

Oportunidades y Retos para las Energías Renovables en Colombia

FERNANDO VILLADA DUQUE

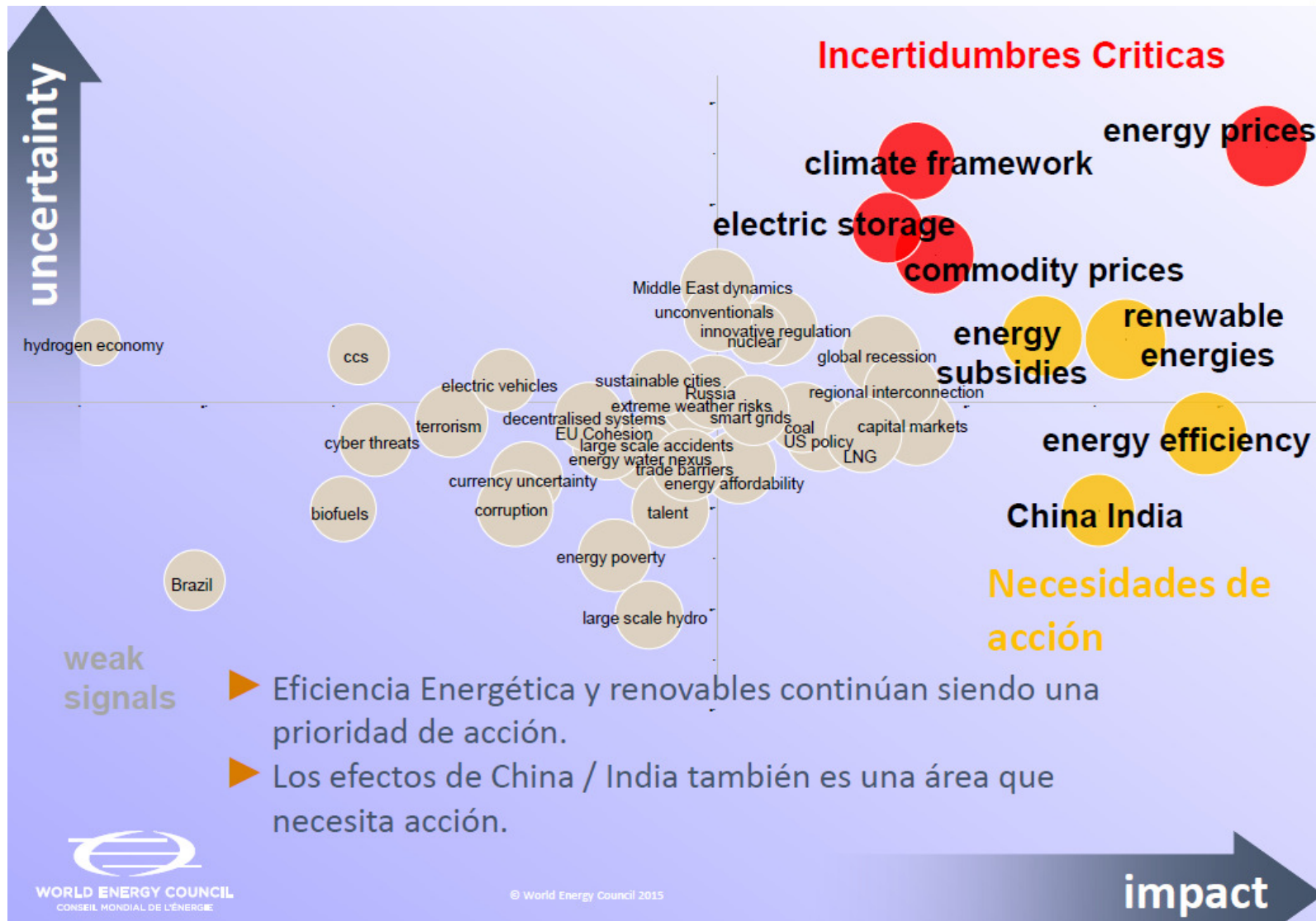


PANORAMA ENERGÉTICO MUNDIAL

- Recursos energéticos proceden fundamentalmente de combustibles fósiles (80%).
- Imparable crecimiento de la demanda de energía y de los servicios de transporte.
- El cambio climático.
- Más del 60% del crecimiento provendrá de los países en desarrollo, especialmente Asia.
 - Desequilibrio en consumos energéticos



CONSEJO MUNDIAL DE ENERGÍA

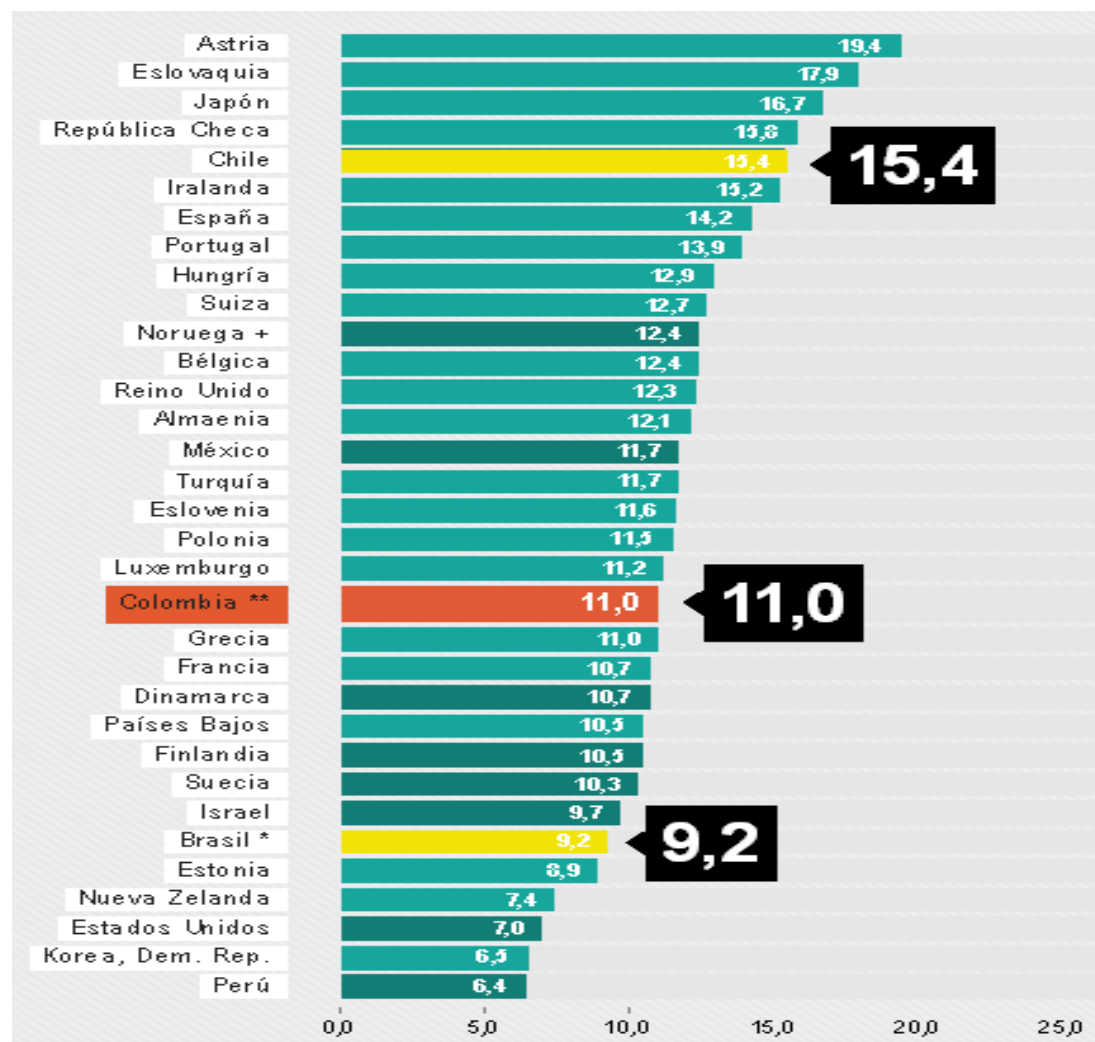


SITUACIÓN EN COLOMBIA

- Estudio KPMG-Choiseul (2012): Energía eléctrica colombiana como la 5ª más competitiva del mundo.
- Primeros puestos: Noruega, Canadá, Islandia y Dinamarca.
- El estudio evaluó la canasta energética, acceso a la red y compromisos ambientales.
- Falencias:
 - Todavía existe población sin energía eléctrica
 - Precios relativamente altos



PRECIOS ELECTRICIDAD COLOMBIA (US\$Cents/kWh)

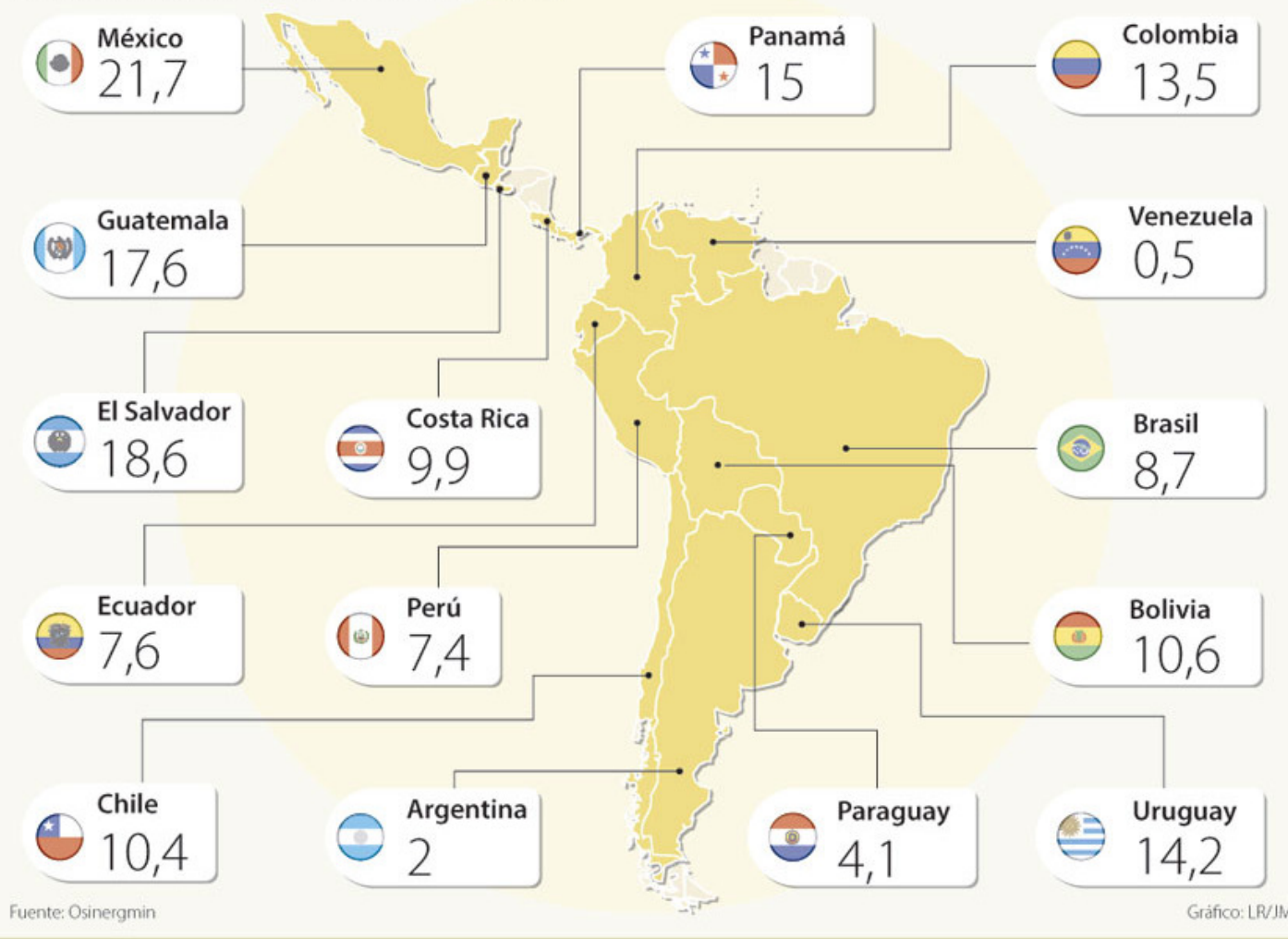


Fuente: Vélez et al. (2012)

PRECIOS ELECTRICIDAD COLOMBIA

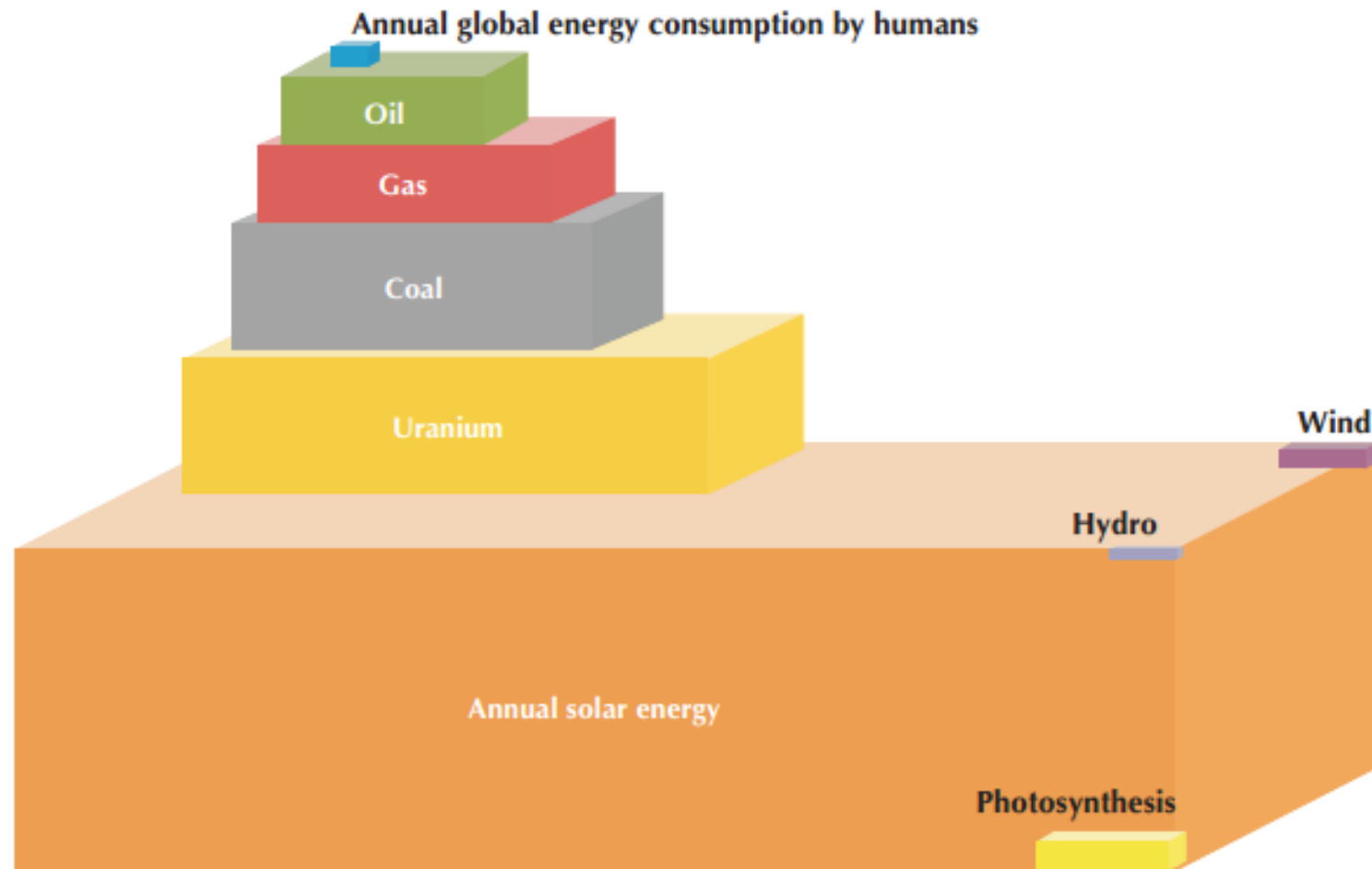
TARIFAS ELÉCTRICAS PARA LA INDUSTRIA EN LATINOAMÉRICA

Primer trimestre de 2014 / Cifras en Ctvts. US\$/kWh



Fuente: Periódico La República (2014)

RESERVAS MUNDIALES DE ENERGÍA



Source: National Petroleum Council, 2007, after Craig, Cunningham and Saigo (republished from IEA, 2008b).

ENERGÍAS RENOVABLES

Alternativa al sistema energético actual

- Recursos distribuidos.
- Tecnologías rápidas y sencillas.
- Inagotables.
- Grandes inversiones iniciales vs bajos costos de operación.
- Gran potencial de futuro.
- Reducción de impacto ambiental.



ENERGÍAS RENOVABLES

- Energía solar
 - Fotovoltaica
 - Concentradores solares
- Energía eólica
- Hidroelectricidad
- Energía geotérmica
- Energía del oceano
- Biomasa



FOTOVOLTAICA

- Fuente de energía solar de mayor crecimiento. Dispositivos llamados comúnmente módulos o celdas solares, que usan materiales semiconductores para convertir directamente energía solar en electricidad.



- Usadas para llevar electricidad a poblaciones remotas, satélites, señales en autopistas, bombas de agua, estaciones de comunicación, alumbrado público y calculadoras.

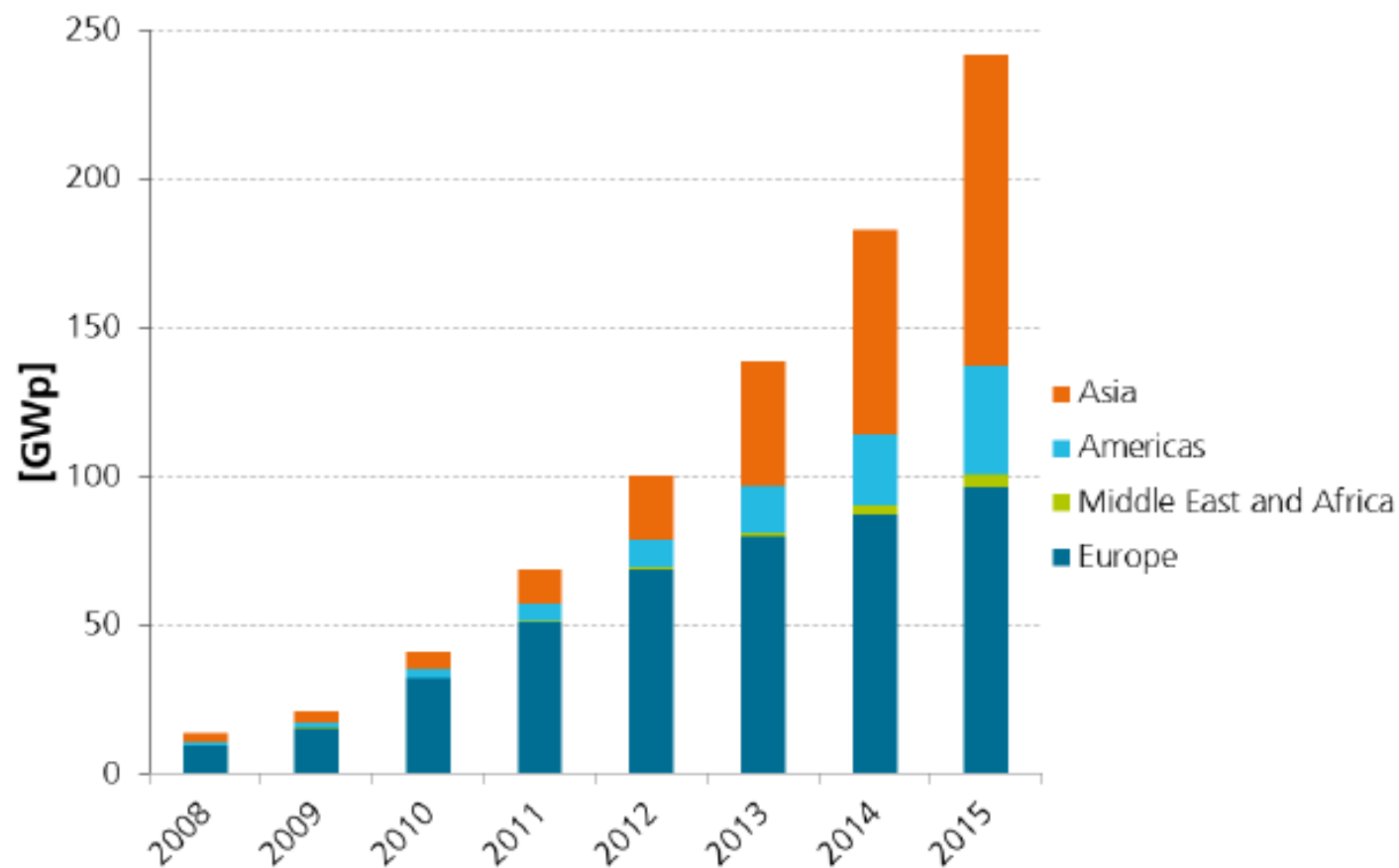


FOTOVOLTAICA (Ventajas)

- Alta confiabilidad
- Beneficios ambientales
- Modularidad
- Bajos costos de operación
- Bajos costos de instalación

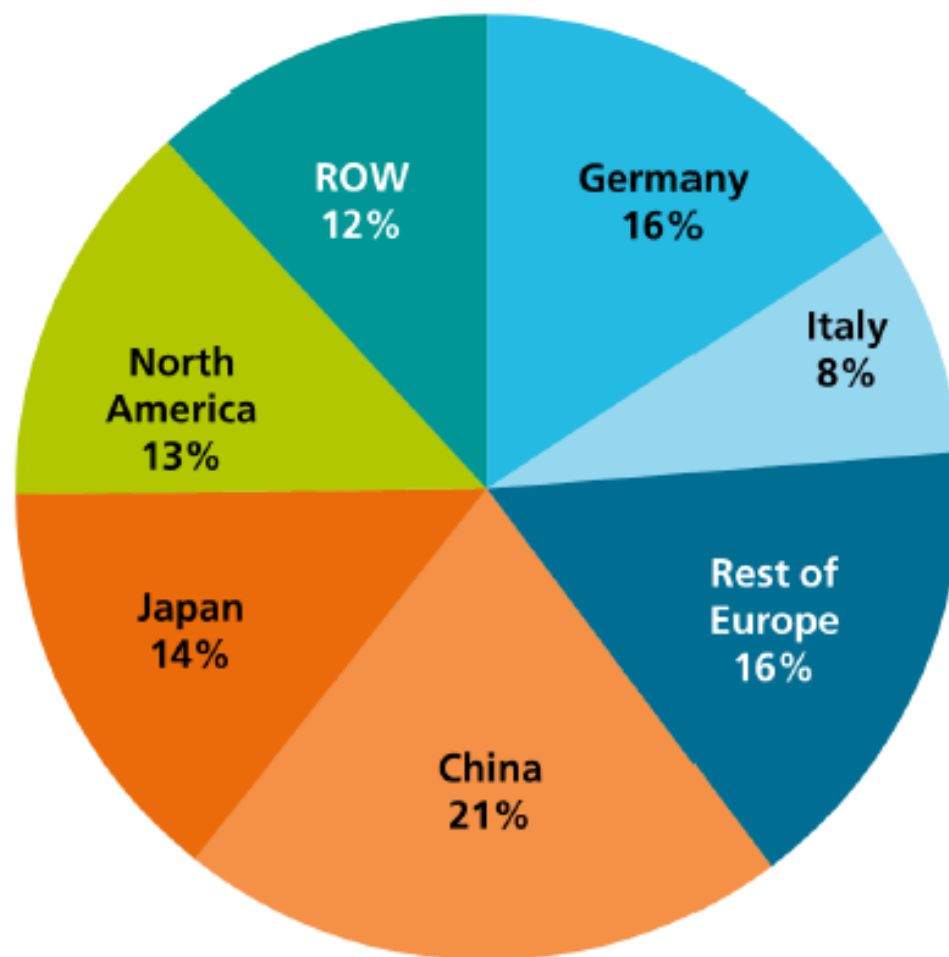


ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN EL MUNDO



Fuente: Fraunhofer Institute for Solar Systems, ISE

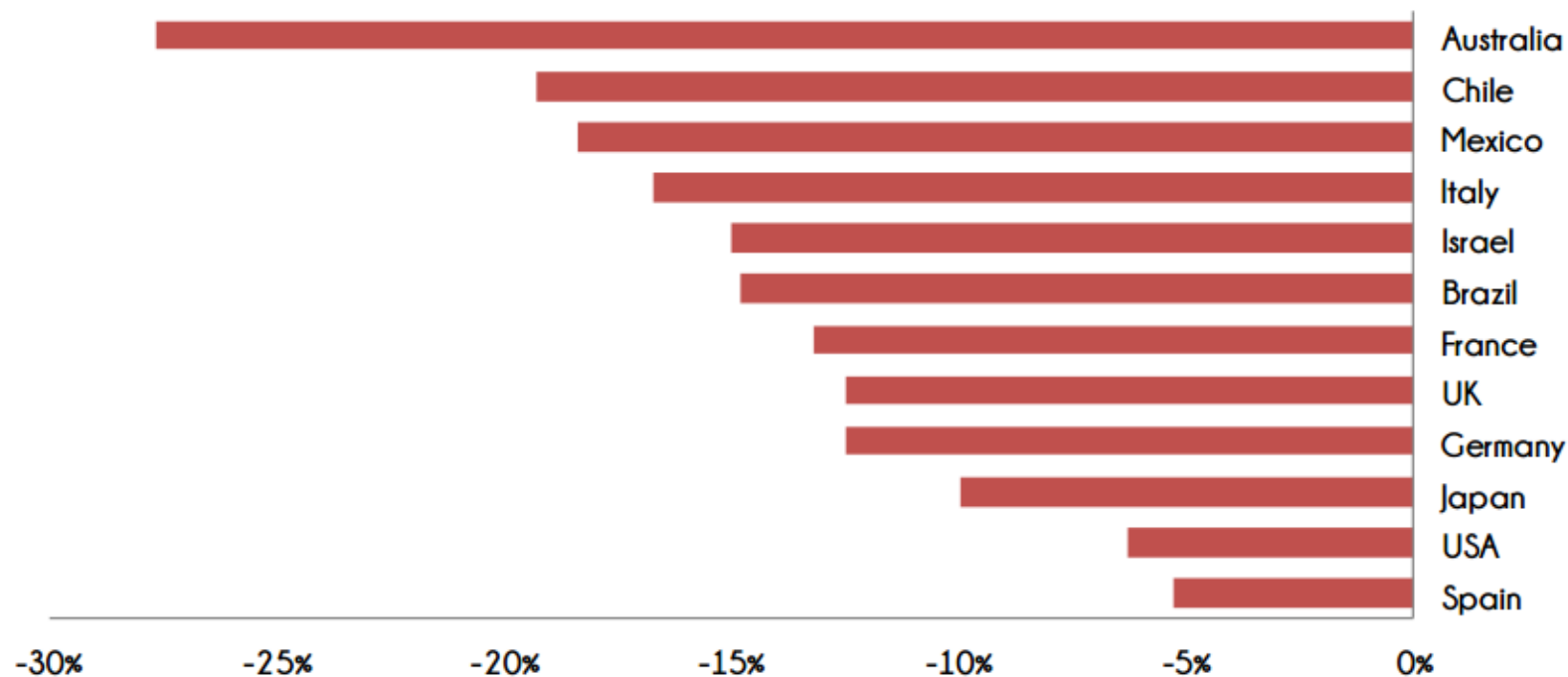
ENERGÍA FOTOVOLTAICA POR REGIONES



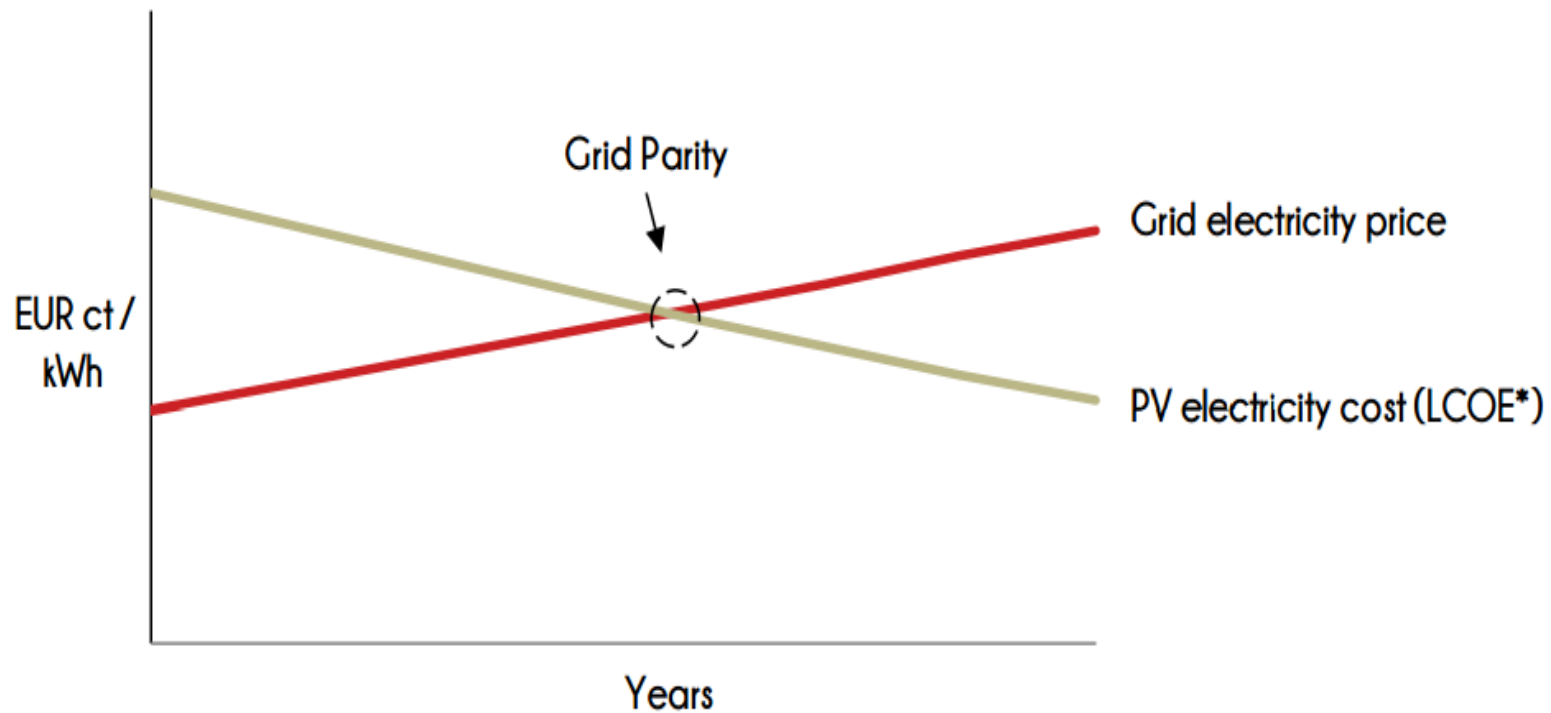
Fuente: Fraunhofer Institute for Solar Systems, ISE



DECRECIMIENTO ANUAL COSTOS NIVELADOS FOTOVOLTAICA SECTOR RESIDENCIAL 2009 A 2014 (Creara, 2015)



PARIDAD DE RED (Grid Parity)



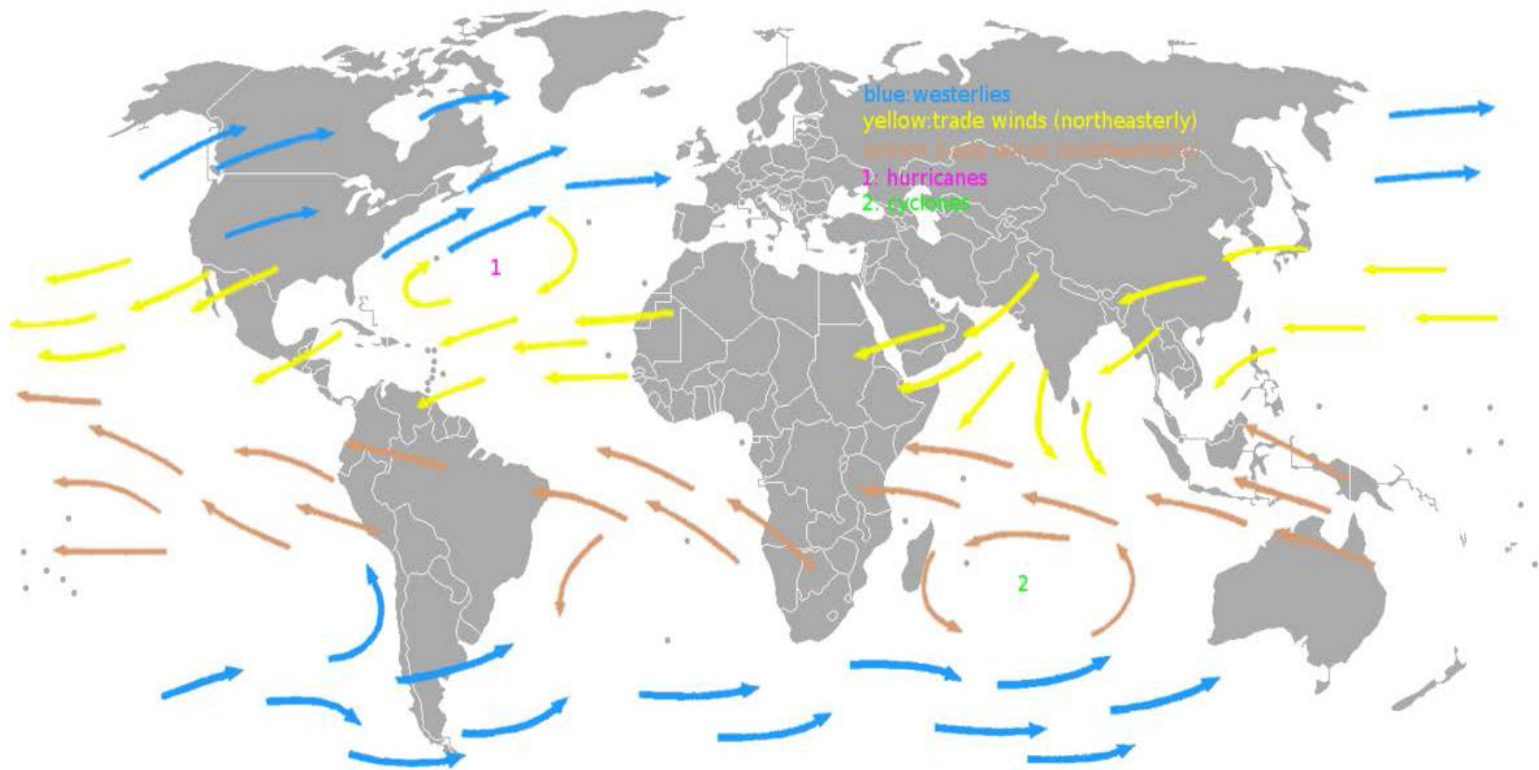
LCOE: Costos nivelados de generación de electricidad

FOTOVOLTAICA (Grid Parity)

- Paridad de red en Generación
 - Chile: altos precios de la electricidad y niveles adecuados de radiación solar
 - México y Marruecos: cercanos a alcanzarla debido a reformas en el sector eléctrico.
- Paridad de red residencial (Creara, 2015)
 - Australia, Chile, Alemania, Italia, España, Japón, México.....



ENERGÍA EÓLICA



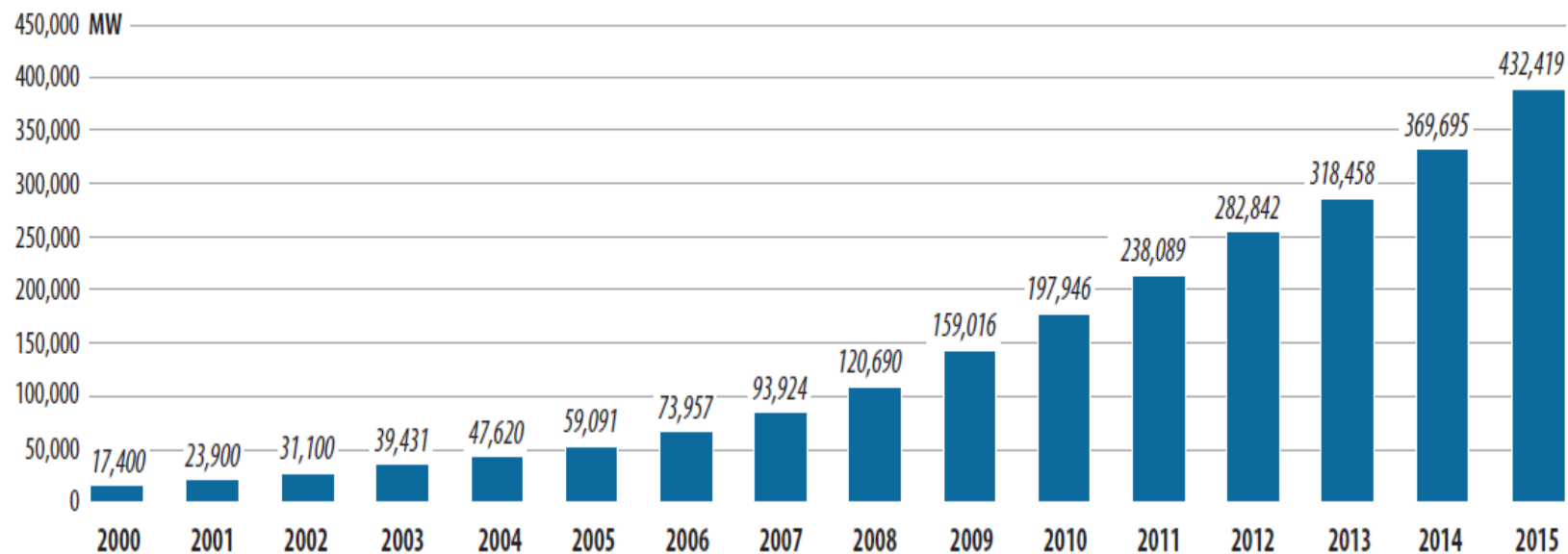
“Map prevailing winds on earth” by KVDP



ENERGÍA EÓLICA EN EL MUNDO

Capacidad Instalada > 430 GW

GLOBAL CUMULATIVE INSTALLED WIND CAPACITY 2000-2015



Source: GWEC

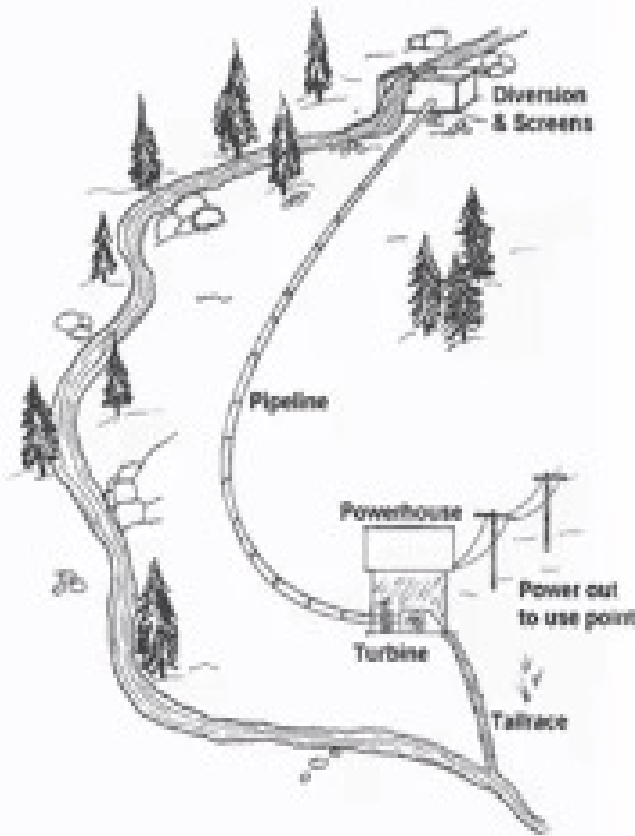
ENERGÍA EÓLICA POR REGIONES

| Country | MW | % Share |
|---------------------|----------------|-------------|
| PR China** | 145,104 | 33.6 |
| USA | 74,471 | 17.2 |
| Germany | 44,947 | 10.4 |
| India | 25,088 | 5.8 |
| Spain | 23,025 | 5.3 |
| United Kingdom | 13,603 | 3.1 |
| Canada | 11,200 | 2.6 |
| France | 10,358 | 2.4 |
| Italy | 8,958 | 2.1 |
| Brazil | 8,715 | 2.0 |
| Rest of the world | 66,951 | 15.5 |
| Total TOP 10 | 365,468 | 84.5 |
| World Total | 432,419 | 100 |

Source: GWEC



HIDROELÉCTRICAS SIN EMBALSE

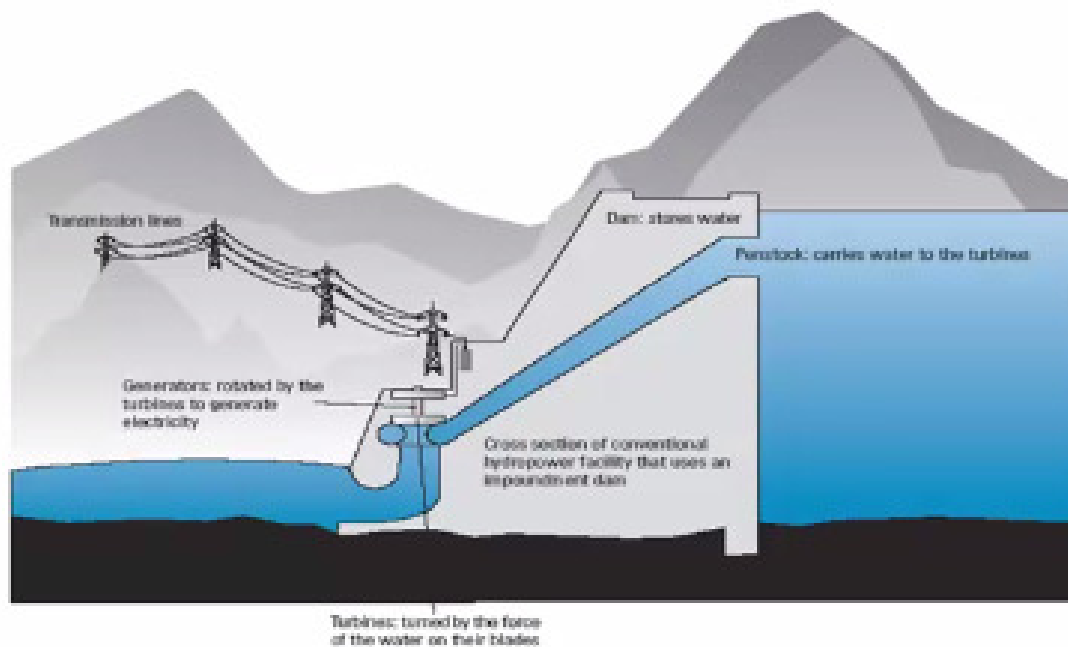


Fuente: www.retscreen.org

ESQUEMA HIDROELÉCTRICA

Figure 4: A typical hydropower system

Shown here are the major components of a typical hydropower system.



Source: DOE

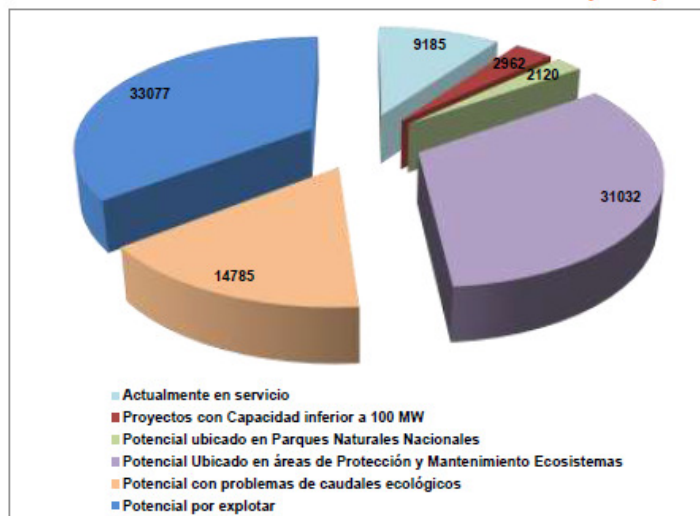


POTENCIAL HIDROELÉCTRICO AMÉRICA LATINA

| | Potencial (GW) | % desarrollo |
|--------------|----------------|--------------|
| Argentina | 45 | 19% |
| Bolivia | 40 | 1% |
| Brasil | 143 | 52% |
| Chile | 25 | 21% |
| Colombia | 93 | 9% |
| Costa Rica | 7 | 50% |
| El Salvador | 2 | 24% |
| Ecuador | 23 | 8% |
| Guatemala | 5 | 13% |
| Honduras | 5 | 10% |
| México | 53 | 24% |
| Nicaragua | 2 | 5% |
| Panamá | 4 | 20% |
| Paraguay | 13 | 63% |
| Perú | 62 | 5% |
| Uruguay | 2 | 75% |
| Total | 524 | 25% |

Fuente: CIER 15
No incluye Venezuela.

Potencial Hidroeléctrico Colombia (MW)



ENERGÍAS RENOVABLES

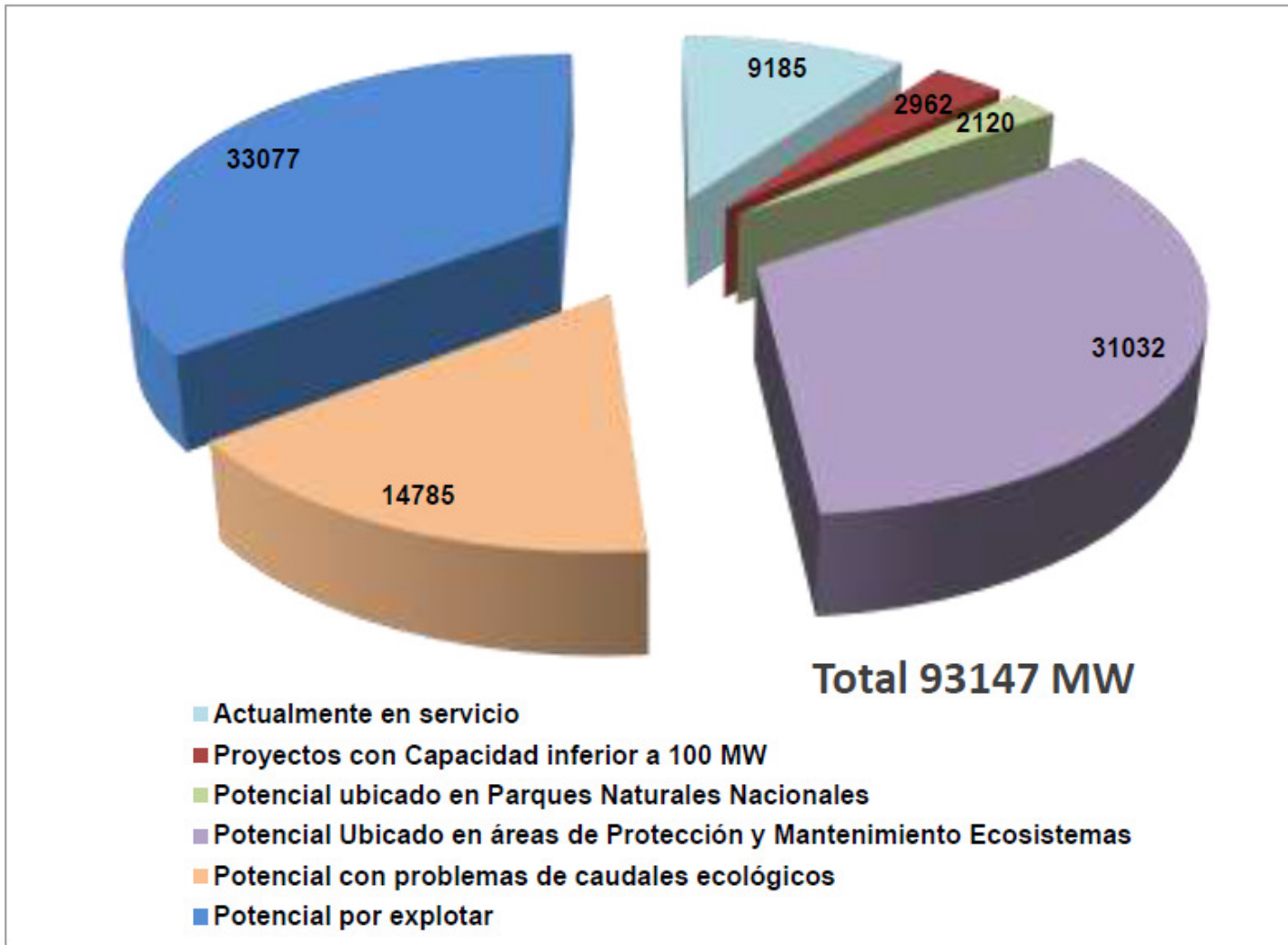
Problemas en latinoamérica

Causas de baja cantidad de proyectos:

- Elevados costos de inversión.
- Proyectos de poca capacidad instalada y poca producción.
- Problemas de evacuación de la energía producida.
- Subsidios a combustibles fósiles.



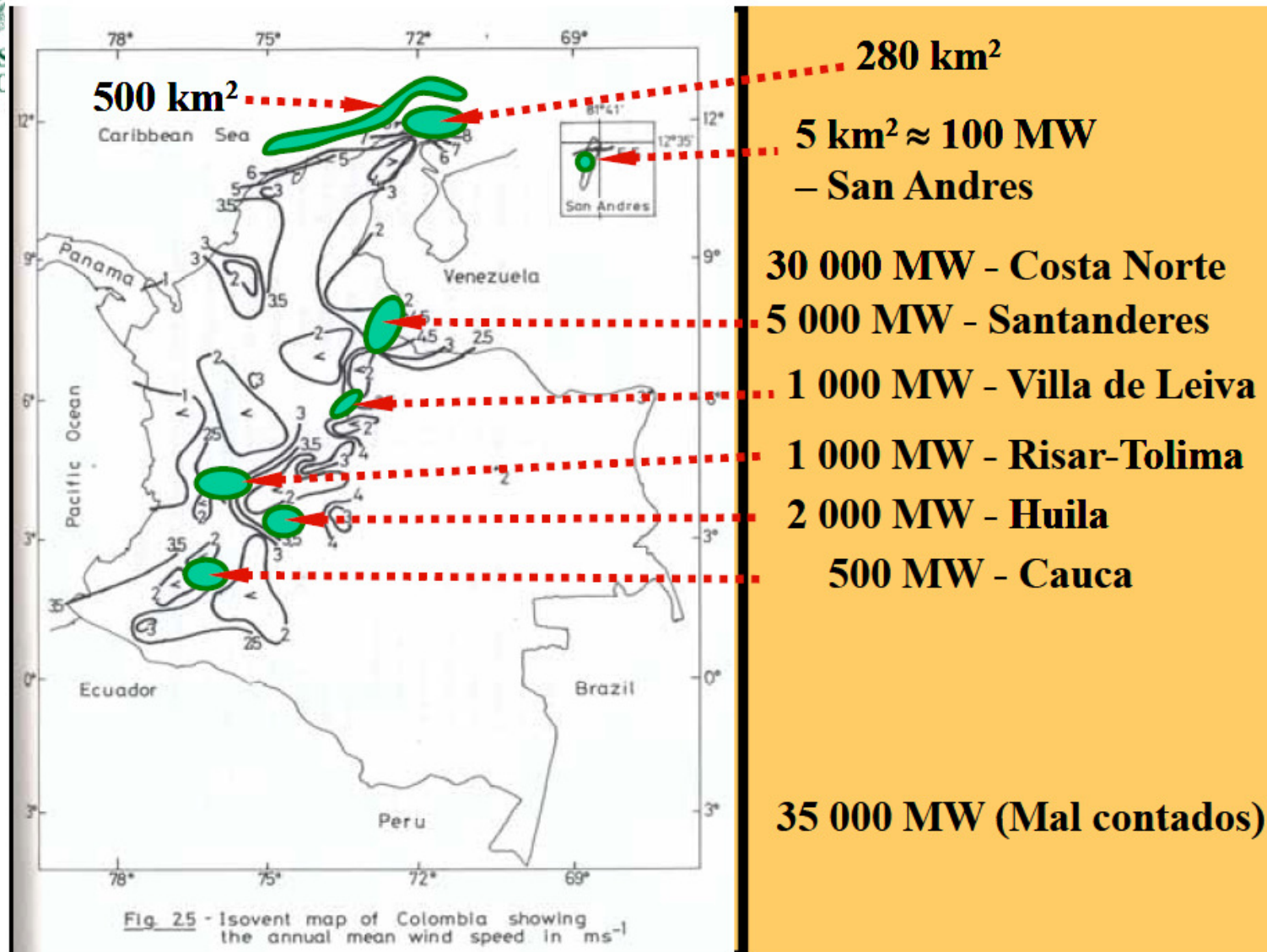
POTENCIAL HIDROELÉCTRICO TEÓRICO EN COLOMBIA (MW)



Fuente UPME



POTENCIAL EÓLICO COLOMBIA



Fuente: Pinilla (2009)

POTENCIAL RENOVABLES EN COLOMBIA

No se han estimado completamente:

- 5 GW para hidroeléctricas < 20 MW (filo de agua).
- 35 GW eólicos (18 GW en La Guajira).
- 1200 a 2200 kWh/m²/año de radiación solar.
- 35 TWh/año de biomasa.



ENERGÍAS RENOVABLES EN COLOMBIA

Ley 1715 de 2014

- * Generadores distribuidos: remuneración teniendo en cuenta beneficios a la red.
- * FENOGGE: Fondo energías no convencionales y gestión eficiente de la energía.
- * INCENTIVOS A LA INVERSIÓN EN FUENTES NO CONVENCIONALES.
 - Reducir anualmente de su renta y por cinco años hasta el 50% de la inversión realizada.
 - Exclusión de IVA para equipos utilizados en pre-inversión e inversión.
 - Exención arancelaria para equipos importados que no se produzcan en el país.
 - Depreciación acelerada de equipos y obras (< 20% anual)
 - Energía de residuos: faculta a MinAmbiente y corporaciones autónomas regionales
 - Solar: MinMinas reglamentará condiciones y viabilidad generación alterna residencial.
 - Eólica: MinMinas fomentará su uso en zonas aisladas o ZNI.
 - Geotérmica: Evaluarán potencial y condiciones de participación en el mercado.
 - PCH: MinMinas y entidades adscritas continuarán promocionándola.
 - Mares: Gobierno fomentará exploración e investigación.



COSTOS NIVELADOS

De manera más general, todos los costos presentados durante la vida útil de N años de una alternativa, podrían ser recuperados mediante los ingresos obtenidos desde el inicio de la operación de la planta.

$$\sum_{t=1}^N \frac{R_t}{(1+i)^t}$$

$$\sum_{t=1}^N \frac{\bar{R}}{(1+i)^t}$$

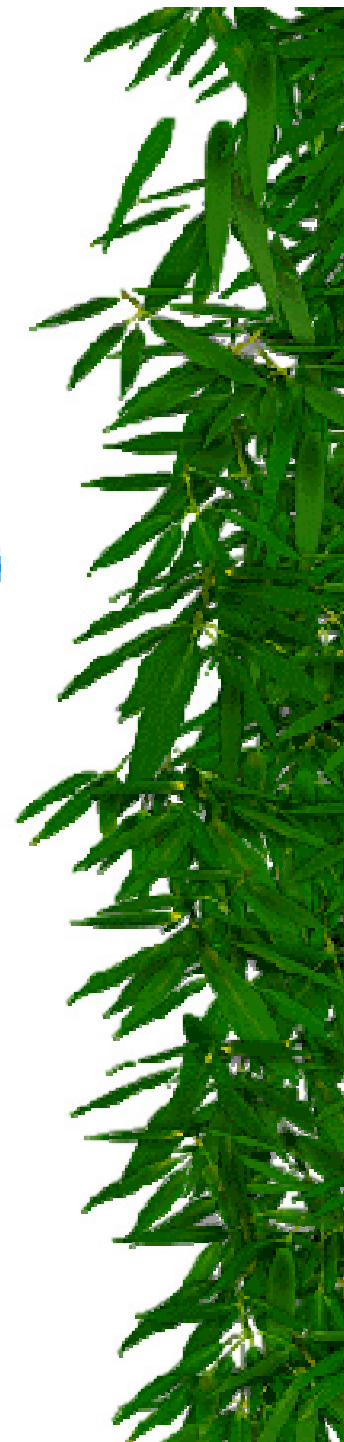


COSTOS NIVELADOS

$$\bar{R} = \frac{\sum_{t=1}^N \frac{R_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^N \frac{1}{(1+i)^t}} \longrightarrow \left(\frac{A}{P} \right)_N^i \longrightarrow CRF$$

En dólares
Corrientes

$$\bar{R} = CRF \sum_{t=1}^N \frac{R_t}{(1+i)^t}$$



COSTOS NIVELADOS

Los costos nivelados también pueden expresarse en términos de cantidades monetarias constantes. R'_t

$$\bar{R}' = CRF' \sum_{t=1}^N \frac{R'_t}{(1+i')^t} \quad R_t = R'_t(1+f)^t$$

$$i' = \left[\frac{1+i}{1+f} - 1 \right]$$

En dólares
Constantes

$$\bar{R}' = CRF' \sum_{t=1}^N \frac{R_t}{(1+i)^t}$$

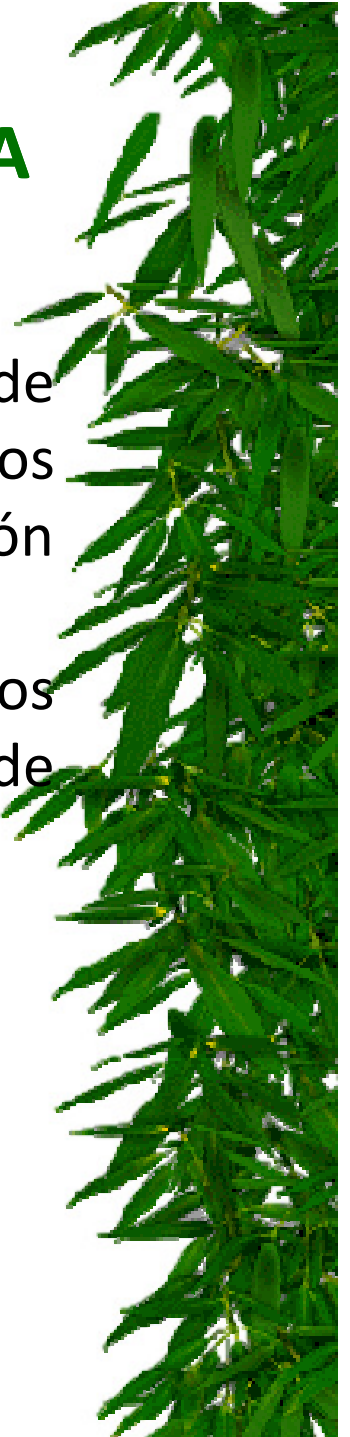
ENERGÍAS RENOVABLES EN COLOMBIA

Efecto de los Nuevos Incentivos

Reichelstein y Yorston (2013) proponen el concepto de factor de impuestos (tax factor) para evaluar incentivos como reducción de impuestos (tax credits) y depreciación acelerada.

Los costos nivelados se dividen en costos nivelados fijos (f), costos nivelados variables (v), costos nivelados de inversión inicial (c) y factor de impuestos (Δ)

$$LCOE = v + f + c.\Delta$$

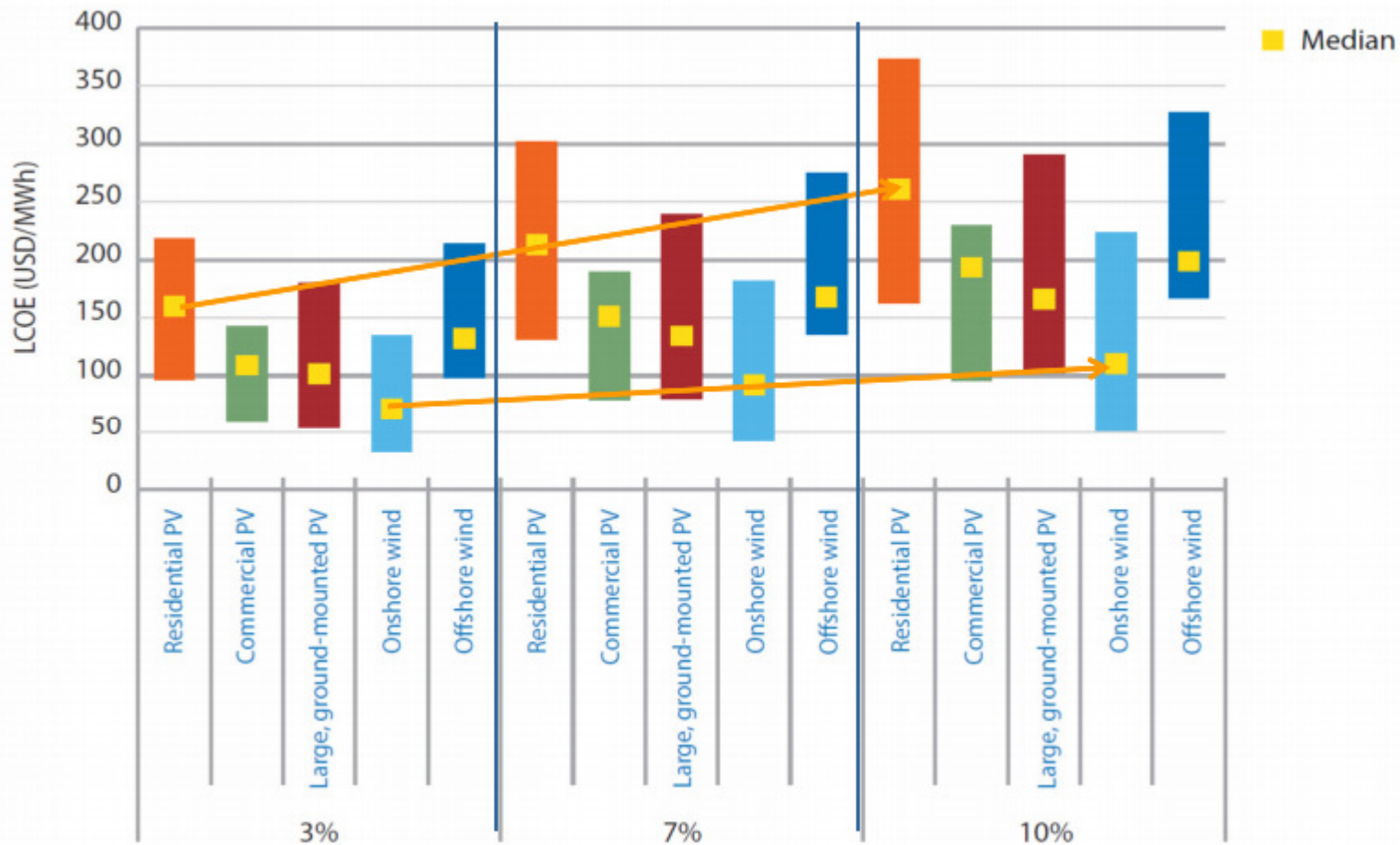


COSTOS DE INSTALACIÓN POR TECNOLOGÍAS

| Technology | Number of plants | Net capacity (MW) | | | | Overnight cost (USD/kWe) | | | |
|------------------------|------------------|-------------------|-------|--------|--------|--------------------------|-------|--------|--------|
| | | Min | Mean | Median | Max | Min | Mean | Median | Max |
| Natural gas – CCGT | 13 | 350 | 551 | 475 | 900 | 627 | 1 021 | 1 014 | 1 289 |
| Natural gas – OCGT | 4 | 50 | 274 | 240 | 565 | 500 | 708 | 699 | 933 |
| Coal | 14 | 605 | 1 131 | 772 | 4 693 | 813 | 2 080 | 2 264 | 3 067 |
| Nuclear | 11 | 535 | 1 425 | 1 250 | 3 300 | 1 807 | 4 480 | 5 026 | 6 215 |
| Solar PV – residential | 12 | 0.003 | 0.007 | 0.005 | 0.02 | 1 867 | 2 371 | 2 307 | 3 366 |
| Solar PV – commercial | 14 | 0.05 | 0.29 | 0.14 | 1 | 728 | 1 583 | 1 696 | 1 977 |
| Solar PV – large | 12 | 1 | 21 | 4 | 200 | 937 | 1 562 | 1 436 | 2 563 |
| Solar thermal (CSP) | 4 | 50 | 135 | 146 | 200 | 3 571 | 5 964 | 6 072 | 8 142 |
| Onshore wind | 21 | 2 | 36 | 14 | 200 | 1 200 | 1 940 | 1 841 | 2 999 |
| Offshore wind | 12 | 2 | 275 | 223 | 833 | 3 703 | 4 985 | 4 998 | 5 933 |
| Hydro – small | 12 | 0.4 | 3.1 | 2 | 10 | 1 369 | 5 127 | 5 281 | 9 400 |
| Hydro – large | 16 | 11 | 1 093 | 50 | 13 050 | 598 | 3 492 | 2 493 | 8 687 |
| Geothermal | 6 | 6.8 | 62 | 27 | 250 | 1 493 | 4 898 | 5 823 | 6 625 |
| Biomass and biogas | 11 | 0.2 | 154 | 10 | 900 | 587 | 4 447 | 4 060 | 8 667 |
| CHP (all types) | 19 | 0.2 | 5.3 | 1.1 | 62 | 926 | 4 526 | 2 926 | 15 988 |

Fuente: EIA (2016)

RANGOS DE COSTOS NIVELADOS DE GENERACIÓN



Fuente: EIA (2016)

COSTOS NIVELADOS ESTIMADOS PARA EL 2022

Fuente: EIA (2016)

U.S. Capacity-Weighted¹ Average LCOE (2015 \$/MWh) for Plants Entering Service in 2022

| Plant Type | Capacity Factor (%) | Levelized Capital Cost | Fixed O&M | Variable O&M (including fuel) | Transmission Investment | Total System LCOE | Levelized Tax Credit | Total LCOE including Tax Credit ² |
|--------------------------------------|---------------------------|------------------------------|--------------|--|----------------------------|-------------------------|-------------------------|--|
| Dispatchable Technologies | | | | | | | | |
| Advanced Coal with CCS ³ | N/B | | | | | | | |
| Natural Gas-fired | | | | | | | | |
| Conventional Combined Cycle | 87 | 12.8 | 1.4 | 41.2 | 1.0 | 56.4 | N/A | 56.4 |
| Advanced Combined Cycle | 87 | 15.4 | 1.3 | 38.1 | 1.1 | 55.8 | N/A | 55.8 |
| Advanced CC with CCS | N/B | | | | | | | |
| Conventional Combustion Turbine | 30 | 37.1 | 6.5 | 58.9 | 2.9 | 105.4 | N/A | 105.4 |
| Advanced Combustion Turbine | 30 | 25.9 | 2.5 | 61.9 | 3.3 | 93.6 | N/A | 93.6 |
| Advanced Nuclear | 90 | 75.0 | 12.4 | 11.3 | 1.0 | 99.7 | N/A | 99.7 |
| Geothermal | 91 | 27.8 | 13.1 | 0.0 | 1.4 | 42.3 | -2.8 | 39.5 |
| Biomass | N/B | | | | | | | |
| Non-Dispatchable Technologies | | | | | | | | |
| Wind | 42 | 43.3 | 12.5 | 0.0 | 2.7 | 58.5 | -7.6 | 50.9 |
| Wind – Offshore | N/B | | | | | | | |
| Solar PV ⁴ | 26 | 61.2 | 9.5 | 0.0 | 3.5 | 74.2 | -15.9 | 58.2 |
| Solar Thermal | N/B | | | | | | | |
| Hydroelectric ⁵ | 60 | 54.1 | 3.1 | 5.0 | 1.5 | 63.7 | N/A | 63.7 |

ENERGÍAS RENOVABLES EN COLOMBIA

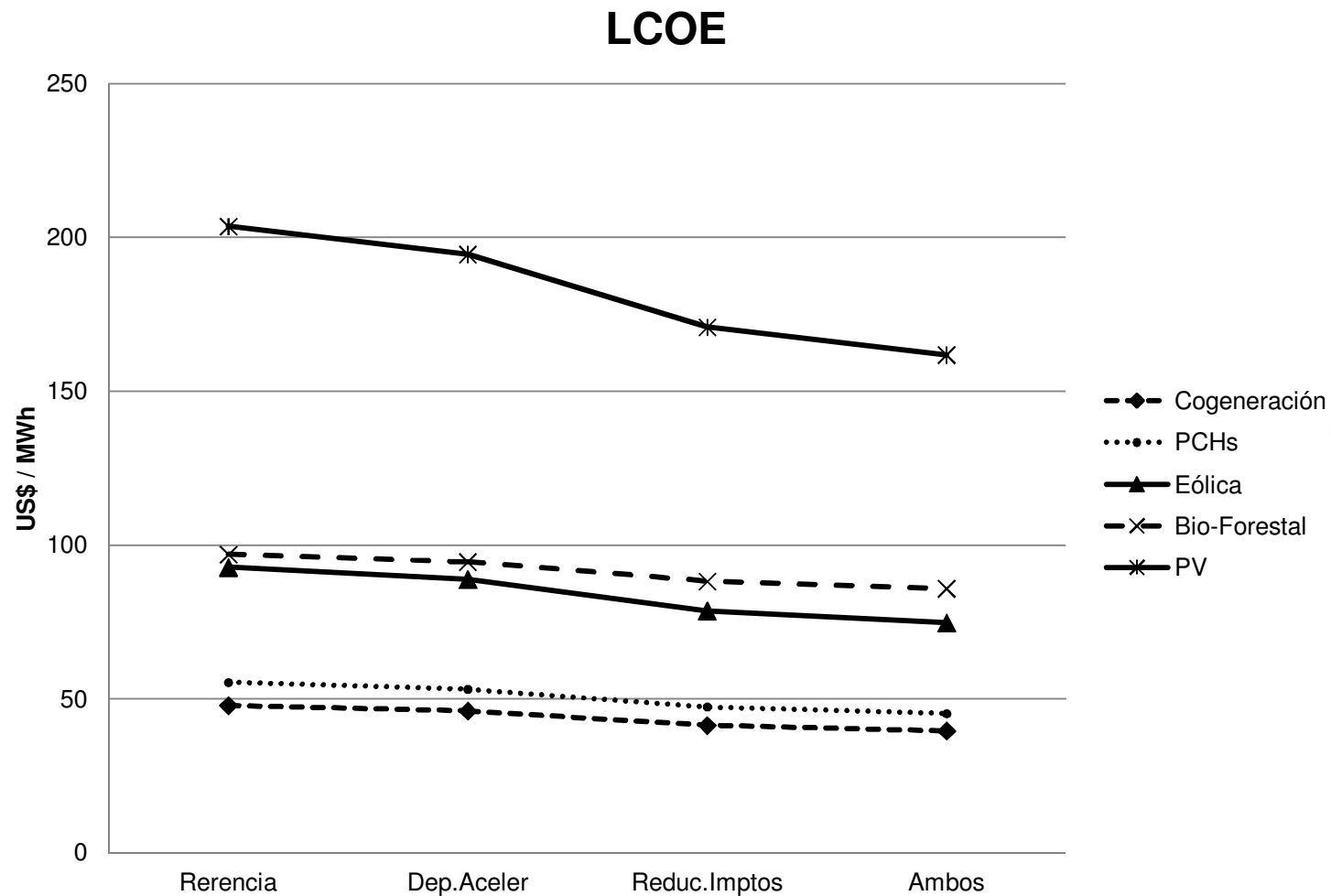
Datos de referencia

| | Cogeneración | PCHs | Eólica | PV | Bio-Fores |
|--------------------------|--------------|-------|--------|--------|-----------|
| Inversión (US/kW) | 2000 | 2130 | 2300 | 2500 | 2200 |
| Tasa de descuento (%) | 8.10 | 8.10 | 8.10 | 8.10 | 8.10 |
| Factor de capacidad (%) | 82.75 | 62.56 | 40.0 | 18.77 | 77.0 |
| Vida útil (años) | 20 | 30 | 25 | 25 | 15 |
| Costos fijos (US\$/kW-a) | 43.27 | 49.70 | 82.66 | 180.14 | 90.75 |
| Costos var. (US\$/MWh) | 4.20 | 5.00 | 5.80 | 0 | 36.1 |

Fuentes: Castillo et al. (2015); Pérez y Osorio (2014)

ENERGÍAS RENOVABLES EN COLOMBIA

Efecto de los Nuevos Incentivos



Fuente: Cálculos propios

AVANCES PROYECTOS RENOVABLES EN COLOMBIA

- Auge proyectos con pequeños aprovechamientos hidráulicos.
- Estudios por más de 2 GW eólicos en La Guajira.
- Incremento capacidad instalada de cogeneración.
- Avanzan estudios 50 MW geotérmicos.
- 12 MW fotovoltaicos instalados:
 - 10 MW futuros en parque solar Yumbo (EPSA)
 - 200 MW futuros en La Guajira (EPSA)
 - 20 MW en instalaciones de Tecnoglass



BARRERAS DE TIPO POLÍTICO Y MACROECONÓMICO (BID)

- Bajo grado de conocimiento y experiencia.
- Acceso limitado a fuentes de financiación de largo plazo.
- Escasez de mecanismos de financiamiento que puedan aceptar algún grado de riesgo.
- Inversores disponen de insuficientes instrumentos de cubrimiento del riesgo.
- Falta de confianza entre los actores:
 - Inversionistas
 - Desarrolladores de proyectos
 - Proveedores de tecnología



RETOS PARA EL DESARROLLO RENOVABLES EN COLOMBIA

- Agilizar licencias y trámites para incentivos.
- Garantías de contratos de largo plazo.
- Fomentar el mercado de derivados.
- Topes a capacidad instalada por tecnología.
- Explorar alternativa de subastas internacionales.
- Tecnologías con impacto social (biomasa forestal):
 - Subsidio a tasas de interés
 - Periodos de gracia (negociación con bancos)
 - Efecto positivo en proceso de paz



CONCLUSIONES

1. Ventajas de las energías renovables han determinado su incremento considerable en los últimos años.
2. A pesar de su poco desarrollo en países latinoamericanos, el incremento de costos de electricidad y fomento regulatorio han potencializado los proyectos renovables recientemente.
3. Paridad de red alcanzada en varios países por dos razones fundamentales: incremento de precios de electricidad y disminución en costos de tecnologías renovables.
4. Impulso en Colombia con ley 1715 . Diferentes medios han publicado proyectos eólicos que suman alrededor más de 2000 MW a ser instalados en los próximos años en la Guajira.
5. Potencial de proyectos agroforestales apoyarían el proceso de paz con nuevas oportunidades de empleo.



BIBLIOGRAFÍA

1. Castillo, A.; Mejía, D.; Giraldo, J.; *Geospatial levelized cost of energy in Colombia: GeoLCOE*, IEEE-PES, Uruguay, 2015.
2. Creara; *PV Grid parity Monitor*, España, 2015.
3. EIA (2016). *Annual Energy Outlook 2016*. USA. Retrieved from: https://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/electricity_generation.pdf
4. Pérez, J.F. y Osorio, L.; *Biomasa forestal como alternativa energética*, Universidad de Antioquia, 2014.
5. Pinilla, Alvaro; *Energía eólica: experiencias en Colombia*, LAWEA, Medellín, 2009.
6. Reichelstein, S. y Yorston, M., *The prospects for cost competitive solar PV power*, Energy Policy, Vol. 55, 2013.
7. Vélez, L.G.; Dyner, I; Gómez, D; Millán; J. *Los precios de la electricidad en Colombia*: ECSIM, 2012.



MUCHAS GRACIAS

