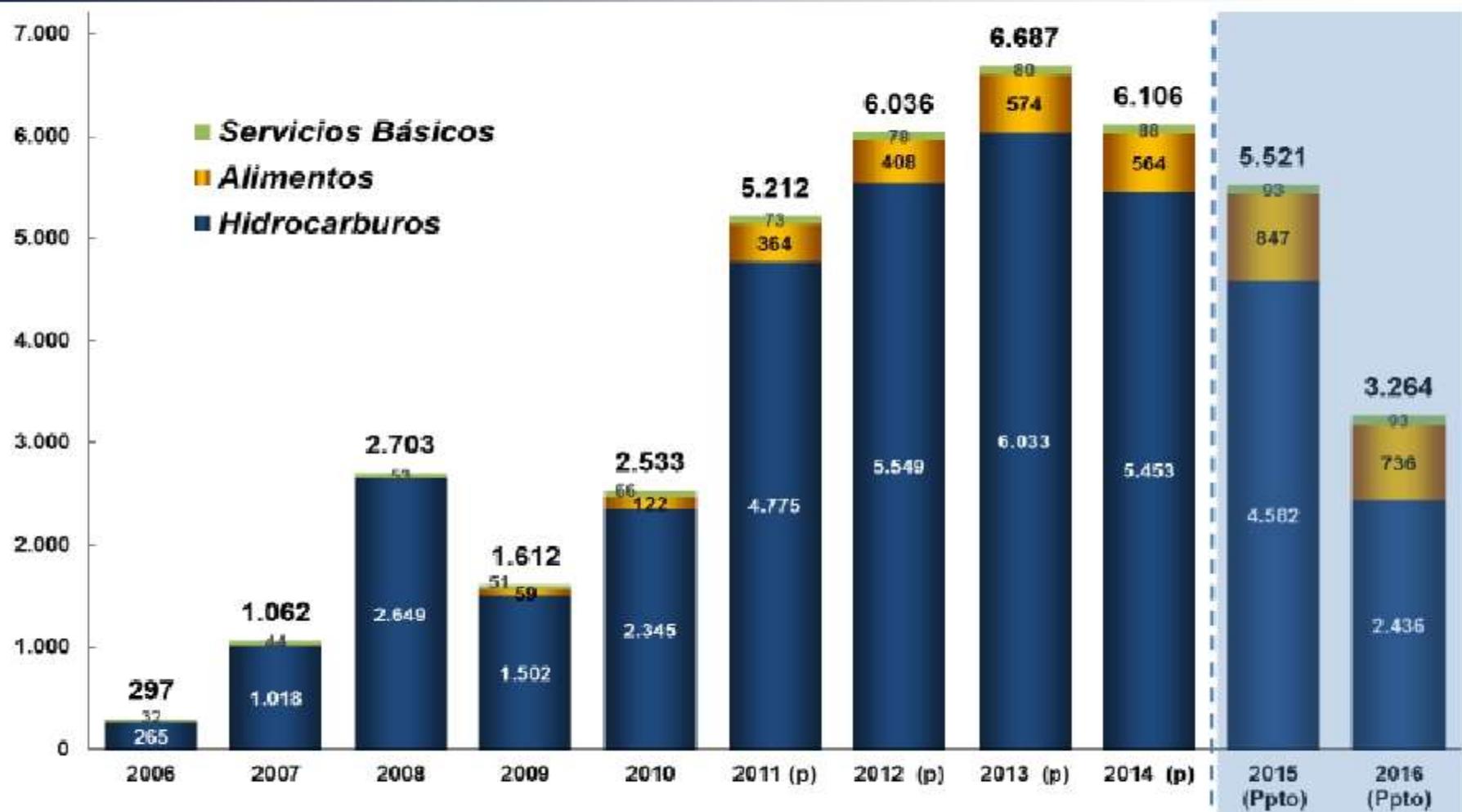
FONDOS DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS

- Se alimenta estos fondos a través de un cargo al consumo de electricidad, por lo general, correspondiente a una milésima parte del precio del kWh consumido.
- El propio gobierno nacional o local, aporta recursos a estos fondos para fines específicos y modalidades de gasto o asignación de recursos ya predeterminados
- Los fondos son subastados entre diversos generadores de fuentes alternativas con la finalidad de establecer contratos de largo plazo y sirven para cubrir la diferencia entre los precios de mercado y los precios resultantes de la generación eléctrica con una fuente alternativa.
- La ventaja de la subasta de estos recursos radica en que anticipa la cantidad energía renovable que puede ser introducida al sistema ya que los recursos son limitados.
- Muchos son administrados por los respectivos gobiernos, ya sean nacionales o locales y son un instrumento para la implementación de políticas energéticas orientadas a las fuentes renovables.

CASO BOLIVIANO

Subvención de Hidrocarburos, Alimentos y Servicios Básicos, 2006 – 2016(P)

(Millones de Bolivianos)



Fuente: En base a datos Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB), Ministerio de Hidrocarburos y Energía (MHE), EMAPA, Insumos Bolivia
 Elaboración: MEFP-VPCF-DGPGR-UGPPP
 (p) Preliminar
 (Ppto) Presupuesto 2015 y 2016

Costo de la subvención al Diésel Oíl, GLP, Gasolina Especial, Gas Oíl y Campos de Petróleo

(En Millones de Dólares)



Fuente: GNC-DNHL Dirección Nacional de Hidrocarburos Líquidos y Gerencia de Comercialización - YPFB, YPFB Refinación y Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH)

(p) Preliminar, según información remitida por YPFB

(e) Estimación con datos de YPFB

(Ppto) Presupuestos Aprobados 2013-2015 y proyecto de PGE 2016

Proyectos de cambio de matriz energética 2016-2017

- En este año, la estatal ENDE prevé inyectar al menos 53,3 megavatios (MW) de electricidad con energías alternativas. Para 2017 proyecta adicionar otros de 210 MW.

PROYECTO	Empresa ejecutora	Tecnología	Potencia (MW)	Etapa	Ubicación	Inversión (en MM de Bs)	Año de conclusión
Planta Solar Yunchara	EGSA	Solar	5 MW	Estudio TESA	Tarija	Por definir	2016
Solar Riberalta Guayaramerín	EGSA	Solar	8,3 MW	Estudio TESA	Beni-Pando	Por definir	2016
Biomasa Riberalta	EGSA	Biomasa	10-20 MW	Estudio TESA	Beni	Por definir	2016
Biomasa Cobija-Pando	EGSA	Biomasa	15-20 MW	Estudio TESA	Pando	Por definir	2016
Adición de al menos 53,3 MW							
Solar Oruro	EGSA	Solar	50 MW	Definición de financiador	Oruro	662,6	2017
Solar Uyuni	EGSA	Solar	60 MW	Licitación para construcción	Potosí	584,6	2017
Estudio eólico San Julián	Corani	Eólica	30 MW	Conclusión de estudios	Santa Cruz-San Julián	501,1	2017
Estudio eólico El Dorado	Corani	Eólica	30 MW	Conclusión de estudios	Santa Cruz-El Dorado	501,1	2017
Estudio eólico Warnes	Corani	Eólica	20 MW	Conclusión de estudios	Santa Cruz-Warnes	334,1	2017
Parque eólico La Ventolera	Corani	Eólica	20 MW	Conclusión de estudios	Tarija-La Ventolera	334,1	2017

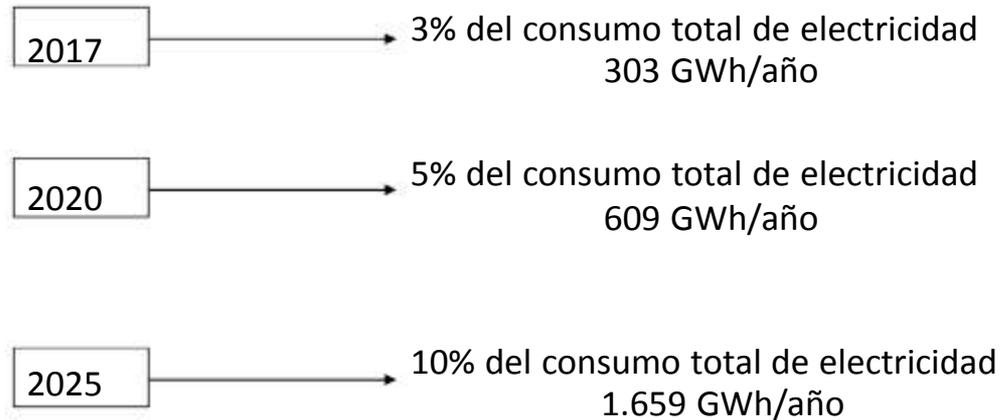
Inyección de 210 MW

APLICACIÓN DE LA ENERGÍAS ALTERNATIVAS EN BOLIVIA

- Proyectos de generación conectados al SIN a un nodo de retiro. En este caso, el precio básico que se pagará es el precio de nodo correspondiente más un incentivo que cubra la diferencia.
- La generación distribuida a partir de desechos orgánicos (vertederos o lagunas de estabilización). En este caso la empresa distribuidora debería permitir el acceso a su red y al mismo tiempo comprar esta energía. No hay normativa al respecto.
- El autoconsumo con energías alternativas aún estando conectados a la red o lo que se denominó “saldo neto” o “net metering” en baja tensión. Aún no es una opción.
- La generación de electricidad para pequeñas redes eléctricas con la finalidad de desplazar parcialmente la generación con diesel (Beni y Pando). Con precios de Bs9/litro de diesel.
- Sistemas autónomos para electrificación rural.

PROYECTOS DE NORMA

Penetración de las Fuentes de Energía Alternativa en la Matriz Eléctrica de Bolivia:



El Ministerio de Hidrocarburos y Energía formula política de EA, en el marco de la Constitución Política del Estado .

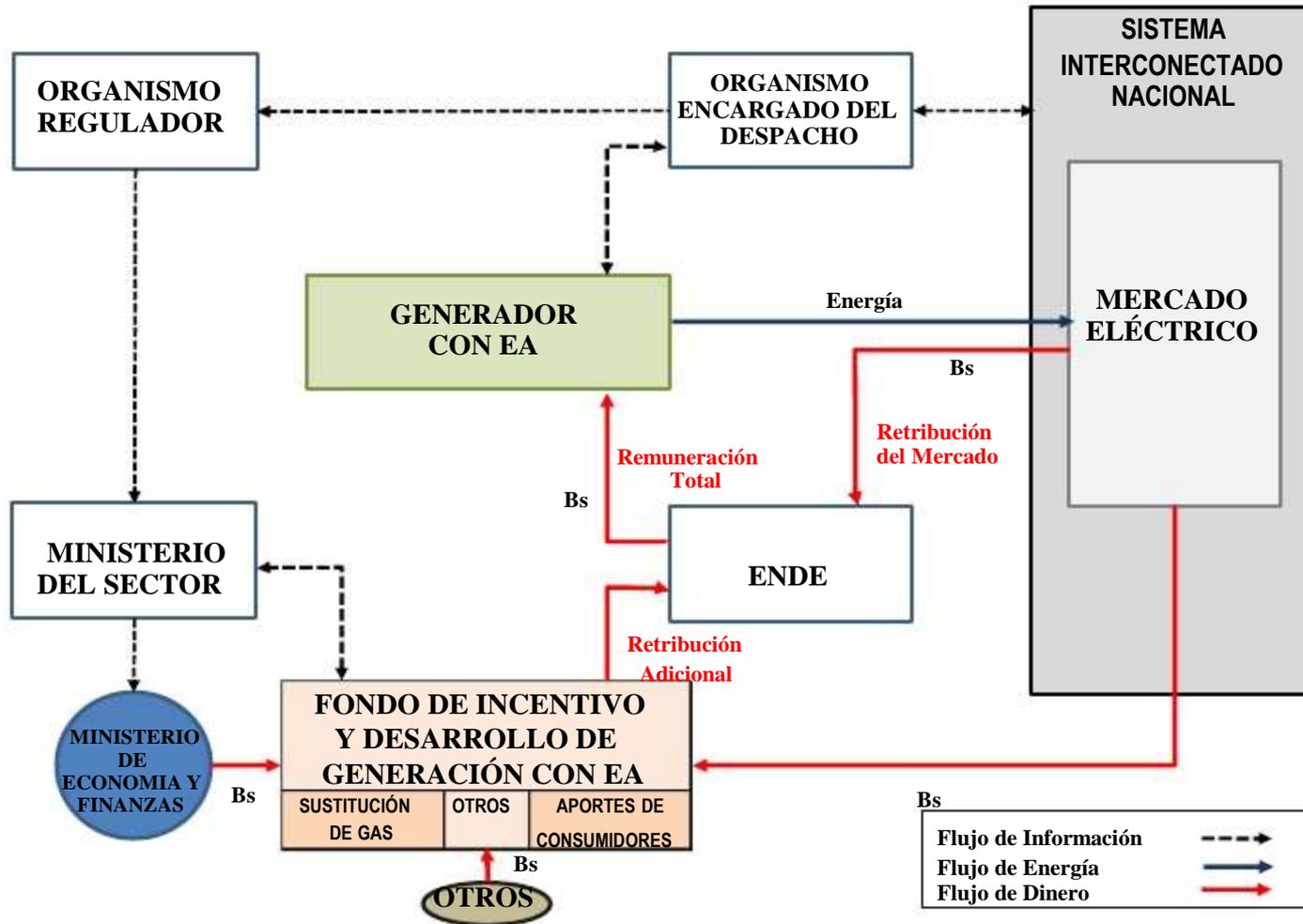
FONDO DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS

- **Generación de un fondo de incentivo y desarrollo de la generación de electricidad con energías alternativas.**
- **Un aporte de los consumidores (puede provenir de las categorías comercial, industrial, consumidores no regulados)**
- **Un aporte del Ministerio de Economía y Finanzas proveniente de la exportación de gas natural por efecto de su sustitución en el sector eléctrico**
- **“Otros” provenientes de donaciones y créditos de la cooperación internacional.**

DECRETO SUPREMO N° 2048

- PAGAN A LAS RENOVABLES LA DIFERENCIA ENTRE LOS COSTOS DE PRODUCCION DE LARGO PLAZO Y LOS INGRESOS POR POTENCIA Y ENERGIA DE CORTO PLAZO.
- FUENTES: LOS FONDOS DE ESTABILIZACION, LOS CONSUMIDORES NO REGULADOS Y LOS CONSUMOS DOMICILIARIOS DE MAS DE 1000 kWh/mes.

LEY DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD CON ENERGÍAS ALTERNATIVAS OPERACIÓN TÉCNICA Y COMERCIAL DEL GE CON EA EN EL SIN



Remuneración de las energías renovables (DS 2048)

- **Se aprueba un ajuste por “adaptabilidad” al precio de nodo.**
- **Las distribuidoras se reparten los costos proporcionalmente a las compras de electricidad.**
- **Semestralmente se efectúa la reliquidación a las energías renovables.**
- **El MHE establece los criterios de elegibilidad.**

Efectos corto plazo

Activar el potencial de energías renovables en el Sistema Interconectado Nacional:

- Hidroeléctricas de pasada (hasta 2 MW).**
- Ampliación de la energía eólica (50 MW).**
- Explotación de la geotermia (100 MW).**
- Solar FV en el altiplano (20 MW).**
- Biomasa de San Buenaventura (10 MW).**

Total 180 MW = 15% de la potencia instalada actual

Efectos en el largo plazo

- **Cambio de la matriz energética.**
- **Estabilizar las emisiones de CO₂ y con ello estabilizar el desarrollo económico.**
- **Menor dependencia de los combustibles fósiles.**

ESTIMACION DEL FINANCIAMIENTO

- **Para alcanzar la meta del 10%**
- **El cálculo muestra que para el período 2017 a 2025, en promedio, se requieren 30,4 millones de dólares por año**
- **Transacciones: US\$ 459.000.000 por año.**
- **6% de las transacciones.**

FIN