

# ENERGÍA TERMOSOLAR, VENEZUELA Y EL DESARROLLO SUSTENTABLE DENTRO DE LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO DEL MILENIO

Viggiani P., Pedro<sup>1,\*</sup>, Serafin P., Manuel<sup>2</sup> y Centeno S. Raquel<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad Nacional Politécnica “Antonio José de Sucre”. Vicerrectorado “Luis Caballero Mejías”. Carretera Caracas-El Junquito Km 0. La Yaguara, Caracas-Venezuela.

Móvil: +58 (416) 719.21.04, e-mail: [pedro.viggiani@gmail.com](mailto:pedro.viggiani@gmail.com)

<sup>2</sup>Departamento de Ciencias Básicas. Universidad Nacional Politécnica “Antonio José de Sucre”. Vicerrectorado “Luis Caballero Mejías”. Carretera Caracas-El Junquito Km 0. La Yaguara, Caracas-Venezuela.

Móvil: +58 (412) 256.08.77, e-mail: [mserafin@unexpo.edu.ve](mailto:mserafin@unexpo.edu.ve)

<sup>3</sup>Departamento de Ingeniería Industrial. Universidad Nacional Politécnica “Antonio José de Sucre”. Vicerrectorado “Luis Caballero Mejías”. Carretera Caracas-El Junquito Km 0. La Yaguara, Caracas-Venezuela.

Móvil: +58 (412) 285.38.38, e-mail: [rcsingeniero@gmail.com](mailto:rcsingeniero@gmail.com)

## Sub-Tema 7: Garantizar la Sostenibilidad del Medio Ambiente

### RESUMEN

El séptimo de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) propone garantizar la sostenibilidad del medioambiente integrando principios de desarrollo sustentable en las políticas nacionales de los diferentes países del orbe, reduciendo la pérdida de biodiversidad y mejorando la vida de los más pobres garantizando acceso a agua potable y saneamiento básico. Tres lustros después el planeta sigue dependiendo en demasía de combustibles fósiles con gran impacto ambiental, pero varios países han optado por generar energía eléctrica mediante tecnología termosolar. En este ensayo se reflexiona sobre las políticas públicas venezolanas, la situación nacional actual sobre generación de energía eléctrica y la oportunidad que representa la generación termosolar. La investigación documental se complementó mediante una estimación de la radiación solar promedio diaria durante un año para ubicaciones de ciertas plantas termosolares activas así como para la Isla de Coche, comparando el potencial nacional en esta tecnología. Se concluyó que Venezuela presenta contradicciones entre el esbozo de su política pública y las acciones emprendidas en la generación eléctrica, pero dispone del potencial para generarla usando concentración solar térmica. Con ello podría alinear la política energética con las exigencias ambientales recogidas en el Plan de la Patria y que imponen los ODM.

**PALABRAS CLAVE:** Energía Termosolar, Sostenibilidad, Metas del Milenio. Desarrollo Insular Sostenible.

---

\*autor responsable de atender la correspondencia.

## 1. INTRODUCCIÓN

Apenas en 1990 Ernesto Mayz Vallenilla vislumbraba que *“el presente y el futuro de la humanidad – hasta donde sea posible adelantar su pronóstico sin caer en un ingenuo profetismo – dependen del desarrollo de la técnica”* No obstante, dejaba claro también que *“en tanto que actividad humana, el quehacer técnico...se halla expuesto a sufrir o provocar las transformaciones que el propio hombre promueve mediante las obras de su libertad”* (Mayz Vallenilla, 2005, p. xxi).

La gigantesca demanda por las tecnologías avanzadas refleja su valor, lo cual impulsa una rápida evolución del sector energético para poder suministrar la energía que requieren tales tecnologías emergentes. El crecimiento energético está directamente vinculado al bienestar y la prosperidad en todo el planeta. Satisfacer la demanda creciente de energía en una forma segura y ambientalmente responsable es un reto clave de la humanidad. Siete mil millones de personas usan energía diariamente para hacer su vida más productiva, segura y sana (Exxon Mobil, 2015).

El logro del séptimo objetivo de desarrollo del milenio, se monitorea sobre un conjunto de indicadores, específicamente los indicadores 7.2 y 7.3 son relevantes en relación al impacto ambiental ya que miden las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) sobre diferentes bases así como el consumo de sustancias que agotan la capa de ozono, respectivamente (Instituto Nacional de Estadística y Censos de Costa Rica, 2008). En cualquier caso, resulta decepcionante que los Objetivos de Desarrollo del Milenio de las Naciones Unidas (ODM) no hagan mención explícita a la necesidad de proveer acceso universal a los servicios energéticos, ni tampoco mencionen los asuntos relevantes con que debe lidiarse en torno a la relación entre energía, pobreza y desarrollo sustentable.

En 2004, la Evaluación Energética Mundial del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo presentó una matriz que ilustra el rol de los servicios energéticos en el logro de cada uno de los ODM y se concluye que ninguno de los ODM puede alcanzarse sin una mejora tanto en calidad como en cantidad de acceso a la energía. El mayor reto para la sustentabilidad se impone en las áreas ecológicamente más diversas y frágiles, tales como las zonas de turismo basado en la naturaleza y las regiones insulares y debería atenderse desplegando sistemas energéticos descentralizados que usen mayoritariamente fuentes energéticas renovables. Las tecnologías energéticas renovables actualmente probadas y disponibles comercialmente se consideran particularmente adecuadas para el desarrollo energético rural como una sólida alternativa ambiental para la extensión de las redes de electrificación (Lyster & Bradbrook, 2006).

En lo sucesivo este trabajo, una vez enunciado su objetivo y presentados los aspectos metodológicos empleados, procurará establecer el nivel de emisiones de CO<sub>2</sub> y relacionarlo con las fuentes energéticas, anunciar el rol de la energía termosolar como fuente limpia, abundante y confiable de generación eléctrica, comparar el potencial termosolar en Venezuela con sitios actualmente utilizados y estimar resultados respecto al ahorro de emisiones que se derivarían del uso de la tecnología solar térmica para la generación de energía eléctrica. Se finaliza presentando una serie reflexiones para el debate académico con la expectativa de influir, tanto en la opinión como en las políticas públicas venezolanas, a fin de conciliar en el futuro más próximo las demandas ambientales con los imperativos del desarrollo nacional.

## 2. OBJETIVO

Reflexionar sobre el rol que puede jugar la generación de energía eléctrica mediante la tecnología termosolar para Venezuela como garante del cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo del Milenio y las disposiciones normativas del país.

## 3. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo tiene un propósito descriptivo general que responde a una investigación documental, así como a una de estimación teórica de datos experimentales de la potencia de radiación solar directa para una región insular de Venezuela (Isla de Coche, Estado Nueva Esparta) y para las condiciones de otras localidades geográficas que en efecto aprovechan esta fuente de generación para suplir parte de su demanda energética actual. Las estimaciones corresponden a un nivel de investigación correlacional desarrollado a partir de los datos geográficos de latitud y altura sobre el nivel del mar de cada localidad a partir del método de Hottel (1976), considerando las correcciones para el ángulo cenital a partir de la interpolación de la masa de aire propuesta por Young (1994). Las ecuaciones que se utilizan son:

$$\tau_b = a_0 + a_1 e^{\left(\frac{-k}{\cos(z)}\right)} \quad (1)$$

Donde:

$\tau_b$ , es la transmitancia de todas las longitudes de onda en días claros de radiación solar a través de la atmósfera standard de 1962<sup>1</sup> hacia la superficie a la altitud A.

$a_0$ ,  $a_1$  y  $k$ , son parámetros ajustables del modelo, funciones solo de la altitud y de la turbiedad (rango de visibilidad).

$z$ , es el ángulo cenital del Sol.

El método funciona correctamente para ángulos cenitales comprendidos entre 0° y 80° (Hottel, 1976). Para poder barrer el ángulo hasta que sea perpendicular se modifica la ecuación (1) utilizando la relación de la masa de aire<sup>2</sup>. Reno y colaboradores (2012) presentan una relación funcional de la masa de aire respecto al ángulo cenital:

---

<sup>1</sup> La atmósfera estándar de 1962 es una serie de modelos que definen los valores de ciertas propiedades del aire atmosférico de los Estados Unidos de América según su altitud. Ha tenido revisiones en 1966 y 1976, sin embargo los valores de la versión más actual sólo difieren del modelo de 1962 usado por Hottel a alturas mayores a 32 Km sobre el nivel del mar. Dado que el modelo de Hottel sólo es válido para alturas menores a 2,5 Km. Los valores de la atmósfera estándar norteamericana coinciden, siempre que la altura sea menor a 32 Km sobre el nivel del mar, tanto con los de la International Standard Atmosphere de la ISO como con los de International Civil Aviation Organization (ICAO).

<sup>2</sup> La radiación extraterrestre sufre una atenuación al viajar a través de la atmósfera. Ese decaimiento lo expresó Bouguer en 1729 mediante una Ley que multiplica al valor constante de la irradiación normal en lo alto de la atmósfera por una exponencial negativa cuya variable independiente es la masa de aire óptica absoluta. La masa de aire absoluta corresponde a la integral de trayectoria de la función de densidad del aire atmosférico respecto a la referida trayectoria. En términos generales dicho integrando no tiene una función primitiva elemental y se estima mediante una función de oblicuidad, bajo la hipótesis de una atmósfera con simetría esférica. La masa de aire relativa óptica o simplemente la masa de aire, es definida entonces como la proporción de oblicuidad de la masa de aire absoluta óptica (Rapp-Arrarás & Domingo-Santos, 2011).

$$m(z) = \frac{1}{\cos(z)} \quad (2)$$

Existen muchas correlaciones para la masa de aire, según la evaluación hecha por Reno y colaboradores (2012) la ecuación propuesta por Young (1994) resulta sumamente adecuada<sup>3</sup>. De tal forma la masa de aire se determinará mediante la ecuación:

$$m(z) = \frac{1,002432 \cos^2(z) + 0,148386 \cos(z) + 0,0096467}{\cos^3(z) + 0,149864 \cos^2(z) + 0,0102963 \cos(z) + 0,000303978} \quad (3)$$

Los parámetros de la ecuación (1) fueron ajustados por Hottel en función de la altura sobre el nivel del mar, tal como se detalla en las tres ecuaciones que se muestran de seguido:

$$a_0 = r_0(0,4237 - 0,00821(6-A)^2) \quad (4)$$

Donde:

$A$ , es la altura sobre el nivel del mar en Km.

$r_0$ , es una constante para ajustar el modelo respecto a la atmósfera estándar según el tipo de clima (ver Tabla 1).

$$a_1 = r_1(0,5055 - 0,00595(6,5-A)^2) \quad (5)$$

$r_1$ , es una constante según el tipo de clima (ver Tabla 1).

$$k = r_k(0,2711 - 0,01858(2,5-A)^2) \quad (6)$$

$r_k$ , es una constante según el tipo de clima (ver Tabla 1).

A partir de la transmitancia  $\tau$  se puede determinar la irradiancia directa si se conoce previamente la radiación solar extraterrestre sobre un plano normal a la radiación ( $G_{on}$ ). Passamai (2000) deduce en su trabajo las siguientes ecuaciones:

$$G_{on} = G_{SC}(1 + 0,033 \cos(\theta)) \quad (5)$$

Donde:

$G_{SC}$ , es la densidad de flujo promedio anual de la energía proveniente del Sol, tomada sobre una superficie perpendicular a la dirección sol-tierra, fuera de la atmósfera. También denominada constante solar y su valor generalmente aceptado es  $1367 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$ .

$\theta$ , es el ángulo que forma el radio vector sol-tierra respecto del eje mayor de la elipse que describe la órbita terrestre, el cual cambia diariamente, según la relación  $\theta = \frac{2\pi n}{365}$ , donde  $n$  corresponde al número del día.<sup>4</sup>

De allí se puede determinar la irradiancia directa para un día claro según la ecuación (Passamai, 2000):

<sup>3</sup> El propio Young muestra la excelente correlación entre la función de la masa de aire que él propone respecto a la secante de ángulo cenital. Sin embargo advierte que será útil para diversos propósitos siempre que la masa de aire no sea muy grande y la recomienda en particular cuando  $m(z) < 4$ .

<sup>4</sup> Se deduce de la expresión que la misma rige para los años no bisiestos, en cuyo caso habría que hacer la corrección en el denominador de 365 a 366.

$$G_{cb}=G_{on}T_b\cos(z) \quad (7)$$

El coseno del ángulo cenital depende de la latitud, el ángulo de declinación solar y el ángulo horario según la relación:

$$\cos(z) = \sin(\varphi) \sin(\delta(n)) + \cos(\varphi) \cos(\delta(n)) \cos(w) \quad (8)$$

Donde:

$\varphi$ , es la latitud (positiva para el hemisferio norte y negativa para el sur).

$\delta$ , es el ángulo de declinación solar que varía en función del día del año  $n$ .

$w$ , es el ángulo horario que pertenece al intervalo  $(-w_s, +w_s)$ .

La declinación solar se aproxima según la ecuación propuesta por Cooper (1969):

$$\delta(n)=23,45^\circ \sin \left[ \frac{2\pi(284+n)}{365} \right] \quad (9)$$

Finalmente, el ángulo horario ( $w$ ) se hace cero al mediodía y recorre desde la salida ( $-w_s$ ) hasta la puesta de Sol ( $+w_s$ )<sup>5</sup>. El ángulo de salida/puesta de sol se determina a partir de la latitud y del ángulo de declinación solar para cada día que se realice el cálculo correspondiente (Passamai, 2000):

$$w_s = \cos^{-1}(\tan(\varphi) \tan(\delta(n))) \quad (10)$$

Para cada día de los doce meses del año, se estimó la radiación directa en los 60 intervalos, desde el amanecer hasta el ocaso, para cada una de las localidades bajo estudio usando Microsoft Excel®. Se promedió la radiación de cada día y se construyeron gráficas de dispersión de la radiación solar directa promedio en función del día del año. Se comparó, tanto visualmente a través de las gráficas, como atendiendo a la potencia directa promedio anual, calculada por integración numérica de los 365 puntos de cada gráfica con la regla trapezoidal compuesta (Gautschi, 2012, p. 166)<sup>6</sup>.

**Tabla 1. Factores de Ajuste por Tipo de Clima en el Método de Hottel (1976)**

<i>Tipo de clima</i>	$r_0$	$r_1$	$r_k$
Estándar	1,00	1,00	1,00
Tropical	0,95	0,98	1,02
Verano <sup>7</sup> , latitud media <sup>8</sup>	0,97	0,99	1,02

<sup>5</sup> Para los efectos de éste trabajo se hicieron 60 particiones al intervalo  $(-w_s, +w_s)$  para cada día en que se estimó la radiación. El valor de la radiación de cada día corresponde al promedio aritmético simple de esos sesenta puntos horarios.

<sup>6</sup> Para el caso específico que nos ocupa, el método arroja la siguiente fórmula para la radiación directa anual por unidad de área  $G_{CB}^{anual} = \int_1^{365} G_{CB}(n)dn = n \left( \frac{1}{2}f_1 + f_2 + \dots + f_{364} + \frac{1}{2}f_{365} \right) + Error \left[ \frac{Wañño}{m^2} \right]$

<sup>7</sup> Se utilizarán las estaciones astronómicas, el verano para el hemisferio norte corresponde al lapso comprendido entre el solsticio de verano (21 de junio) y el equinoccio de otoño (21 de septiembre) mientras que el invierno transcurre entre el solsticio de invierno (21 de diciembre) y el equinoccio de primavera (21 de marzo). En el hemisferio sur se invierten las estaciones.

<sup>8</sup> La latitud media corresponde a la zona entre los 35° y los 66° tanto para el hemisferio norte como para el hemisferio sur (Perry, 1987).

Verano, subártico <sup>9</sup>	0,99	0,99	1,01
Invierno, latitud media	1,03	1,01	1,00

Para los efectos de este trabajo se obviaron las correcciones climáticas y a cambio se estimó el error máximo (menor a 7,5%) que pudiere cometerse al subestimar la radiación en las tres localidades de latitud media, mediante la técnica estándar de propagación de errores mediante derivadas parciales (Hughes & Hase, 2010, pp. 43, Ec. 4.16).

En la actualidad existen noventa y tres plantas en operación (ver Figura 8) para los efectos de este trabajo se seleccionó una muestra intencional por criterio de cinco de ellas: (1) Gemasolar ubicada en Andalucía, España; (2) Nevada Solar One localizada en Boulder City, E.E.U.U.; (3) Shams 1 emplazada en Madinat Zayet, Abu Dhabi; (4) Pedro de Valdivia situada en Antofagasta, Chile; y (5) Archimede instalada en Priolo Gargallo, Sicilia, Italia.

El criterio de selección de las cuatro primeras es su elevada capacidad de generación de energía eléctrica, incluyendo dos en el continente americano (una en cada hemisferio); la tercera es la más grande de España (el país con mayor explotación de la tecnología) y la última, en una potencia petrolera (Emiratos Árabes Unidos) que se ubica en el hemisferio oriental abarcando así todo el planeta. La planta Archimede se incluyó por ser pequeña y estar en una isla (muy similar a las condiciones en Coche). Los datos más relevantes se resumen en la Tabla 2:

**Tabla 2. Datos de las Localidades a Comparar<sup>10</sup>**

<sup>9</sup> La región subártica se encuentra en latitudes comprendidas entre 50° y 70° del hemisferio norte. Su descripción está más asociada al clima (para revisar las regiones que comprende se puede consultar [http://docsetools.com/articulos-enciclopedicos/article\\_81860.html](http://docsetools.com/articulos-enciclopedicos/article_81860.html)).

<sup>10</sup> Todos los datos en color son estimados, en el caso de la eficiencia de conversión 4.01% es el promedio de las cuatro plantas ya en operación y ese valor se usa para las estimaciones de la planta en Chile y la potencia requerida en Isla de Coche. A partir de la eficiencia se determinó la energía disponible a sabiendas del área de la planta y de la energía a generar para la planta chilena. En el caso de Isla de Coche el dato de color morado se estima según la demanda actualizada de la Isla (Redacción, 2015) y datos sobre su generación anual (Ponte Araujo, 2003, pp. 52 - Tabla 3)

	Isla de Coche - Edo. Nva. Esparta, Venezuela	Gemasolar - Andalucía, España	Nevada Solar One - Boulder City, USA	Shams 1 - Madinat Zayed, Abu Dhabi	Archimede - Priolo Gargallo, Sicilia, Italia	Pedro de Valdivia - Antofagasta, Chile
<b>Área [Ha]</b>	<b>17</b>	195	162	250	8	1.982
<b>Recurso Solar [KWh/m<sup>2</sup>/año]</b>	<b>2.279</b>	2.172	2.606	1.934	1.936	<b>2.650</b>
<b>Energía a Generar [MWh/año]</b>	<b>15.385</b>	110.000	134.000	210.000	9.200	2.108.000
<b>Latitud [Grados Decimales]</b>	10,7545 Norte	37,5625 Norte	35,8000 Norte	23,5703 Norte	37,1342 Norte	22,7278 Sur
<b>Longitud [Grados Decimales]</b>	63,9191 Oeste	5,3304 Oeste	114,9833 Oeste	53,7156 Este	15,2167 Este	69,5861 Oeste
<b>Altura sobre Nivel del Mar [m]</b>	13	171	544	133	4	1428
<b>Tipo de Clima</b>	Tropical	Latitud Media	Latitud Media	Tropical	Latitud Media	Tropical
<b>Energía Disponible [MWh/año]</b>	<b>383.316</b>	4.235.400	4.221.720	4.835.000	154.880	<b>52.520.670</b>
<b>Eficiencia de Conversión</b>	<b>4,01%</b>	2,60%	3,17%	4,34%	5,94%	<b>4,01%</b>

Los valores geográficos para cada una de las plantas seleccionadas para la comparación se obtienen de los datos publicados por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable de los Estados Unidos de América (NREL<sup>11</sup>) que son de acceso abierto en su página web (NREL, 2013). Para la Isla de Coche se seleccionó el punto cuya latitud es 10°45'00,0672" Norte y cuya longitud corresponde a 63°54'35,9143" Oeste, ubicado al suroriente de El Bichar y al noroeste de El Amparo. La altura sobre el nivel del mar es 13 metros y se determinó a partir de los datos en ángulo decimales de latitud y longitud usando el servicio web Advanced Converter (Papadimitriou, S/F).

Así mismo se estimó el volumen total en toneladas anuales de emisiones de CO<sub>2</sub> que dejarían de producirse como consecuencia directa del uso de energía termosolar en lugar de combustión de diésel para la generación de energía eléctrica en la Isla de Coche, utilizando como datos el consumo promedio de combustible por KWh multiplicado tanto por el estimado de energía a generar en un año, como por el factor de emisión para la combustión de diésel.

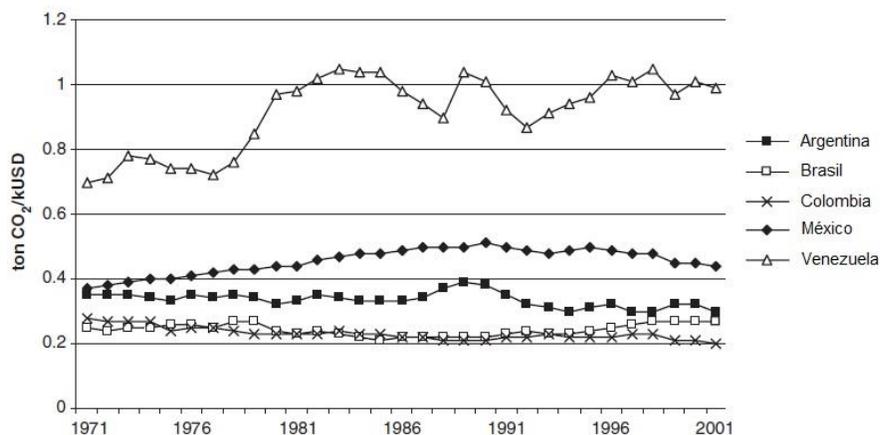
## 4. REVISIÓN DE LA SITUACIÓN

### 4.1 VENEZUELA – EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>)

Las emisiones de CO<sub>2</sub> de Venezuela por habitante son las más altas de América Latina y se han mantenido así durante años. En efecto, Kuntsi-Reunanen (2007) basándose en datos de la Agencia Internacional de Energía (AIE), reportó que Venezuela para 1971 emitió 700 g de CO<sub>2</sub> por cada US\$ de PIB, lo que lo colocó en el tope de los emisores de Latinoamérica sólo superado en el grupo de comparación por países desarrollados como Alemania y los Estados Unidos de América. Para 2001 la cifra empeoró notablemente para alcanzar 1000 g de CO<sub>2</sub>/US\$, con lo cual no sólo se ubicó en el tope de América Latina sino que generó emisiones mayores que los países desarrollados (Alemania 440 y E.E.U.U. 630). Si se opta por otro indicador, la emisión por habitante, Venezuela se

<sup>11</sup> National Renewable Energy Laboratory, por sus siglas en inglés.

posicionó como el peor emisor latinoamericano con 4,7 toneladas per cápita en 1971 incrementándose a 5,2 en 2001 (ver Figura 1). En este indicador aunque la nación se encuentra muy por debajo de los países desarrollados en el grupo de comparación (Alemania 12,6 Ton en 1971 y 10,3 Ton en 2001; E.E.U.U. 20,7 Ton en 1971 y 19,8 Ton en 2001), muestra una tendencia creciente en el tiempo mientras que la misma es decreciente en dichos países desarrollados.

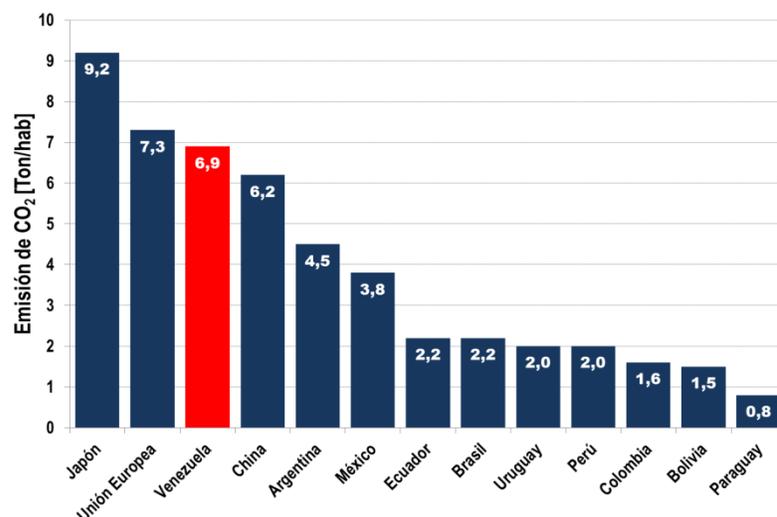


**Figura 1 Evolución de Eficiencia Económica por CO<sub>2</sub> Emitido para algunos Países Latinoamericanos entre 1971 y 2001 (Kuntsi-Reunanen, 2007)**

Como se ha planteado a nivel de emisiones totales, Venezuela es un país de pocas emisiones. Alarcón Díaz (2013) señala que ser un país de pocas emisiones, a pesar de ser uno de los principales productores y exportadores de petróleo en el mundo, se debe a la alta utilización de la energía hidroeléctrica, que para 1999 representaba el 70% de la producción de energía total nacional. Afirma, no obstante, que la situación podría variar de alguna manera ya que ciertas condiciones han cambiado posteriormente, por una parte el aumento poblacional 18,1% en la década 2001-2011<sup>12</sup>, por otra parte afirma – usando datos de CORPOELEC – que el parque de generación ha crecido en la última década en 6461 MW, de los cuales 4311 MW son nuevas plantas termoeléctricas y 2150 MW plantas hidroeléctricas, aumentando el componente de generación termoeléctrica con relación a la hidroeléctrica. De acuerdo con esas cifras la generación hidroeléctrica para 2013 era 62% del total nacional (8% menor respecto a 1999). A éste cambio habría que añadir que Venezuela ha confrontado problemas con la disposición de gas natural por lo cual muchas de esas plantas estarían operando con combustibles líquidos incrementando las emisiones globales de CO<sub>2</sub>. De hecho, en el importante Complejo Generador “Josefa Joaquina Sánchez Bastidas” ubicado en Tocoa, Estado Vargas, que surte del flujo eléctrico a la ciudad de Caracas se estima, a partir de los datos recopilados por Cairós (2012), un uso del 11% de gas natural como fuente primara, el resto usan fuel-oil N°2 y N°6.

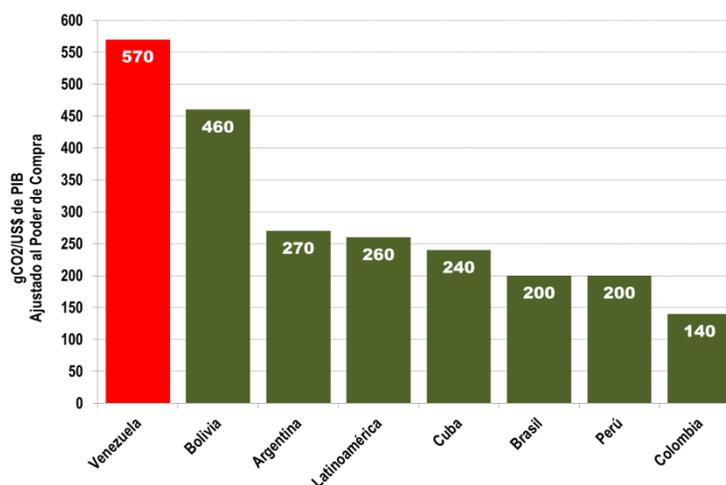
Datos presentados por Centeno (2013) muestran que si bien la situación de Venezuela se revierte respecto a los valores globales para 2010, ello no altera su posición en el concierto de naciones (ver Figura 2).

<sup>12</sup> Cálculos propios a partir de la información relativa al XIV Censo Nacional de Población y Vivienda presentada por el Instituto Nacional de Estadística (INE, 2014).



**Figura 2. Emisiones de CO<sub>2</sub> en 2010 para Latinoamérica, Japón, China y la Unión Europea (Centeno, 2013)**

Basándose en datos de la AIE el autor señala que en el 2010 se emitieron tan sólo por consumo de combustibles fósiles 570 g de CO<sub>2</sub> por dólar del PIB ajustado según el poder de compra, considerablemente más alto que el de otros países de la región tales como Argentina, Brasil y Colombia que registran 270 gCO<sub>2</sub>/US\$, 200 gCO<sub>2</sub>/US\$, y 140 gCO<sub>2</sub>/US\$, respectivamente (ver Figura 3).



**Figura 3. Eficiencia de la Economía Venezolana para 2010, kgCO<sub>2</sub>/US\$, incluye sólo combustibles fósiles (Centeno, 2013)**

Ahora bien, la situación reviste aun mayor gravedad cuando a estas emisiones se le añaden las consecuencias de la deforestación de bosques en la huella de carbono y en el deterioro ambiental en general. Nuevamente siguiendo a Centeno, quien alerta – sobre la base de datos reportados por la Organización de Naciones Unidas (ONU), la Organización Internacional de la Madera Tropical (ITTO) y la Comisión Económica para América Latina (CEPAL) – que en Venezuela se deforestaron 280.000 hectáreas anuales entre el 2000 y el 2010, devastación que implica una emisión adicional no menor a los 100 millones de toneladas de dióxido de carbono, elevando las emisiones totales a

aproximadamente 10,5 toneladas por habitante por año, posicionando al país entre los veinte países con mayores niveles de emisiones de CO<sub>2</sub> por persona.

Todo lo recientemente expuesto contradice gran parte la visión que el país tiene sobre sí mismo. La Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999) contempla novísimo derechos ambientales que no se compatibilizan con el devenir histórico reciente ni con la actualidad nacional. En el artículo 127 constitucional se establece como derecho y deber de cada generación proteger y mantener el ambiente en beneficio de sí misma y del mundo futuro, así mismo establece que el Estado protegerá el ambiente, la diversidad biológica, los procesos ecológicos y las áreas de especial importancia ecológica. También dispone como obligación fundamental del Estado, con la activa participación de la sociedad, garantizar que la población se desenvuelva en un ambiente libre de contaminación. También la Constitución en su artículo 178, numeral cuarto, establece que es competencia de los municipios la protección del ambiente. Esta estructura se ha desarrollado en leyes y normativas diversas, entre las cuales destaca la Ley Orgánica del Ambiente que tiene por objeto establecer las disposiciones y desarrollar los principios rectores para la gestión del ambiente en el marco del desarrollo sustentable como derecho y deber fundamental del Estado y de la sociedad, para contribuir a la seguridad del Estado y al logro del máximo bienestar de la población y al sostenimiento del planeta en interés de la humanidad.

No menos importante es el desarrollo de los aspectos ambientales y energéticos en la Ley del Plan de la Patria (2013) donde se plantean objetivos para garantizar la seguridad energética como diversificar la matriz de energía primaria incorporando energías alternativas, reemplazar paulatinamente el consumo de derivados del petróleo, fortalecer el sistema eléctrico nacional diversificando la matriz de insumos para la generación eléctrica favoreciendo fuentes de energía menos contaminantes, satisfacer los requerimientos de demanda de electricidad con criterios de respeto por el medio ambiente y sustentabilidad económica, fomentar el uso eficiente de la energía eléctrica mediante cambio en la cultura de consumo y utilizando fuentes de energía alternas y renovables. Así mismo el Gran Objetivo Histórico N°5 se plantea el reto de *“contribuir con la preservación de la vida en el planeta y la salvación de la especie humana”* para lo cual prevé construir un modelo económico eco-socialista que a nivel nacional garantice el uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales sobre la base de una relación armónica hombre-naturaleza que fomente un nuevo esquema de valores orientado al respeto y preservación de la naturaleza, impulse la generación de energías limpias, aumentando su participación en la matriz energética nacional con asimilación tecnológica, aumentar la generación de energía solar para atender prioritariamente las poblaciones aisladas, y simultáneamente promover ciudades energéticamente eficientes basadas en el uso de energías limpias. Mientras que en el plano internacional se refuerza el compromiso por la preservación del régimen climático conformado por las convenciones multilaterales.

Ante estos hechos y datos concretos cabe plantear para la reflexión colectiva la pregunta: ¿Cómo se patentiza una disyunción tan marcada entre la visión de país, su regulación y los resultados tangibles de las políticas públicas ambientales y energéticas?

## 4.2 VENEZUELA – POTENCIAL ENERGÉTICO

Venezuela es un país con ingentes recursos energéticos. Dentro de los no renovables destacan los hidrocarburos, gas y petróleo. Según datos de Martínez (2001) se posee una de las mayores reservas de petróleo a nivel mundial, con un volumen de 40.518 millones de toneladas de petróleo equivalente (297 millardos de barriles).

	Millones de TPE	%
<b>Petróleo</b>	<b>23465</b>	<b>78.3</b>
<b>Gas</b>	<b>5190</b>	<b>17.3</b>
<b>Carbón</b>	<b>300</b>	<b>1.0</b>
<b>Renovables</b>	<b>450</b>	<b>1.5</b>
<b>Nuclear</b>	<b>560</b>	<b>1.9</b>
<b>Total</b>	<b>29965</b>	<b>100.0</b>

	Millones de TEP	%
<b>Mini Hidráulicas</b>	<b>7</b>	<b>1.6</b>
<b>Bio-Energía</b>	<b>17</b>	<b>3.8</b>
<b>Solar</b>	<b>228</b>	<b>50.6</b>
<b>Eólica</b>	<b>70</b>	<b>15.6</b>
<b>Geotermal</b>	<b>8</b>	<b>1.8</b>
<b>Maremotriz</b>	<b>26</b>	<b>5.8</b>
<b>Hidráulica</b>	<b>94</b>	<b>20.8</b>
<b>Total</b>	<b>450</b>	<b>100.0</b>

**Figura 4. Potencial Energético de Venezuela<sup>13</sup> (Martínez, 2001)**

En lo concerniente a las energías renovables, en hidroelectricidad posee un potencial de 94 millones de toneladas de petróleo equivalente (80 GWh). Por su posición geográfica, cercana al ecuador, tiene un alto potencial de energía solar estimado en 228 millones de toneladas de petróleo equivalente (Martínez, 2001), el cual por sí sólo, constituye el 50% del potencial de las renovables (ver Figura 4).

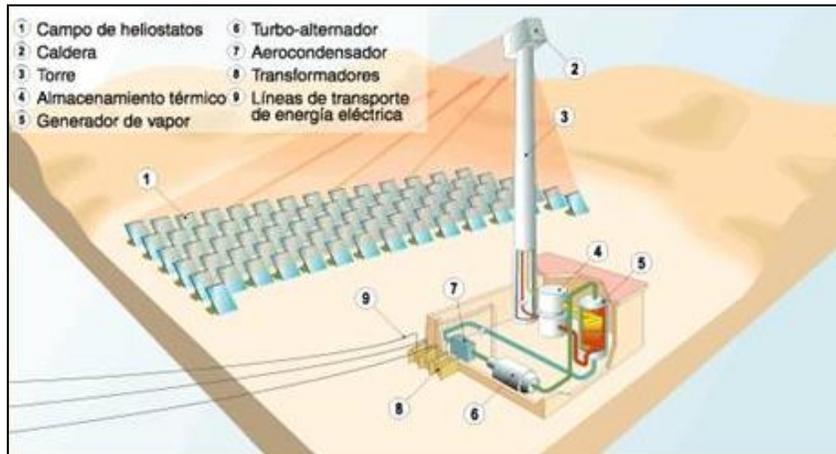
## 4.3 LA ENERGÍA TERMOSOLAR

El uso de la energía solar no es algo nuevo, en China y en la antigua Grecia se concentraban los rayos solares para encender fuego, incluso como técnica bélica para incendiar barcos enemigos. A partir de las exigencias asociadas a la Revolución Industrial, esta forma de energía se abandonó sustituyéndose por el carbón primero y por el petróleo después, siendo éste último hoy la fuente principal que rige el mercado energético mundial. El efecto contaminante de los combustibles fósiles aunado a la escalada en sus precios ha estimulado la investigación científica y el desarrollo tecnológico para explotar de manera más extensiva las energías renovables, renovando interés por la energía solar, en particular su aprovechamiento térmico a alta temperatura mediante la concentración de la insolación a través de espejos está registrando un auge extraordinario, con multitud de proyectos comerciales alrededor del Mundo, siendo un excelente complemento de la energía eólica. La investigación y desarrollo en estas tecnologías ya está abordando diseños y aplicaciones a nuevos ciclos termodinámicos más eficientes y a muy altas temperaturas, mediante esquemas modulares con menor impacto ambiental que incluyen el almacenamiento de la energía que extienden su aprovechamiento incluso cuando el sol se ha ocultado, facilitando que el suministro se adapte a las curvas de demanda (Viggiani, Serafin, & Hernández, 2012).

<sup>13</sup> TPE=Tonelada de Petróleo Equivalente=7,33 barriles=11530 kWh (kilovatios-hora).

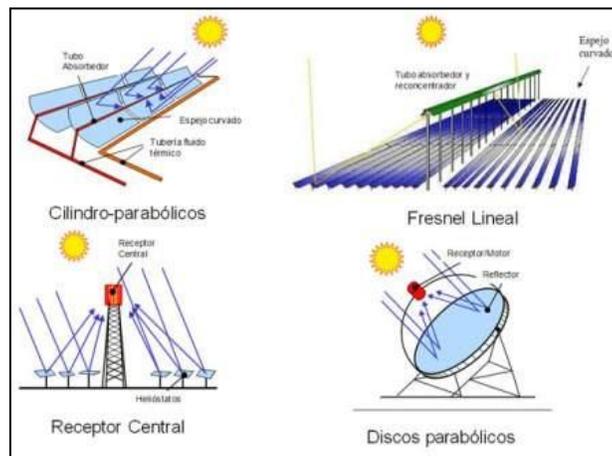
#### 4.4 PLANTAS TERMOSOLARES

Las Centrales Solares Termoeléctricas o también llamadas Centrales Termosolares, producen electricidad de forma bastante similar a las centrales convencionales, la diferencia radica en que su fuente primaria de energía se obtiene mediante la concentración de la radiación solar, a partir de la cual se genera vapor o gas a altas temperaturas para accionar turbinas (ver Figura 5).



**Figura 5. Esquema de una Planta Termosolar de Torre Central (Dolfin, 2006)**

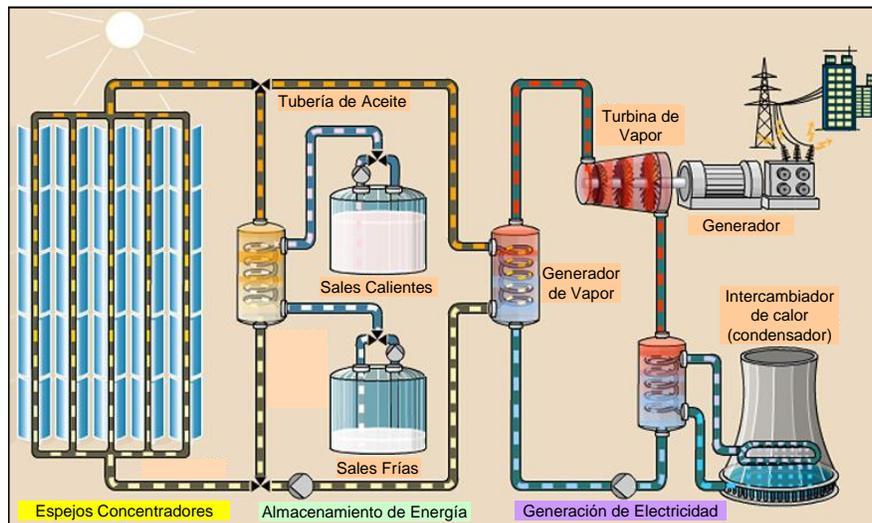
Así, estos sistemas de energía solar térmica de concentración producen calor o electricidad mediante el uso de cientos de espejos de gran tamaño que concentran la luz solar en una línea o en un punto a unas temperaturas que oscilan entre 400 °C y 1.000 °C, calentando un fluido que al evaporarse hace mover una turbina a vapor o gas. Existe una variedad de métodos según sean los espejos y el sistema de seguimiento solar tal como se muestra en la Figura 6:



**Figura 6. Métodos de Concentración Solar (Reactores Meteorológicos, 2008)**

Las plantas termosolares construidas en los últimos años disponen además de un sistema de almacenamiento de calor a alta temperatura (>500°C), que permite extender su periodo de funcionamiento fuera de las horas de incidencia solar (en el caso particular de la planta española Andasol 1, hasta por 7 horas y media después de la puesta del sol,

en el caso de Gemasolar se espera que el nivel de almacenamiento alcance las 15 horas). En la Figura 7 se muestra un diagrama de funcionamiento:



**Figura 7. Almacenamiento de Energía mediante el Cambio de Fases de Sales en una Planta Termosolar con Campo de Espejos Parabólicos (Wang, 2008)**

Como se observa en la Figura 7 el almacenamiento se logra mediante el uso de sales, tales como nitratos de sodio y potasio, que se guardan en estado líquido en un tanque “frío” a 293 °C. Cuando el sol brilla se bombean las sales en estado líquido y se hacen pasar por un intercambiador de calor donde absorben calor del fluido de los colectores solares (usualmente aceite en estas aplicaciones) hasta que las sales alcanzan 393 °C y se traspasan a un tanque caliente de almacenamiento. Luego, cuando ya no llegan los rayos del sol a los espejos de la planta, se realiza justamente el camino inverso desde el tanque caliente hacia el tanque frío aprovechando la energía almacenada en las sales fundidas para calentar el aceite sintético con el que se genera el vapor para seguir produciendo electricidad aun en ausencia de luz solar (Álvarez, 2009).

#### 4.5 LA ENERGÍA TERMOSOLAR EN EL MUNDO

La energía termosolar ha dejado de ser una tecnología nueva o experimental. La primera planta de este tipo fue construida en California en la década de los 80 y continua produciendo electricidad en la actualidad. En el 2010, la capacidad acumulada para el aprovechamiento de la energía termosolar en los Estados Unidos, ascendía a 17 plantas operativas, que generaban 507 MW. En el 2011, se inició la construcción de plantas adicionales con una inversión de 3,35 mil millones de USD por parte del Departamento de Energía, lo que constituyó un estímulo sin precedentes para el fortalecimiento de la industria termosolar, no sólo en USA, sino también a nivel mundial. Teniendo en consideración estos niveles de inversión, se evidencia que no es un hecho fortuito el que sea USA, el país que ostenta el tener en operación la planta termosolar más grande del mundo, Ivanpah Solar Power Facility, ubicada en California, que genera 392 MW y entró en operación el 23 de febrero de 2014. Si se considera la capacidad instalada, España continua a la cabeza del mercado de la energía termosolar, generando una potencia total de 1,042 MW en el 2012, comparado con los 509 MW generados en los Estados Unidos, ese mismo año. La potencia total generada por la energía termosolar ha alcanzado los

2,5 GW. Las plantas que actualmente se encuentran en construcción (ver Figura 8) generarán 2 GW adicionales y todas las plantas que se encuentran en espera, en etapas tempranas de desarrollo, aportarán entre 10 GW y 16 GW adicionales, el equivalente a 30 plantas típicas de 500 MW de generación por quema de gas, cuando sean completadas en los próximos años (Pool & Dos Passos Coggin, 2013).



**Figura 8. Plantas Termosolares a Nivel Mundial (en operación – color azul y planificadas<sup>14</sup> – color rojo) (Pool & Dos Passos Coggin, 2013)**

#### 4.6 VENTAJAS DEL USO DE LA ENERGÍA TERMOSOLAR

La generación termosolar produce una energía eléctrica limpia y respetuosa con el medioambiente, que evita la emisión de CO<sub>2</sub> y contribuye así a la lucha contra el cambio climático y el efecto invernadero. Como un ejemplo cuantificado se puede citar un informe de la asociación española de la industria solar termoeléctrica (Protermosolar) donde se establece que las diecisiete centrales termosolares operativas durante el año 2010 en España (732,4 MW generados) evitaron la emisión a la atmósfera de 1.107.180 toneladas de gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>) si se toma como referencia el conjunto de generación con combustibles fósiles (carbón, hidrocarburos líquidos y cogeneración con gas natural) al que sustituyó, lo que representó una disminución de 11,3% de las emisiones verificadas de gases de efecto invernadero (GEI) en España durante 2010 (Sanz, 2011). En general se estima que una central eléctrica termosolar evita unas 2000 toneladas anuales de emisiones de CO<sub>2</sub> por cada MW instalado (Twenergy, 2012).

El uso de la termosolar, al desplazar parte de la generación eléctrica de los hidrocarburos fósiles como fuente primaria hacia la irradiación solar, evita el agotamiento de valiosos elementos naturales no renovables como petróleo, gas natural y carbono contribuyendo a su preservación para las generaciones futuras. Lo cual, sin ser una panacea, es una idea que orbita en forma importante alrededor del debate sobre la sostenibilidad, por ejemplo expertos internacionales como Mark Jaccard (2006) mientras plantean la pregunta ¿Por

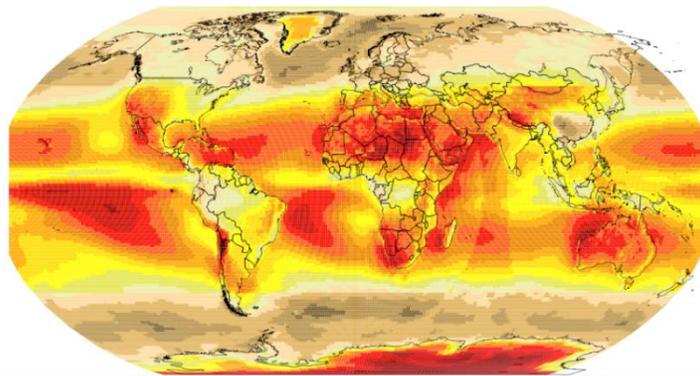
<sup>14</sup> Por planificadas se entienden aquellas plantas que se encuentran tanto en construcción como en las etapas tempranas de su desarrollo.

qué sostener nuestra dependencia del petróleo, carbón y gas natural sólo para entregar a futuras generaciones la carga nada envidiable de un sistema económico que se derrumbe como un castillo de naipes?, también señala que al optar por preservar el petróleo y el gas natural para futuras generaciones, frenando de crecimiento económico en los países en vía de desarrollo, podría tener verdaderas repercusiones para el bienestar de la gente más pobre del planeta en la actualidad e incluso para aquellos aún faltan por nacer durante éste siglo.

En general, las ventajas medioambientales de la concentración solar térmica respecto a la generación tradicional mediante la combustión de hidrocarburos e incluso mediante la fisión nuclear ha sido revisadas cualitativamente por Laughton (2003), en su análisis<sup>15</sup> divide la evaluación de los efectos ambientales entre los que ocurren sobre la tierra, el agua, el aire, así mismo valora los fluidos de desperdicio que se generan, junto con una evaluación de otros aspectos generales y los potenciales riesgos ante una catástrofe; en la apreciación de los efectos utiliza una escala de cuatro niveles para el impacto (grande, mediano, pequeño o cero impacto). Si con fines comparativos le asignamos ponderaciones arbitrariamente a cada nivel (p.e.: 3, 2, 1 y 0, respectivamente) obtendríamos una comparación del daño potencial. En el caso de la concentración termosolar la suma de los diferentes efectos es tres (3) mientras que en las fuentes convencionales llega a cuarenta y siete (47). La generación eólica en tierra firme registra dieciséis (16), la hidroeléctrica de pequeña escala y la fotovoltaica obtienen un valor de cinco (5), con lo cual se puede entender en su justa medida las bondades de esta tecnología de conversión energética.

#### **4.7 POTENCIAL DE LA ENERGÍA TERMOSOLAR EN VENEZUELA**

Desde la noción empírica resulta razonable que los países tropicales tengan la posibilidad de explotar la radiación solar como fuente energética, especialmente por carecer de estaciones y tener más de la mitad del año de día solar. De hecho, toda la zona tórrida, comprendida entre las latitudes 40° Norte y 40° Sur (ver Figura 9), suele denominarse como «cinturón solar» justamente por ser la que recibe abundante radiación solar (Islam, Kubo, Ohadi, & Alili, 2009).



**Figura 9. Ubicación del Cinturón Solar Terrestre (Diez, Bueno, & Medal, 2012)**

En todo caso estos argumentos por sí sólo no bastarían para avalar una inversión en la adopción de tales tecnologías, tener información precisa sobre la intensidad de la

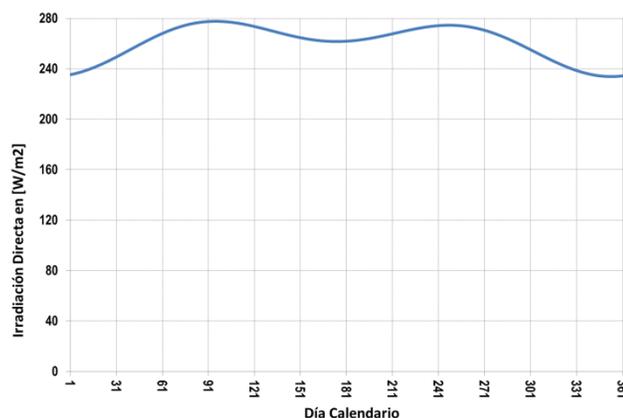
<sup>15</sup> Ver la Tabla 11.1 de la obra citada (p. 116).

radiación solar en cualquier localidad es esencial para el desarrollo de proyectos para el uso de energía solar, dicha información se utiliza en el diseño del proyecto, el análisis del costo, así como en los cálculos de eficiencia del proyecto.

En particular se requiere información meteorológica en el estudio de factibilidad de tales proyectos, entre otras cosas, para estimar los valores de la radiación solar aprovechable. Tales datos pueden en vez de estimarse obtenerse de mediciones tanto satelitales como en estaciones meteorológicas. Comercialmente existen dos tipos de aparatos de medición de la radiación solar: los periheliómetros y los piranómetros; no obstante, existen experiencias de fabricación artesanal de solarímetros con fines académicos (Samsón, Echarri, Vera, Sartarelli, & Cyrules, 2010). Los periheliómetros son instrumentos que utilizan un detector que se ajusta a la visual solar para medir la radiación que se emite desde el Sol y desde una pequeña porción del cielo alrededor del Sol en incidencia perpendicular, es decir, mide la radiación directa. El piranómetro en cambio mide la radiación solar total hemisférica, es decir, mide tanto la radiación directa como la difusa sobre una superficie horizontal. Asimismo si se le hace sombra a la radiación directa el piranómetro mide la radiación difusa solamente (Duffie & Beckman, 2006).

Existe multiplicidad de modelos para estimar la radiación solar en una zona determinada, un trabajo reciente revisó dieciocho modelos y los comparó contra datos experimentales (Gueymard, 2012). Uno de los modelos más usados para derivar los resultados de radiación de cielos despejados requeridos en estudios preliminares se debe a Hoyt Hottel (1976) quien sugirió combinar su reconocida ecuación de estimación de la transmitancia directa (Ecuación (1) en la página 3) con la expresión de la transmitancia difusa propuesta previamente por Liu y Jordan (1960), los autores de este trabajo consideran que a pesar de no ser uno de los modelos más precisos mantiene su popularidad no sólo por su raigambre histórica, sino también por su simplicidad ya que requiere la estimación de un único parámetro meteorológico que es la altura sobre el nivel del mar.

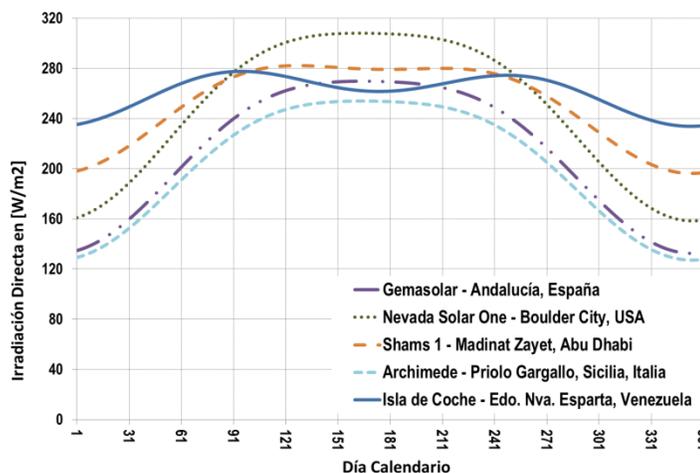
## 5. RESULTADOS EXPERIMENTALES



**Figura 10. Irradiación Directa Promedio Diaria Estimada para un Punto Geográfico en la Isla de Coche, Venezuela**

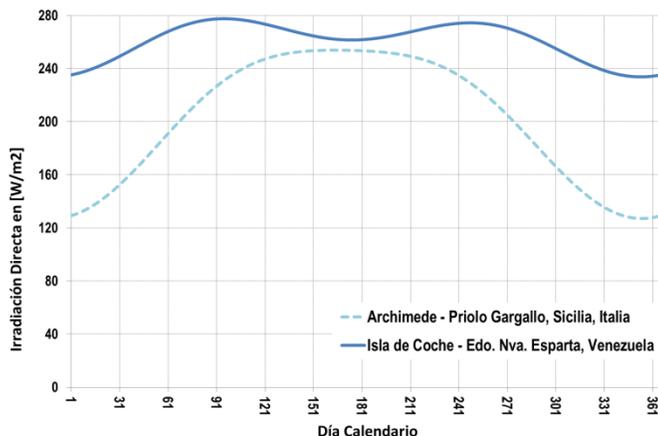
En la Figura 10 se muestran los valores de irradiación para un punto ubicado al suroriente de El Bichar y al noroeste de El Amparo, latitud 10°45'00,0672" Norte y

longitud 63°54'35,9143" Oeste, en la Isla de Coche. También se obtienen curvas de las demás localidades donde existen plantas de concentración termosolar del hemisferio norte que quedaron incluidas en la muestra. Los resultados se muestran en la Figura 11.



**Figura 11. Comparación de la Irradiación Promedio Diaria Estimada para Plantas de Concentración Solar en el Hemisferio Norte y la Isla de Coche, Venezuela**

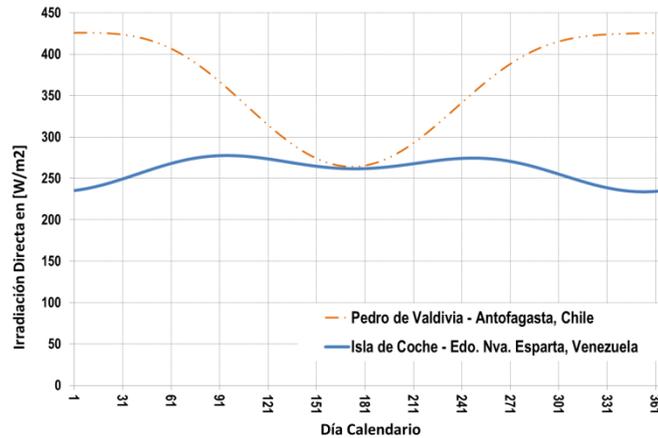
En la Figura 11 se detecta visualmente como la Isla de Coche representa una excelente oportunidad para el desarrollo de generación eléctrica a través de la concentración solar térmica ya que la línea continua azul claro que representa la irradiación solar directa promedio diaria para la localidad muestra valores mayores que todas las demás plantas para los tres primeros meses del año así como para poco más de los tres últimos. En el resto del año exhibe valores superiores a dos de las plantas por aproximadamente noventa días y sólo en los meses de agosto y septiembre es superior a una localidad.



**Figura 12. Comparación entre la Planta Archimede y la Isla de Coche**

Como se muestra en la Figura 12, la comparación directa entre la Planta Archimede y el potencial termosolar para una planta de generación eléctrica en la Isla de Coche refuerza la factibilidad de la idea, ya que por una parte la irradiación solar directa promedio es superior a lo largo de todo el año, y por la otra en ambos casos se considera un proyecto de generación distribuida de baja demanda para auto sostenibilidad insular. También se determinaron los valores para la Planta Pedro de Valdivia, ubicada en el Hemisferio Sur,

específicamente en Antofagasta, Chile. En este último caso además del Hemisferio existe otra diferencia fundamental respecto a todas las demás localidades relacionada con la altura sobre el nivel del mar. La planta chilena se ubica a 1.428 m.s.n.m lo cual le privilegia en gran medida, especialmente cuando se compara con la Isla de Coche o con la Planta Archimede que están prácticamente a nivel del mar (13 y 4 metros, respectivamente). La comparación entre ambas se muestra en la Figura 13.



**Figura 13. Comparación de entre la Planta Pedro Valdivia y la Isla de Coche**

Como en cada punto del gráfico se muestra un valor de irradiación solar directa promedio y tomando en cuenta que la generación eléctrica es una actividad permanente, resulta interesante comparar todas las plantas sobre la base de la irradiación anual. La misma se determina calculando el área bajo cada una de las curvas. Como en la generación de las gráficas no se tomaron en cuenta los factores de corrección por tipo de clima presentados en la Tabla 1, los resultados de la irradiación directa promedio anual pueden corregirse considerando que los mismos se subestiman en términos del máximo error de propagación posible que se determinó a partir de las ecuaciones (4), (5), (6) y (7) con el método de las derivadas parciales. El valor del error máximo propagado correspondió a 7,36%. Los resultados se resumen en la Tabla 3. Nótese que de no haber realizado la corrección la Isla de Coche hubiese quedado mejor ubicada que la Planta Nevada Solar One; sin embargo, la diferencia entre ambas es apenas de un 2% que es muy pequeña especialmente si se toma en consideración la gran diferencia de altura que existe entre ambas, ya que Boulder City está a 544 metros sobre el nivel del mar.

**Tabla 3. Comparación de la Irradiación Solar Directa Promedio Anual en las Localidades de la Muestra bajo Estudio**

<i>Localidad</i>	<i>Irradiación Directa Solar Promedio Anual Corregida [W/m<sup>2</sup> año]</i>	<i>Orden</i>	<i>Valores Normalizado respecto a Coche</i>
<b>Isla de Coche - Edo. Nva. Esparta, Venezuela</b>	<b>95.010,76</b>	<b>3</b>	<b>100,0%</b>
<b>Gemasolar - Andalucía, España</b>	<b>83.738,61</b>	<b>5</b>	<b>88,1%</b>
<b>Nevada Solar One - Boulder City, USA</b>	<b>97.014,50</b>	<b>2</b>	<b>102,1%</b>
<b>Shams 1 - Madinat Zayet, Abu Dhabi</b>	<b>91.571,93</b>	<b>4</b>	<b>96,4%</b>
<b>Archimede - Priolo Gargallo, Sicilia, Italia</b>	<b>79.284,41</b>	<b>6</b>	<b>83,4%</b>
<b>Pedro de Valdivia - Antofagasta, Chile</b>	<b>131.872,26</b>	<b>1</b>	<b>138,8%</b>

La generación eléctrica que atiende la demanda de la Isla de Coche es autónoma, en el sentido de que la misma no tiene conexión con otra región del país, ni siquiera la Isla de Margarita. En la actualidad la demanda se atiende con generación térmica por medio de la combustión de diésel que es altamente contaminante emitiendo 2.914 g de CO<sub>2</sub> por cada litro quemado, según lo reporta Biomass Energy Centre (BEC, 2011).

Ponte Araujo (2003) refiere que el consumo promedio de los generadores de la Planta Coche es 0,265 litros de combustible por cada KWh de electricidad generado. Notas de prensa publicadas por el Sol de Margarita recogen que con unas nuevas máquinas instaladas recientemente se alcanza una disponibilidad total de 6 MW para la isla, cuya población es más de 10.000 habitantes que ejerce una demanda eléctrica promedio de 4,5 MW (Redacción, 2015). Con ese valor (6 MW) y extrapolando a partir de los datos de generación eléctrica en la Isla de Coche para 2002 – 10 GWh, con una capacidad instalada para entonces de 3,9 MW (Ponte Araujo, 2003, p. 52) – se proyectó la energía anual a generar 15.385 MWh (ver Tabla 2).

Con esos valores se puede estimar el volumen total en toneladas anuales de emisiones de CO<sub>2</sub> que dejarían de producirse como consecuencia directa del uso de energía termosolar en vez de combustión de diésel para la generación de energía eléctrica en la Isla de Coche, resultando en un valor de 10.673 Ton de CO<sub>2</sub> cada año.

## **6. CONCLUSIONES**

Con este trabajo se muestra que la opción termosolar está especialmente adecuada para el país, al menos para la Isla de Coche. Adicionalmente se detecta que los beneficios ambientales serían extraordinarios pero no sólo en términos de las emisiones de dióxido de carbono sino que se impacta muy poco sobre una naturaleza de carácter poco explotado que se consolida como un polo de desarrollo turístico.

En el mismo orden de ideas estas soluciones pueden ser extendidas a otras localidades similares como la Isla de Margarita, el Archipiélago de Los Roques, los Parques Nacionales Morrocoy y Mochima, así como otras islas de interés estratégico como Las

Aves, Los Monjes, La Orchila, La Tortuga y La Blanquilla, siempre sin requerir conexión con la red nacional, con lo cual se estaría potenciando el desarrollo ecológico de estos lugares.

Invertir en estas tecnologías de eficacia probada alrededor del mundo le permitirían al país alinear la generación eléctrica, insular y continental, no sólo a los requerimientos de emisiones que demandan los Objetivos de Desarrollo del Milenio, sino también por una parte al Plan de la Patria, específicamente en los objetivos estratégicos y generales 3.1.12.1, 3.1.12.3, 3.1.13.2, 3.1.13.6, 3.1.13.7, 5.1.2.4, 5.1.5.1, 5.1.6, 5.4.1, 5.4.2.1, así como el Objetivo Nacional 5.1 y el Gran Objetivo Histórico N°5, mientras que la otra parte promovería el desarrollo del Artículo 15 Constitucional que plantea una política integral de preservación de la diversidad y el ambiente para, entre otros, los espacios insulares.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón Díaz, A. (2013). Desarrollo Energético y Riesgos Ambientales. En ANIH, *Propuestas sobre Desarrollo Energético de Venezuela* (pág. 174). Caracas, Venezuela: Academia Nacional de Ingeniería y Hábitat.
- Álvarez, C. (1 de Julio de 2009). *Cómo producir energía solar también de noche*. Recuperado el 9 de Febrero de 2015, de soitu.es:  
[http://www.soitu.es/soitu/2009/07/01/medioambiente/1246448882\\_271110.html](http://www.soitu.es/soitu/2009/07/01/medioambiente/1246448882_271110.html)
- Asamblea Nacional Constituyente. (1999). Constitución de la República Bolivariana de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- Asamblea Nacional de la República Bolivariana de Venezuela. (2013). Ley del Plan de la Patria. Proyecto Nacional Simón Bolívar: Segundo Plan Socialista de Desarrollo Económico y Social de la Nación, 2013-2019 (Vol. No 6.118 Extraordinario). Caracas, Venezuela: Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela.
- BEC. (2011). *Carbon emissions of different fuels*. Recuperado el 25 de 03 de 2015, de BIOMASS Energy Centre:  
[http://www.biomassenergycentre.org.uk/portal/page?\\_pageid=75,163182&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://www.biomassenergycentre.org.uk/portal/page?_pageid=75,163182&_dad=portal&_schema=PORTAL)
- Cairós G., A. J. (2012). Estudio de Despacho Económico de Carga Aplicable a Plantas de Generación Térmica. Caso de Estudio: Complejo de Generación Josefa Joaquina Sánchez Bastidas de la Corporación Eléctrica Nacional (CORPOELEC). Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Electricista, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería, Caracas.
- Centeno, J. C. (Abril de 2013). La Huella de Carbono en Venezuela. *Ponencia del Foro de Estudio del Cambio Climático*. Mérida, Venezuela. Obtenido de  
[http://www.eventos.ula.ve/ciudadostenible/pdf\\_foro/huella\\_carbono.pdf](http://www.eventos.ula.ve/ciudadostenible/pdf_foro/huella_carbono.pdf)
- Cooper, P. I. (1969). The Absorption of Radiation in Solar Stills. *Solar Energy*, 12(3), 333-346.
- Diez, M., Bueno, Á., & Medal, A. (12 de Junio de 2012). *Potencial de desarrollo de la tecnología solar (Fotovoltaica y Termosolar) y zonas de implantación a nivel mundial*. Recuperado el 1 de Abril de 2015, de Escuela de Organización Industrial de España. Blogosfera. Alfonso Medal Rendal: <http://www.eoi.es/blogs/alfonsomedal/2012/06/22/potencial-de-desarrollo-de-la-tecnologia-solar-fotovoltaica-y-termosolar-y-zonas-de-implantacion-a-nivel-mundial/>
- Dolfin, A. (Noviembre de 2006). *Skyscrapercity - Latin American & Caribbean Forums - Infraestructura General*. Recuperado el 9 de Febrero de 2015, de Generación Solar:  
<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1175549>

- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2006). *Solar Engineering of Thermal Processes* (3rd ed.). Hoboken, New Jersey, United States of America: John Wiley & Sons.
- Exxon Mobil. (2015). *The Outlook for Energy: A View to 2040*. Reporte Técnico, Irving, Texas.
- Gautschi, W. (2012). *Numerical Analysis* (2nd ed.). New York: Birkhäuser - Springer.
- Gueymard, C. A. (2012). Clear-sky irradiance predictions for solar resource mapping and large-scale applications: Improved validation methodology and detailed performance analysis of 18 broadband radiative models. *Solar Energy*, 86, 2145–2169.
- Hottel, H. C. (1976). A Simple Model for Estimating the Transmittance of Direct Solar Radiation through Clear Atmospheres. *Solar Energy*, 18(2), 123-134.
- Hughes, I. G., & Hase, T. P. (2010). *Measurements and their Uncertainties*. Oxford, United Kingdom: Oxford University Press.
- INE. (2014). *XIV Censo Nacional de Población y Vivienda. Resultados Total Nacional de la República*. Reporte Estadístico, Instituto Nacional de Estadística de la República Bolivariana de Venezuela, Gerencia General de Estadísticas Demográficas, Caracas.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos de Costa Rica. (2008). *Objetivos de Desarrollo del Milenio*. Recuperado el 25 de Enero de 2015, de [www.inec.go.cr/odm/documents/Lista\\_IndicadoresODM.pdf](http://www.inec.go.cr/odm/documents/Lista_IndicadoresODM.pdf)
- Islam, M. D., Kubo, I., Ohadi, M., & Alili, A. (2009). Measurement of solar energy radiation in Abu Dhabi, UAE. *Applied Energy*, 86, 551-515.
- Jaccard, M. (2006). *Sustainable Fossil Fuels. The Unusual Suspect in the Quest for Clean and Enduring Energy*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Kuntsi-Reunanen, E. (2007). A comparison of Latin American energy-related CO2 emissions from 1970 to 2001. *Energy Policy*, 35, 586-596.
- Laughton, M. A. (Ed.). (2003). *Renewable Energy Sources* (Vol. Watt Committee Report Nro.22). Essex, England: Taylor and Francis Books, Inc.
- Liu, B. Y., & Jordan, R. C. (Julio de 1960). The Interrelationship and Characteristic Distribution of Direct, Diffuse and Total Solar Radiation. *Solar Energy*, 4(3), 1-19.
- Lyster, R., & Bradbrook, A. (2006). *Energy Law and the Environment*. New York: Cambridge University Press.
- Martínez, A. (2001). *Energías Renovables: Potencial Energético de Recursos Aprovechables*. Ministerio de Energía y Minas, División de Alternativas Energéticas, Caracas.
- Mayz Vallenilla, E. (2005). *Fundamentos de la Meta-Técnica* (3ra ed.). Caracas, Venezuela: Fundación para la Cultura Urbana.
- NREL. (25 de Noviembre de 2013). *Concentrating Solar Power Projects*. (N. R. Laboratory, Productor) Recuperado el 21 de Marzo de 2015, de <http://www.nrel.gov/csp/solarpaces/>
- Papadimitriou, F. (S/F). *Find altitude by coordinates*. Recuperado el 15 de Enero de 2015, de [www.advancedconverter.com](http://www.advancedconverter.com): <http://www.advancedconverter.com/map-tools/find-altitude-by-coordinates>
- Passamai, V. J. (2000). Determinación de radiación solar horaria para días claros mediante planilla de cálculo. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 3(2), 08.89-08.92.
- Perry, A. (1987). Middle latitude climates. En *Climatology - Encyclopedia of Earth Science* (págs. 581-583). Springer.
- Ponte Araujo, R. A. (2003). Estudio de factibilidad técnica de la instalación de un cable submarino de potencia entre Margarita y Coche, Estado Nueva Esparta. Trabajo Final de Grado, Universidad Metropolitana, Escuela de Ingeniería Mecánica, Caracas.

- Pool, S., & Dos Passos Coggin, J. (2013). Pool & Dos Passos, 2013. Fulfilling the Promise of Concentrating Solar Power. Low-Cost Incentives Can Spur Innovation in the Solar Market. Technical Report, Center for American Progress, Washington, D.C.
- Rapp-Arrarás, Í., & Domingo-Santos, J. M. (2011). Functional forms for approximating the relative optical air mass. *Journal of Geophysical Research*, 116(D24308), 13.
- Reactores Meteorológicos*. (2008). Recuperado el 9 de Febrero de 2015, de torre-solar.es: <http://www.torre-solar.es/empezar-rapidamente.php?PHPSESSID=ade37f053feeb6dfefb72d53f0248b69>
- Redacción. (14 de Enero de 2015). Nuevas unidades generadoras instala Corpoelec en planta isla de Coche. *El Sol de Margarita*, págs. <http://www.elsoldemargarita.com.ve/posts/post/id:144324/Nuevas-unidades-generadoras-instala-Corpoelec-en-planta-isla-de-Coche>.
- Reno, M. J., Hansen, C. W., & Stein, J. S. (2012). *Global Horizontal Irradiance Clear Sky Models: Implementation and Analysis*. SANDIA Report, Sandia National Laboratories, Albuquerque, New Mexico.
- Samsón, I., Echarri, R., Vera, S., Sartarelli, A., & Cyrulies, E. (Octubre-Diciembre de 2010). Medición de la Radiación Solar en Santo Domingo. *Ciencia y Sociedad*, 35(4), 555-565.
- Sanz, D. (6 de Junio de 2011). *Las Emisiones de CO2 que Evita la Energía Solar*. Recuperado el 4 de Marzo de 2015, de Cambio Climático. Una Mirada Alternativa a Nuestro Entorno: <http://climaticocambio.com/las-emisiones-de-co2-que-evita-la-energia-solar/>
- Twenergy. (26 de Enero de 2012). *La Energía Solar Termoeléctrica, Un Recurso Brillante*. Recuperado el 4 de Marzo de 2015, de Twenergy. Una Iniciativa de Endesa por la Eficiencia y la Sostenibilidad: <http://twenergy.com/a/la-energia-solar-termoelectrica-un-recurso-brillante-314>
- Viggiani, P., Serafin, M., & Hernández, S. (2012). La respuesta termosolar ante el compromiso para la generación eléctrica requerido entre las políticas públicas energéticas y ambientales en Venezuela. *1er Congreso Venezolano de Ciencia Tecnología e Innovación*. Caracas.
- Wang, Y. (2008). *Parabolic Trough Power Plant*. Recuperado el 9 de Febrero de 2015, de Chasing the Sun. Concentrated Solar Power: <http://www.mtholyoke.edu/~wang30y/csp/PTPP.html>
- Young, A. T. (20 de Febrero de 1994). Air Mass and Refraction. *Applied Optics*, 33(6), 1108-1110.