



Conseil Internationale des Grands Réseaux Electriques  
Consejo Internacional de Grandes Redes Eléctricas  
Comité Nacional Paraguay

## XVII ENCUESTRO REGIONAL IBEROAMERICANO DEL CIGRE



Ciudad del Este – Paraguay  
21 al 25 de mayo del 2017

**C1 - 12**

# DETERMINACIÓN DEL PLAN ÓPTIMO DE LA EXPANSIÓN DE LA GENERACIÓN DEL SISTEMA DE LA REPÚBLICA DOMINICANA

**Ricardo C. Perez\***  
**PSR**  
**Brasil**

**Silvio Binato**  
**PSR**  
**Brasil**

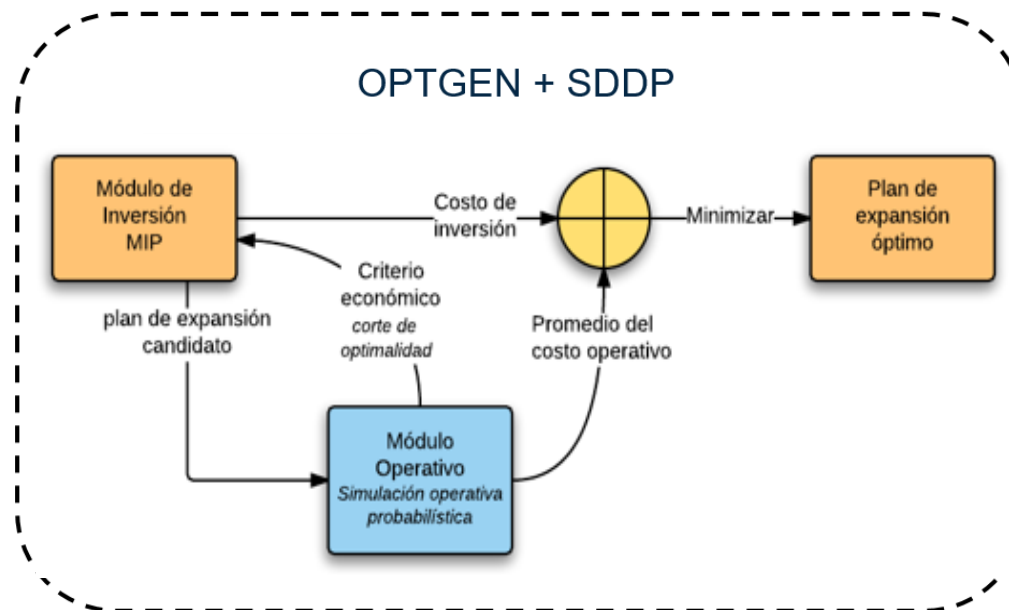
**Dario Quiroga**  
**Mercados Energéticos**  
**Argentina**

- El principal objetivo del Plan de Expansión de la Generación (PEG) es garantizar un adecuado equilibrio entre el suministro de electricidad y la demanda, es decir, para determinar el conjunto óptimo de proyectos de generación que deben ser construidos para satisfacer las necesidades de la demanda a lo largo de un horizonte (mediano y largo plazo).
- El PEG debe cumplir con los criterios tanto económicos como ambientales, en el marco de las políticas nacionales en materia de energía.

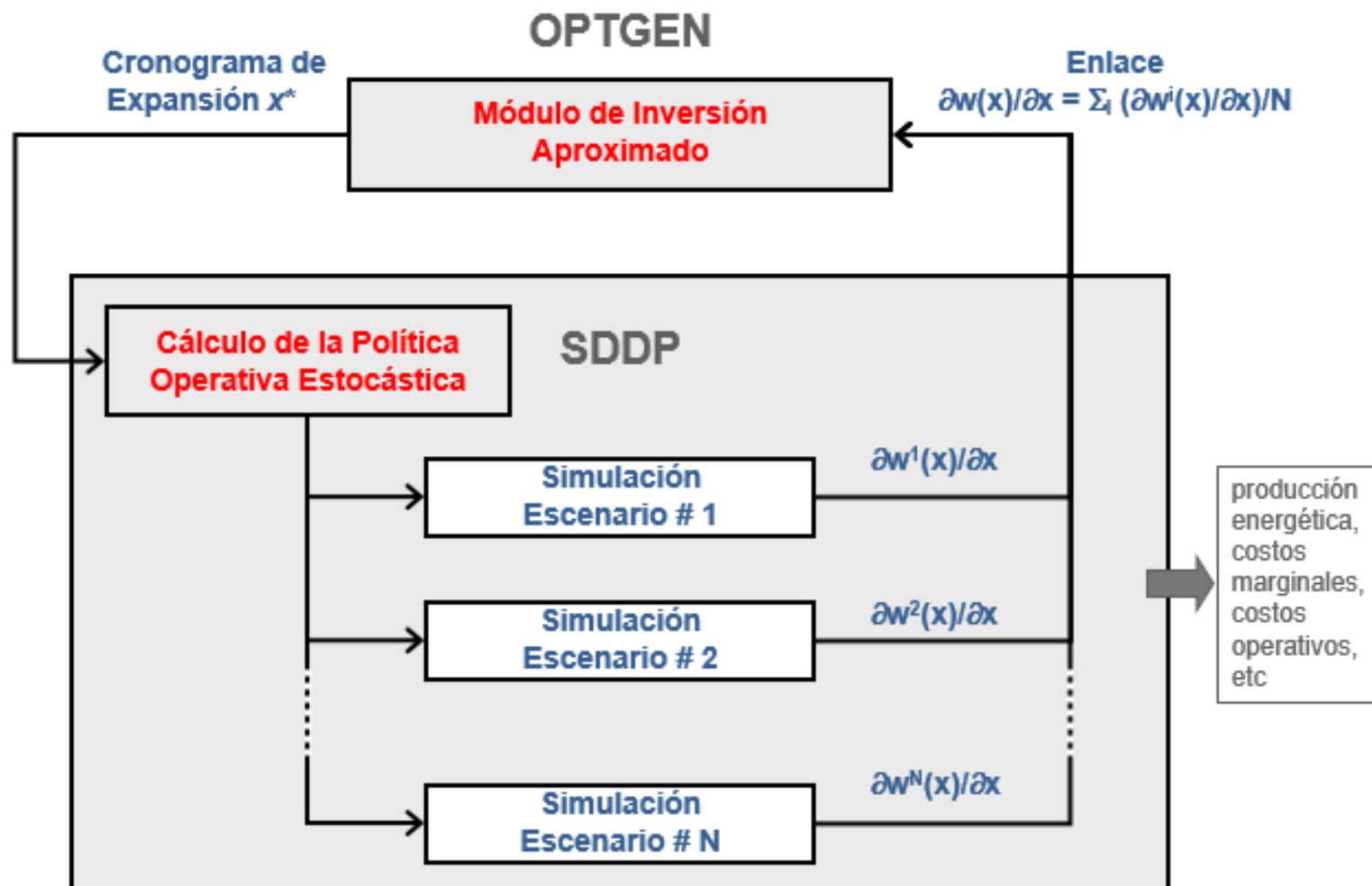
- Un aspecto clave de la metodología de determinación del PEG es **cómo hacer frente a las incertidumbres inherentes en el proceso de planificación** (las incertidumbres más comunes son el crecimiento de la carga y la disponibilidad de generación, especialmente en los sistemas basados en fuentes renovables).
- La optimización del plan de expansión significa minimizar una función de costos teniendo en cuenta: (i) la inversión (capital) y los costos de operación (combustible, operación y mantenimiento, etc.) de las centrales de generación y (ii) las sanciones relativas a la energía no suministrada, también llamadas de costos de déficit.

# PEG – Método de Solución

- Problema de optimización de dos etapas resuelto por una descomposición personalizada de Benders:
  - **Primera etapa:** sub-problema de inversión, formulado como un problema de programación lineal entero mixto de gran escala (MILP)
  - **Segunda etapa:** sub-problema de operación, resuelto por SDDP



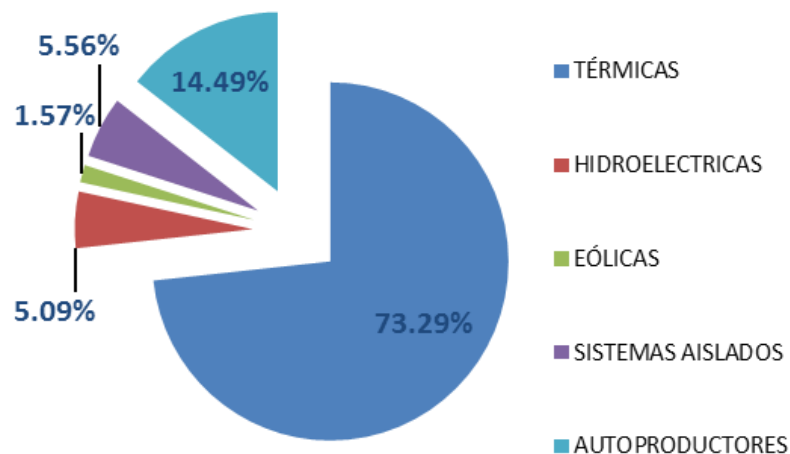
# PEG – Método de Solución



# PEG – Método de Solución

- ▶ PEG de menor costo → optimización del *trade-off* entre los costos de inversión y el valor esperado de los costos operativos obtenidos a partir del modelo de despacho hidrotérmico estocástico SDDP, lo que permite una **representación detallada de la operación del sistema bajo incertidumbre**.
- ▶ Decidiendo **QUÉ y CUANDO** deben construirse los proyectos en el sistema, solucionando por lo tanto simultáneamente los problemas de dimensionamiento (*sizing*) y temporización (*timing*).



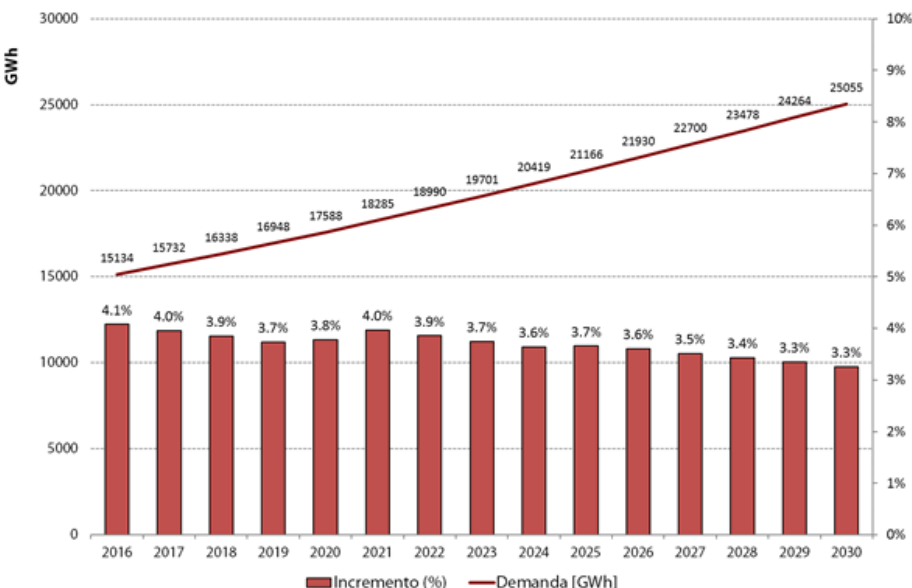


## República Dominicana: Características generales

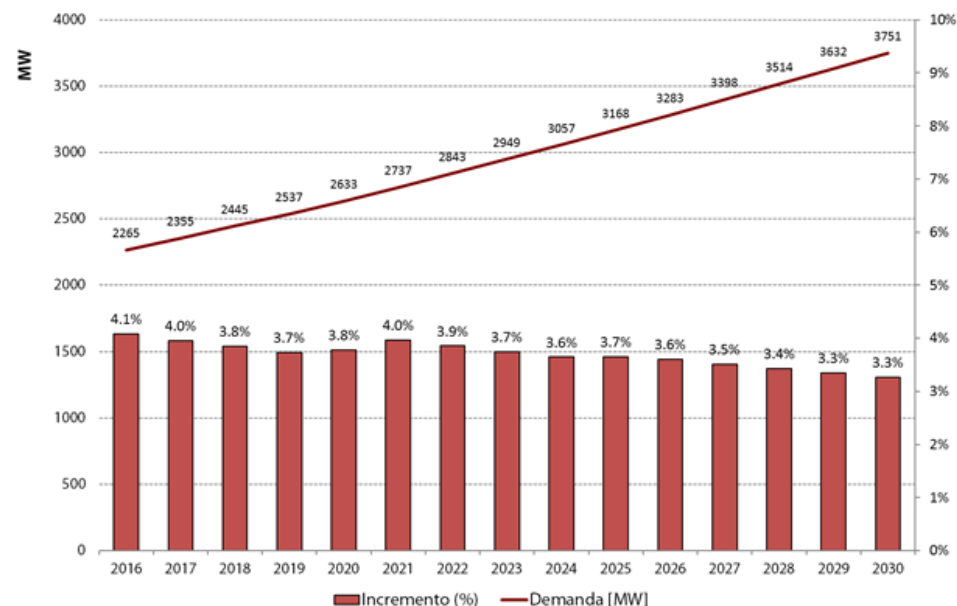
Población (2016)	10.6	millones de habitantes
Producto interno bruto (2015)	67.5	US\$ mil millones
PIB per cápita en PPP (2015)	15,000	US\$/habitante
PIB per cápita en US\$ corrientes (2015)	6,367	US\$/habitante
Crecimiento promedio del PIB (2005-2015)	5.6	% p.a.
Electrificación (2015)	98	%
Generación de electricidad per cápita (2015)	1,321	kWh/habitante/año

- En la base de datos adaptada del sistema dominicano para este trabajo técnico, la potencia instalada total del sistema al final de 2015 era de 3,377 MW (total de 469 MW de hidros, 2,967 MW de térmicas y 210 MW de eólicas).

## Demanda de Energía Anual [GWh]:



## Demanda de Punta Anual [MW]:





# Proyectos Candidatos

- En este TT fueron considerados los siguientes proyectos candidatos:
- 8 proyectos solares (4 en cada ciudad elegida);
  - 42 proyectos eólicos (7 en cada región elegida);
  - 56 proyectos térmicos (diésel, carbón y gas natural).

# Proyectos Candidatos Solares

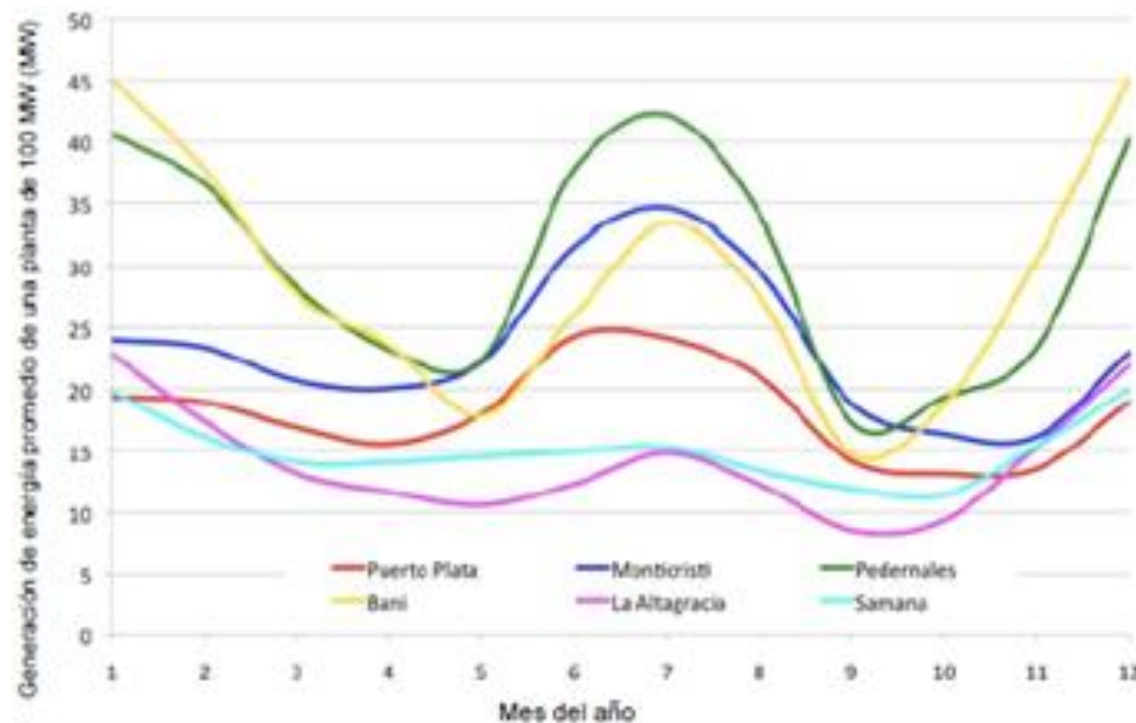
- Las ciudades de Santo Domingo y Santiago se eligieron como áreas de interés:
  - Sólido potencial solar;
  - Son los dos centros de mayor carga;
  - Eficiencia de integración en la red;
  - Las economías de escala involucradas en la instalación y prestación de servicio;
  - Se utilizó información de escenarios horarios de medición de incidencia solar, para las dos regiones [14]\*.

\* [14] Ochs, X. Fu-Bertaux, M. Konold, S. Makhijani, S. Shrank, y C. Adkins, "Worldwatch Institute – Estrategia para un Sistema de Energía Sustentable: Aprovechamiento de los Recursos Eólicos y Solares de la República Dominicana", 2011.

# Proyectos Candidatos

## Eólicos

- Hay seis provincias de alto potencial eólico: Montecristi, Puerto Plata, Samaná, La Altagracia, Baní y Pedernales (de acuerdo con la referencia [14]\*):



\* [14] Ochs, X. Fu-Bertaux, M. Konold, S. Makhijani, S. Shrank, y C. Adkins, "Worldwatch Institute – Estrategia para un Sistema de Energía Sustentable: Aprovechamiento de los Recursos Eólicos y Solares de la República Dominicana", 2011.

# Proyectos Candidatos

## *Resumen de los Proyectos Elegibles*

### ► Proyectos Renovables Elegibles:

Tipo	Región	Potencia Instalada [MW]	Generación Anual Estimada [GWh]	Factor Capacidad [%]
Eólico	Bani	50	121.0	27.6%
Eólico	La Altagracia	50	32.6	7.5%
Eólico	Montecristi	50	104.7	23.9%
Eólico	Pedernales	50	133.5	30.5%
Eólico	Puerto Plata	50	54.1	12.4%
Eólico	Samaná	50	41.0	9.4%
Solar	Santiago	50	95.6	21.8%
Solar	Santo Domingo	50	89.8	20.5%

### ► Proyectos Térmicos Elegibles:

- Los proyectos térmicos candidatos considerados son de carbón y gas natural y consisten en plantas modulares de 100 MW, 143 MW y 200 MW por tecnología.

# Proyectos Candidatos

## *Costos de los Proyectos Candidatos*

### ► Costos de los Proyectos Candidatos:

Tipo	Costo de Inversión [\$/kW]	Costo de O&M [\$/kW]	Tiempo de Vida [Años]	Capacidad Total Proyectos [MW]
GNL	1400	25	25	4962
CARBÓN	3500	37	25	2674
EÓLICO	2300	44	25	2100
SOLAR	4000	50	20	400

- Los costos de los proyectos se fundamentan en los precios de proyectos similares en Centroamérica (fuentes: [15], [16], [17]).
- Estos costos aquí expuestos incluyen los costos de turbinas, construcción, intereses intercalares y trabajos necesarios en aspectos ambientales necesarios para poner operativo un proyecto con las tecnologías informadas.

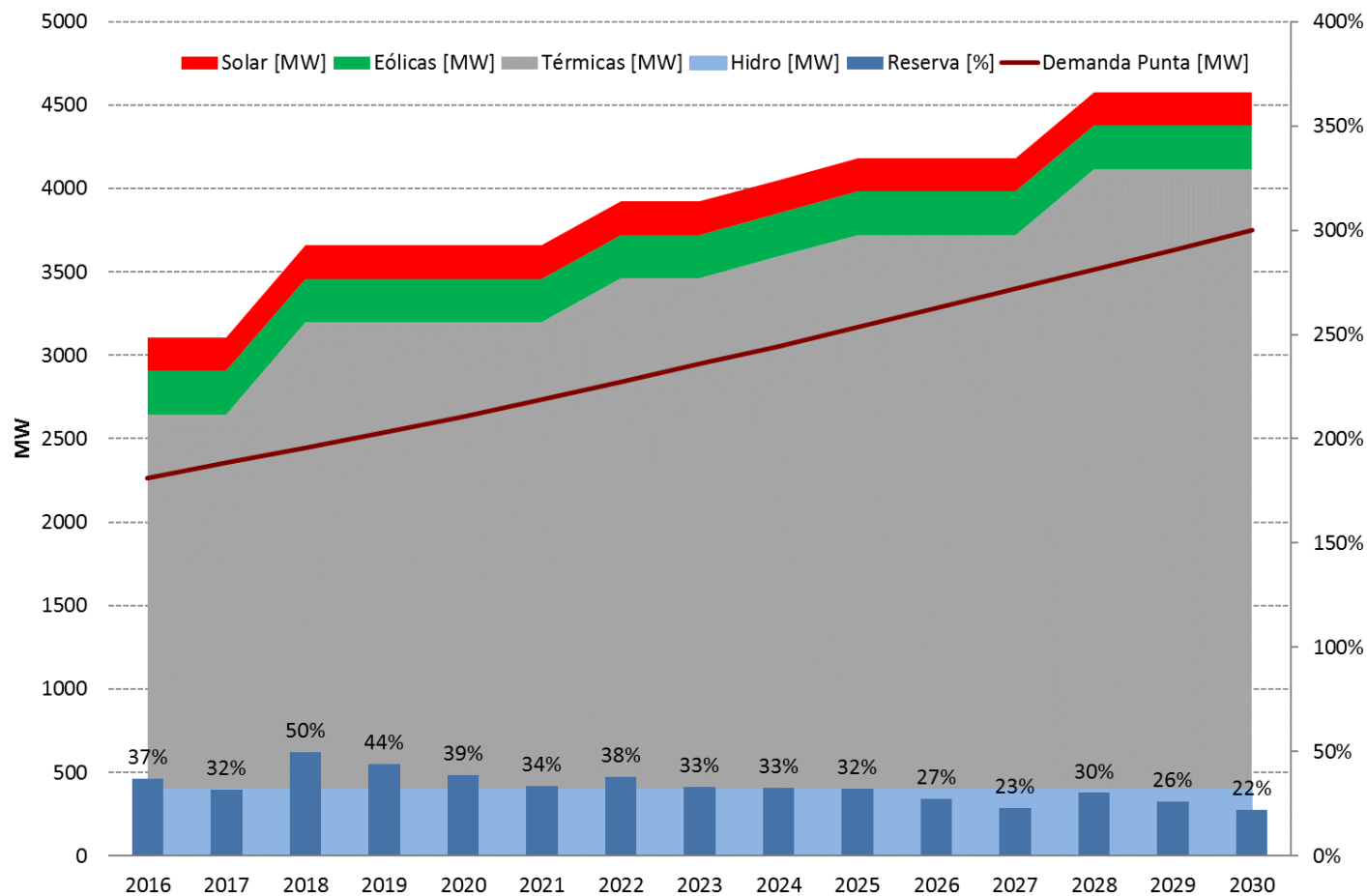
# Supuestos del Escenario Base

- ▶ Horizonte de planificación de largo plazo: 2016-2030.
- ▶ Tasa de descuento anual: 12%;
- ▶ Combustibles: proyección de la EIA - *Energy Information Administration* (precios en la República Dominicana);
- ▶ Fueron considerados como fijos los siguientes proyectos de corto plazo:
  - Una planta eólica de 50 MW en Montecristi;
  - 4 plantas solares de 50 MW, 2 en Santo Domingo y 2 en Santiago;
  - Una térmica a carbón de 143 MW y;
  - una térmica a gas natural de 285 MW, todas estas en 2016;
  - La entrada en operación de 600 MW de centrales a carbón con fecha estimada de ingreso en 2018.

# Resultados

## Escenario Base

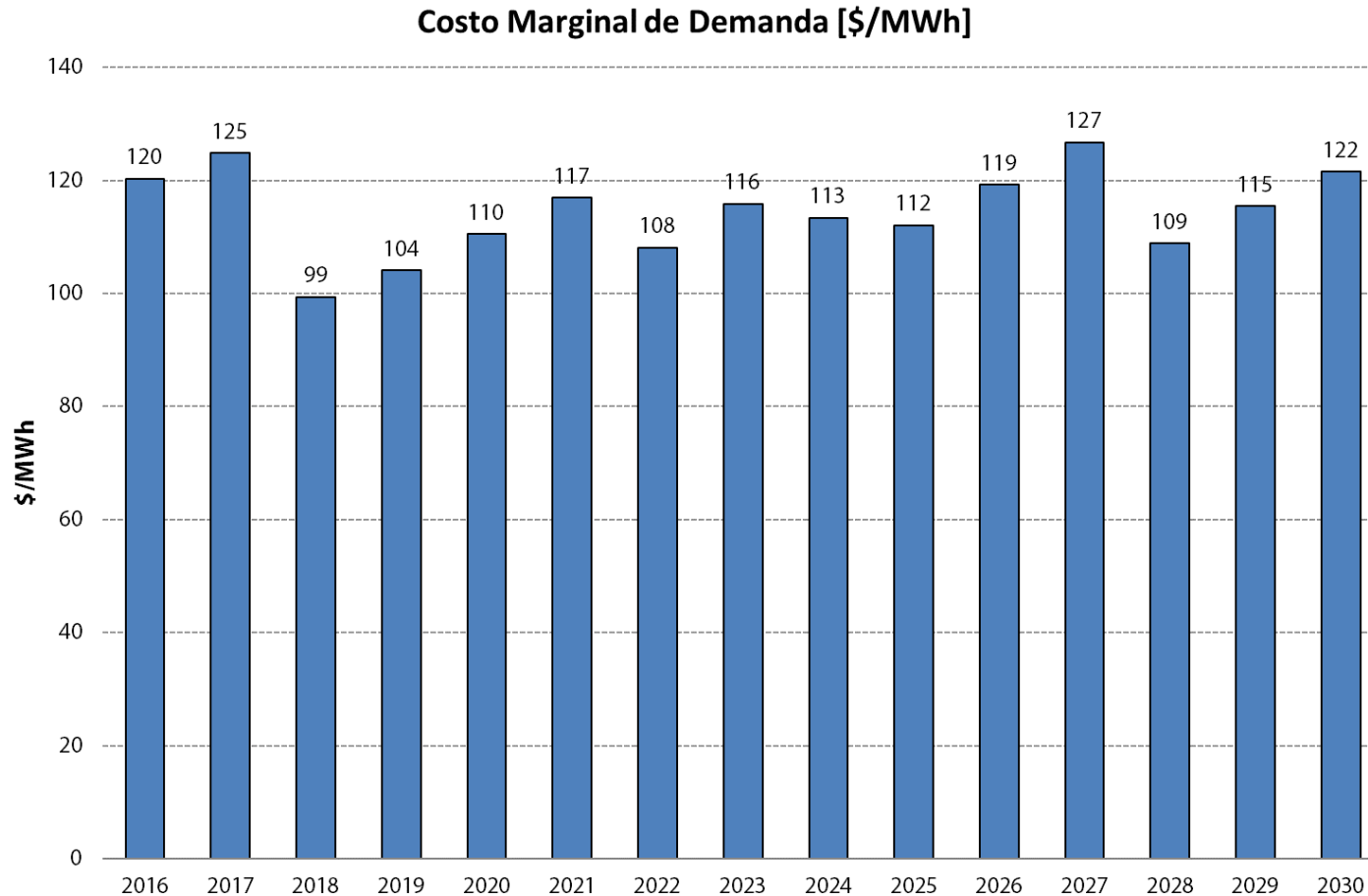
### ► Comparación entre la Potencia Disponible Total y la Demanda de Punta [MW]:



# Resultados

## Escenario Base

### ► Costo Marginal Promedio de Demanda [\$/MWh]:





# Resultados

## *Escenario Base*

### ► Plan de Expansión – Escenario Base:

Fecha	Carbon	Gas Natural	Eólica	Solar
	(MW)	(MW)	(MW)	(MW)
01/2016	143	285	50	200
01/2017	-	-	-	-
01/2018	600	-	-	-
01/2019	-	-	-	-
01/2020	-	-	-	-
01/2021	-	-	-	-
01/2022	285	-	-	-
01/2023	-	-	-	-
01/2024	143	-	-	-
01/2025	143	-	-	-
01/2026	-	-	-	-
01/2027	-	-	-	-
01/2028	-	428	-	-
01/2029	-	-	-	-
01/2030	-	-	-	-

# Resultados

## *Análisis de Sensibilidad*

- ▶ También es objetivo de este TT analizar los diferentes planes de expansión en base a diferentes escenarios.
- ▶ De esta manera, las siguientes variaciones serán incorporadas a fin de evaluar sus impactos:
  - **Escenario 1:** costos de inversión 10% más altos;
  - **Escenario 2:** mayor tasa de descuento (14%);
  - **Escenario 3:** mayor crecimiento de la demanda ;
  - **Escenario 4:** objetivo de alcanzar 25% de Generación Renovable No Convencional (GRNC) a partir del año 2025;

# Resultados

## Planes de Expansión de los Diferentes Escenarios Considerados

**Escenario 1 - Costos de inversión 10% más altos**

Fecha	Carbon	Gas Natural	Eólica	Solar
	(MW)	(MW)	(MW)	(MW)
01/2016	143	285	50	200
01/2017	-	-	-	-
01/2018	600	-	-	-
01/2019	-	100	-	-
01/2020	-	-	-	-
01/2021	-	-	-	-
01/2022	-	-	-	-
01/2023	-	428	-	-
01/2024	-	-	-	-
01/2025	-	-	-	-
01/2026	-	-	-	-
01/2027	-	570	-	-
01/2028	-	-	-	-
01/2029	-	-	-	-
01/2030	-	-	-	-

**Escenario 2 - Tasa de descuento 2% más alta**

Fecha	Carbon	Gas Natural	Eólica	Solar
	(MW)	(MW)	(MW)	(MW)
01/2016	143	285	50	200
01/2017	-	-	-	-
01/2018	600	-	-	-
01/2019	-	200	-	-
01/2020	-	-	-	-
01/2021	-	-	-	-
01/2022	-	100	-	-
01/2023	-	-	-	-
01/2024	-	-	-	-
01/2025	-	428	-	-
01/2026	-	143	-	-
01/2027	-	-	-	-
01/2028	-	-	-	-
01/2029	-	-	-	-
01/2030	-	143	-	-

**Escenario 3 - Mayor crecimiento de la demanda**

Fecha	Carbon	Gas Natural	Eólica	Solar
	(MW)	(MW)	(MW)	(MW)
01/2016	143	285	50	200
01/2017	-	-	-	-
01/2018	600	-	-	-
01/2019	285	-	-	-
01/2020	143	-	-	-
01/2021	285	-	-	-
01/2022	-	-	-	-
01/2023	-	-	-	-
01/2024	428	-	-	-
01/2025	-	-	-	-
01/2026	-	-	-	-
01/2027	-	285	-	-
01/2028	-	-	-	-
01/2029	-	-	-	-
01/2030	-	-	-	-

**Escenario 4 - 25% de GRNC a partir del año 2025**

Fecha	Carbon	Gas Natural	Eólica	Solar
	(MW)	(MW)	(MW)	(MW)
01/2016	143	285	50	200
01/2017	-	-	-	-
01/2018	600	-	-	-
01/2019	-	-	-	-
01/2020	-	-	-	-
01/2021	143	-	-	-
01/2022	143	-	-	-
01/2023	-	-	-	-
01/2024	-	-	-	-
01/2025	-	-	1,500	100
01/2026	-	-	-	50
01/2027	-	285	-	50
01/2028	-	-	-	-
01/2029	-	-	-	150
01/2030	-	-	-	-

# Conclusiones

- ▶ Escenario base → sólo hay GRNC en el corto plazo → decisiones fijas.
- ▶ Los supuestos de combustibles, los factores de capacidad de los proyectos renovables y sus costos de inversión, generan una clara preferencia por **combustibles líquidos** y todavía **hay** una **expansión** preponderante de tecnologías **sucias de Carbón**.
- ▶ Comparando los planes de expansión de los escenarios **base y 1**, se observa que el incremento de **10% en los costos de inversión** es muy **representativo** para las **plantas a carbón**, afectando directamente su competencia y el plan se queda basado en **gas natural**.

- ▶ A **mayores tasas de costo del capital**, como observado en el **escenario 2**, el Valor Actual Neto (VAN) que representa todos los **desembolsos** de los costos anualizados de inversión relativo a las térmicas a **carbón** se queda representativamente **más grande** que el VAN de las térmicas a **gas**, también interfiriendo directamente en el análisis de *trade-off*.

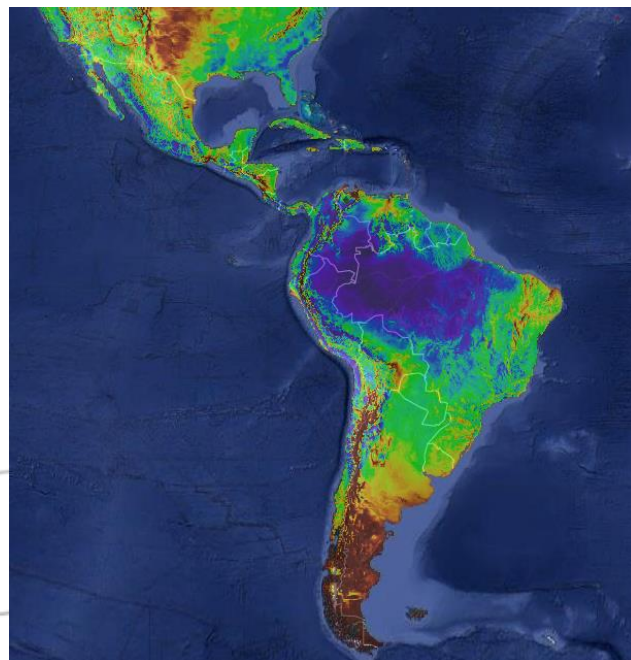
# Conclusiones

- ▶ Por otro lado, cuando un **mayor crecimiento de la demanda** ocurre, como se observa en el escenario 3, el **costo operativo** quedase más **representativo**, justificando el plan de expansión estar basado en **carbón** en el **escenario 3**.
- ▶ Al analizar el **escenario 4**, se observa que los factores de capacidad de los proyectos candidatos renovables no son altos y el modelo tiene que cumplir con el objetivo de alcanzar **25% de GRNC en 2025** → costos resultantes: inversión total aumentó 15%, el costo de operación disminuyó 2% y al final, el costo total (inversión/operación) aumentó 3%.

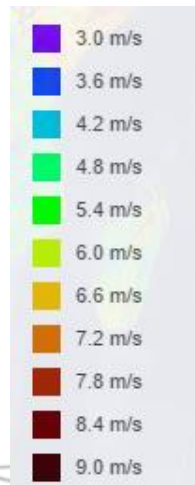
# Conclusiones

- ▶ Países en todo el mundo están buscando reducir su dependencia de combustibles fósiles y disminuir las emisiones que alteran el clima → Rep. Dominicana debe caminar en el mismo sentido.
- ▶ Además, los costos de inversión en plantas eólicas y solares también son un punto clave para el PEG.
- ▶ Este TT muestra que la utilización de herramientas computacionales que determinan el PEG de menor costo a través de la optimización del *trade-off* entre CAPEX y OPEX.
- ▶ Estas herramientas son muy importantes por permitir una representación detallada de la operación del sistema bajo incertidumbre e involucrar estos detalles claves en el proceso de toma de decisión de inversión y expansión de los sistemas eléctricos.

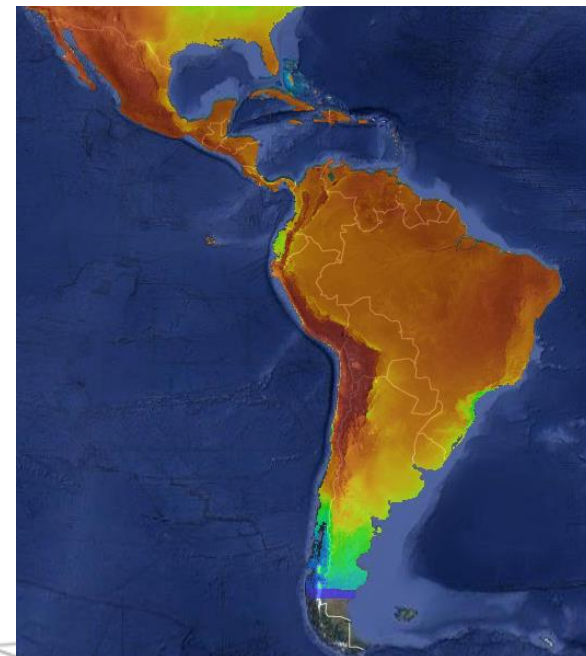
- De acuerdo con [14], hay algunos indicios de que hay sitios específicos con mayores factores de capacidad de GRNC → se hacen necesarias una mayor investigación de los potenciales y la instalación de estaciones de más estaciones de medición para viabilizar un mejor aprovechamiento de los recursos renovables del país.



 **IRENA**  
International Renewable Energy Agency

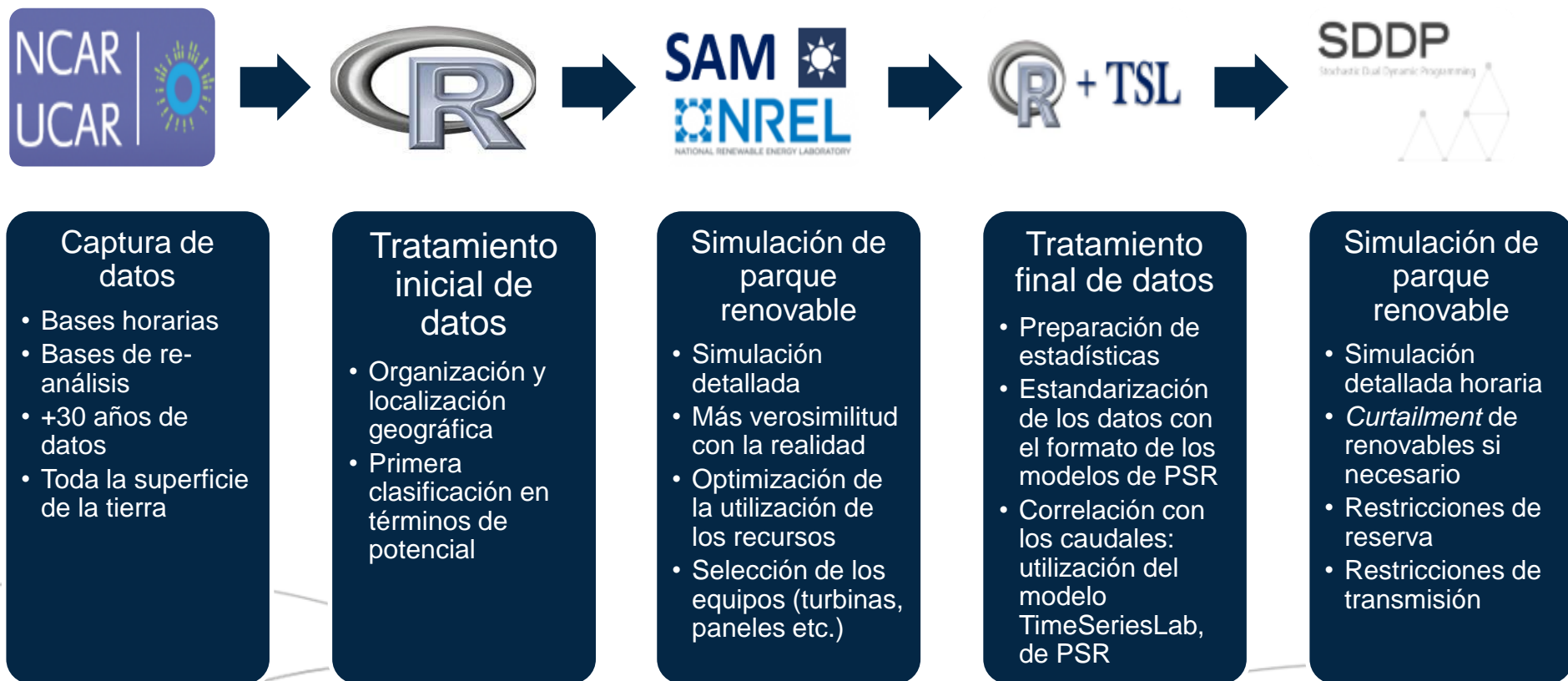


**Global Atlas**  
FOR RENEWABLE ENERGY





- Se propone como trabajo futuro la aplicación de la **Nueva Metodología para Tratamiento de Renovables**:





Conseil Internationale des Grands Réseaux Electriques  
Consejo Internacional de Grandes Redes Eléctricas  
Comité Nacional Paraguay

## XVII ENCUESTRO REGIONAL IBEROAMERICANO DEL CIGRE



Ciudad del Este – Paraguay  
21 al 25 de mayo del 2017

# ¡Muchas Gracias!

Preguntas: [ricardo@psr-inc.com](mailto:ricardo@psr-inc.com)



[www.psr-inc.com](http://www.psr-inc.com)



+55 21 3906-2100



+55 21 3906-2121



ORGANIZADO POR:

