



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA TERRITORIAL DE MÉRIDA
“KLÉBER RAMÍREZ”
PROGRAMAS NACIONALES DE FORMACIÓN AVANZADA
ESTUDIOS ABIERTOS

Maestría en Ecología del Desarrollo Humano
Línea de investigación: Desarrollo Endógeno
Mención: **Ecología del Desarrollo Humano**

*SINCRONIZACIÓN DEL SISTEMA
ELÉCTRICO NACIONAL MEDIANTE EL
RECONOCIMIENTO DEL COMPORTAMIENTO
BINARIO DEL CLIMA*

Ing. Alberto Malaver Tossut

MÉRIDA 22 DE SEPTIEMBRE DE 2017



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA TERRITORIAL DE MÉRIDA
“KLÉBER RAMÍREZ”
PROGRAMAS NACIONALES DE FORMACIÓN AVANZADA
ESTUDIOS ABIERTOS

Maestría en Ecología del Desarrollo Humano
Línea de investigación: Desarrollo Endógeno
Mención: **Ecología del Desarrollo Humano**

***SINCRONIZACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL
MEDIANTE EL RECONOCIMIENTO DEL COMPORTAMIENTO BINARIO DEL CLIMA***

ING. ALBERTO MALAVER TOSSUT

MÉRIDA 22 DE SEPTIEMBRE DE 2017



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA TERRITORIAL DE MÉRIDA
“KLÉBER RAMÍREZ”
PROGRAMAS NACIONALES DE FORMACIÓN AVANZADA
ESTUDIOS ABIERTOS

Maestría en Ecología del Desarrollo Humano
Línea de investigación: Desarrollo Endógeno
Mención: **Ecología del Desarrollo Humano**

SINCRONIZACIÓN SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL
MEDIANTE EL RECONOCIMIENTO DEL COMPORTAMIENTO BINARIO DEL CLIMA

SINCRONIZACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL
MEDIANTE EL RECONOCIMIENTO DEL COMPORTAMIENTO BINARIO DEL CLIMA

ALBERTO MALAVER TOSSUT

Trabajo de Grado presentado ante la Dirección de Postgrado, Investigación y Desarrollo como parte de los requisitos para optar al Titulo Académico de Magíster Scientiarum **en Ecología del Desarrollo Humano**

TUTOR: Dra. Leticia Mogollón.

MÉRIDA, 22 DE SEPTIEMBRE DE 2017

Malaver Tossut, Alberto.

SINCRONIZACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL MEDIANTE EL RECONOCIMIENTO DEL COMPORTAMIENTO BINARIO DEL CLIMA.2017

115 Páginas.

Trabajo de Grado.

Universidad Politécnica Territorial del Estado Mérida “Kléber Ramírez”, Maestría en Desarrollo Endógeno.

Tutor: Dra. Leticia Mogollón.

1) La Contradicción Ontológica. 2) Plan de Desarrollo Eléctrico PDSEN 2013-2019. 3) Matriz Eléctrica Venezolana. 4) Enfoque Binario Fenómeno Niño-Niña. 5) Generación Térmica y Precursores del Cambio Climático 7) Sincronización del Sistema Eléctrico Nacional al Clima. 8) Regla Metodológica de Ockham.9) Aprovechamiento Escalera de Presas del río Caroní. 10) Planta Fotovoltaica Solar. 11) Energía Solar Concentrada. 12) Plantas *Hidro-Solares*.

AGRADECIMIENTOS

Sé que ha llegado el momento de agradecer profundamente la hermosa oportunidad que me es dada desde la Comunidad de Saberes de Geociencias, para exponer una propuesta que motive un cambio de paradigma, sobre la respuesta que debe proveer el Sector Eléctrico frente al crecimiento de la demanda en presencia de la estacionalidad seca y especialmente en su expresión climática extrema, conocido de forma pública y comunicacionalmente como el fenómeno “El Niño”.

Pero también es hora de recordar a quienes fueron inspiradores silenciosos de este Libro:

A ti, Logos Creador, rayo que se muestra y se oculta como relámpago de medianoche, entre las sombras del pensamiento humano.

A mis Maestros.

A mi Querida Evelin y a un Ángel llamado Sofía. A mí querido hijo Andrés.

A mis admirados Guerreros de la Luz y de la Ley, Bernardo y Carlos.

A mi Tutora, Dra. Leticia Mogollón, equilibrio exacto entre el Rigor y Ternura.

A los profesores de la UPTM que prestaron su apoyo en este proceso de producción, y agregaron Valor al presente trabajo. A mi Comunidad de Saberes en Geociencias, en especial al Ing. Israel Morán, Ing. Dorbelys Quintero, al Biólogo Eduardo Chalbaud.

...” a todos aquellos a quienes el saber intelectual no los convierten en orgullosos prófugos del Conocimiento, identificados con el exhibicionista manejo del bastón de los artificios”.

A todos gracias.

AGRADECIMIENTOS	VI
INDICE	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE GRAFICOS	XI
ÍNDICE DE ANEXOS	XII
INTRODUCCIÓN	1
DEFINICIONES.....	5
CAPÍTULO I: LA CONTRADICCIÓN ONTOLÓGICA	18
1.1 SOBRE LA PARTICIPACIÓN DE LA GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA PLANIFICADA PARA VENEZUELA.	19
1.2 LA CONTRADICCIÓN ONTOLÓGICA.	20
1.3 LA OPORTUNIDAD ECONÓMICA CUANDO RECONOZCAMOS NUESTRA CONTRADICIÓN.	24
CAPÍTULO II: MI EXPERIENCIA CON EL CLIMA: DE LA SINCRONIZACIÓN DE UNA OBRA A LA SINCRONIZACIÓN DE UN SISTEMA.....	27
2.1 MI EXPERIENCIA DE SINCRONIZACIÓN DE UNA OBRA AL CLIMA.	28
2.2 UNA HERRAMIENTA METODOLÓGICA PARA SUPERAR LA CONTRADICCIÓN ONTOLÓGICA.	31
2.3 DE LAS PREMISAS SUBYACENTES O SUPUESTOS INNECESARIOS.	33
2.4 LA IGUALDAD DE CONDICIONES.....	41
2.5 LA EXPLICACIÓN MÁS SENCILLA.	44
CAPÍTULO III: EL ENFOQUE BINARIO DEL CLIMA.....	47
3.1 NO ES SOLO SEQUÍA. EN VENEZUELA SE HAN PRESENTADO GRANDES PRECIPITACIONES.	48
3.3 LA OPORTUNIDAD ENERGÉTICA DE LA ESCALERA DE PRESAS DEL RÍO CARONÍ POR EL ESTRECHAMIENTO DE LA CÉLULA DE HADLEY.....	59
CAPÍTULO IV: LA GEOGRAFÍA VENEZOLANA Y LA SINCRONIZACIÓN DEL SEN AL CLIMA	65
4.1 EL GRAN MOTOR CLIMÁTICO	66
4.1.1 El Tipo de Clima de Selva Amazónica y Bosque Húmedo, Motor Hidroeléctrico Venezolano.	68
4.1.2 El Tipo de Clima Templado de Altura Húmedo y su Potencial Energético en Los Andes.	70

4.1.3 El Clima de Sabana y la Oportunidad de la Generación Hidrosolar	71
4.2 EL GRAN POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS EMBALSES HIDROSOLARES VENEZOLANOS. CASO DE ESTUDIO: EMBALSE DEL GURI.	74
4.2.1 El Rendimiento de las Células Solares:	75
4.2.2 Factores que Afectan el Rendimiento de un Panel Solar.	77
4.2.3 Disposición Geométrica	78
4.3 UN PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO PARA DETERMINAR LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA UNITARIA DEL PANEL: EAC/P* (kWh/kWp)	79
4.3.1 Determinación de la longitud y latitud del embalse de Guri. Se puede utilizar el Google Maps. Ver anexo A-4.	80
4.3.2 Con la latitud y longitud del sitio, se determina la irradiación anual superficial horizontal (Ver tabla 11). Puede utilizar el enlace:	80
4.3.3 Determinación el ángulo β de inclinación del panel, y α (azimut).	80
4.3.4 Determinación del ángulo β óptimo.....	81
4.3.5 Determinación de la irradiación máxima que puede recibir los paneles solares:.....	81
4.3.6 Cálculo de los coeficientes g_1 , g_2 y g_3	81
4.3.7 Determinación de G_{effa} (b,a)/ $G_a(\beta \text{ optimo})$	82
4.3.8 Ya se puede calcular la radiación efectiva para el β y el α señalados.....	82
4.3.9 Conocer las pérdidas en la irradiación solar, sin sombra, sin contaminación o polvo en la superficie de los paneles en la trayectoria solar: $P_{\text{irradiación}}$	82
4.3.10 Determinación del factor FS	82
4.3.11Determinación del factor PR, por las pérdidas por Perfomance Ratio, 25%.....	83
4.3.12 Selección del proveedor de panel solar.....	83
4.3.13 Determinación de la energía producida por mi sistema fotovoltaico conectado a una red, SFCR.....	83
4.3.14 Determinación de la producción energética unitaria de mi generador solar, E_{AC}/P^* (kWh/kWp).	83
4.3.15 Los resultados se muestran tabulados Ver Tabla 13	84
4.3.16 Espacio requerido para la colocación de los generadores solares y potencial de generación.	85
4.4. EL CLIMA SEMI ÁRIDO TROPICAL y DESÉRTICO TROPICAL, PORTAL DE BIENVENIDA A LA GENERACIÓN TERMOELÉCTRICA.	87
4.5 UNA PRIMERA APROXIMACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE UNA ESTRATEGIA DE SINCRONIZACIÓN.	92
4.5.1 La migración de la demanda residencial a la tecnología fotovoltaica.....	92
4.5.2 Calculando el número de paneles solares requeridos para una casa,	93
4.5.3 Otro paso hacia la sincronización del SEN al clima: La implantación de tecnología solar concentrada.	96

IX

CAPÍTULO V: HITOS PARA LA SINCRONIZACIÓN CLIMÁTICA DEL SISTEMA ELECTRICO NACIONAL.....	99
5.1 SINCRONIZANDO EL SEN PARA EL REGRESO DE LOS EFECTOS DE “EL NIÑO”	99
5.2 UNA PROPUESTA PARA LA DESINCORPORACIÓN DE LA TERMOELECTRICIDAD EN VENEZUELA, BASADA EN ENERGÍA SOLAR.....	101
5.3 LA RECONVERSIÓN DE LOS LAGOS Y EMBALSES EN GENERADORES SOLARES. EJEMPLOS: EL LAGO DE MARACAIBO Y EL LAGO DE VALENCIA..	108
CONCLUSIONES.....	112
ANEXO 1.....	CXVI
ANEXO 2.....	CXXV
BIBLIOGRAFÍA:	CXXXII

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 CENTRAL HIDROELÉCTRICA “SIMÓN BOLÍVAR” EN GURI, VENEZUELA ALIVIADERO EN OPERACIÓN ⁽³⁾	5
Figura 2 ESQUEMA DE UN GRUPO TURBINA-GENERADOR, INGRESO DEL CAUDAL AL ANILLO DISTRIBUIDOR Y CAUDAL TURBINADO ⁽⁸⁾	6
Figura 3 ESQUEMA DE UNA PLANTA TERMOELÉCTRICA DE CICLO COMBINADO ⁽¹⁰⁾	7
Figura 4 ESQUEMA DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA ^{(12),(13)(14)(15)}	7
Figura 5 GRANDES PLANTAS HIDROELÉCTRICAS EN VENEZUELA ⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾	8
Figura 6 COMPONENTES PRINCIPALES DE UNA CENTRAL DE BOMBEO MUESTRA RESERVORIO DE AGUA DE MAR Y AGUA DE RÍO ^{(20),(21)}	9
Figura 7 CRITERIO DE IMPLEMENTACIÓN DE LAS CENTRALES DE BOMBEO ⁽²²⁾	9
Figura 8 DIAGRAMA DE BLOQUES PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA ⁽²⁴⁾	10
Figura 9 DIAGRAMA DE BLOQUES PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA CENTRAL TÉRMICA A CARBON ⁽²⁶⁾	11
Figura 10 MODELO DE CIRCULACIÓN DE LA CÉLULA DE HADLEY ⁽²⁸⁾	11
Figura 11 COMPONENTES DE UNA CENTRAL TERMOSOLAR DE CONCENTRACIÓN CONCENTRATING SOLAR POWER - CSP ^{(31), (32)}	13
Figura 12 CURVA DE DEMANDA O DE CARGA VALORES DE DEMANDA BASE, PROMEDIO Y MÁXIMA ⁽³⁶⁾	14
Figura 13 CAPACIDAD DE GENERACIÓN INSTALADA 1989-1998 vs 1999-2011	22
Figura 14 CAMBIOS PROYECTADOS (%) EN LA GENERACION POR EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO AÑO 2050	39
Figura 15 COSTOS NIVELIZADOS DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA SEGÚN EL TIPO DE FUENTE DE PRODUCCIÓN.....	44
Figura 16 ESQUEMA DEL APROVECHAMIENTO DEL RÍO CARONÍ	61
Figura 17 ESQUEMA DEL ESTRECHAMIENTO DE LA CÉLULA DE HADLEY.....	63
Figura 18 CARACTERÍSTICAS DEL TIPO DE CLIMA SELVA AMAZÓNICA (AFI) Y SU POTENCIAL ENERGÉTICO (ESQUEMA DE REPRESAS).....	69

Figura 19 MAPA DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN EN VENEZUELA	70
Figura 20 CARACTERÍSTICAS DEL TIPO DE CLIMA TEMPLADO DE ALTURA HUMEDO (Gmi) Y SU POTENCIAL ENERGETICO	71
Figura 21 CARACTERÍSTICAS DEL TIPO DE CLIMA SABANA (Aw) Y SU POTENCIAL ENERGÉTICO.....	72
Figura 22 CENTRAL HIDROSOLAR FLOTANTE EMBALSE YAMAKURA JAPÓN	73
Figura 23 CARACTERÍSTICAS DEL TIPO DE CLIMA SEMI ÁRIDO TROPICAL (Bsh) Y SU POTENCIAL ENERGÉTICO	88
Figura 24 CARACTERÍSTICAS DEL TIPO DE CLIMA DESERTICO TROPICAL (Bwhi) Y SU POTENCIAL ENERGÉTICO	89
Figura 25 UBICACIÓN DEL TIPO DE CLIMA DESERTICO TROPICAL	89
Figura 26 CAPACIDAD MUNDIAL INSTALADA EN PLANTAS DE ENERGÍA SOLAR .91	
Figura 27 INTERFAZ DE ENTRADA SOFTWARE CALCULATIONSOLAR	94
Figura 28 NUMERO DE PANELES REQUERIDOS.SOFTWARE CALCULATIOSOLAR 95	
Figura 29 SUSTITUCIÓN TERMOELÉCTRICA DE ORIGEN FÓSIL MEDIANTE LA CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA NACIONAL.....	97
Figura 30 SINCRONIZACION DEL SISTEMA ELECTRICO NACIONAL MITIGACION DEL NIÑO-OSCILACION SUR (ENOS)	103
Figura 31 SINCRONIZACION DEL SISTEMA ELECTRICO NACIONAL HITOS E INGRESO DE POTENCIA SEDUN DEMANDA DE CADA ESTADO.....	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 CAPACIDAD INSTALADA Y PORCENTAJE DE PARTICIPACIÓN HIDRO/TERMO EN EL SECTOR ELÉCTRICO VENEZOLANO INCLUYE PROYECTOS VISUALIZADOS	19
Tabla 2 COSTO DE OPORTUNIDAD EN EL AÑO HORIZONTE 2019	24
Tabla 3 OPORTUNIDAD ECONÓMICA O COSTO DE OPORTUNIDAD EN EL AÑO HORIZONTE 2019	25
Tabla 4 FECHA DE OCURRENCIA DE TORMENTAS MÁXIMAS	57
Tabla 5 VALORES PROMEDIOS DE DÍAS DE DURACIÓN Y CAUDAL MÁXIMO (m^3/s), DE TORMENTAS EN LA CUENCA DEL RIO CARONI HASTA EL EMBALSE DE GURI	58
Tabla 6 RANGO DE CAUDALES EN m^3/s CALCULADOS EN EL ALIVIADERO Y DISPONIBLES PARA SU RECUPERACIÓN ENERGÉTICA.....	58
Tabla 7 TIPOS DE CLIMA EN VENEZUELA SEGÚN LA CLASIFICACIÓN DE KOPEN	67
Tabla 8 AREA TOTAL DE LA MANCHA DE INUNDACIÓN OPERATIVA DE LAS CENTRALES DEL RIO CARONÍ Y SU COMPARACIÓN CON EL ÁREA DEL ESTADO NUEVA ESPARTA	74
Tabla 9 SUPERFICIE REQUERIDA POR CADA kWp DE MODULO FOTO VOLTAICO	76
Tabla 10 ELECCIÓN DEL AREA REQUERIDA PARA INSTALACIÓN DE PANELES SOLARES POR 1 kW nominal DE GENERACIÓN	79
Tabla 11 RADIACIÓN SOLAR HORIZONTAL EN kWh/m^2 / día	80

Tabla 12 COEFICIENTES PARA SUPERFICIES CON MEDIANO GRADO DE SUCIEDAD ASOCIADA A LA PERDIDA DE TRANSPARENCIA DEL 3% EN PANELES SOLARES	81
Tabla 13 DATOS Y RESULTADOS TABULADOS PARA DETERMINAR EL POTENCIAL DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL 5% DE SUPERFICIE DEL EMBALSE DE GURI	84
Tabla 14 POTENCIA MÁXIMA DE GENERACIÓN PARA UN CUBRIMIENTO ECOLÓGICAMENTE ACEPABLE DE 5% EN EL EMBALSE DE GURI CENTRAL SIMÓN BOLÍVAR, VENEZUELA	85
Tabla 15 PRINCIPALES DESARROLLOS FOTOVOLTAICOS DEL MUNDO	90
Tabla 16 PLANTAS TERMOSOLARES DE MAYOR POTENCIA EN EL MUNDO	91
Tabla 17 METAS DE CONEXIÓN DE POTENCIA AL SEN PROYECTO HIDROSOLAR GURI 21.401MW, 5% Y CARGA REGIONAL DESINCORPORADA DE LA TERMOELECTRICIDAD 3,6 HORAS/DÍA.....	106
Tabla 18 METAS DE CONEXIÓN DE POTENCIA AL SEN PROYECTO HIDROSOLAR GURI-5% PROTECCIÓN DEL SEN Y DESINCORPORACIÓN DEL PARQUE TERMOELECTRICO 3,6 HORAS/DÍA	106
Tabla 19 METAS DE CONEXIÓN DE POTENCIA AL SEN PROYECTO HIDROSOLAR GURI 21.401MW, 5% Y CARGA REGIONAL DESINCORPORADA DE LA TERMOELECTRICIDAD 3,6 HORAS/DÍA Y 7 HORAS/DÍA.....	107
Tabla 20 IRRADIACIÓN EN kWh/m ² /día PARA EL LAGO DE MARACAIBO Y LAGO DE VALENCIA. PORCENTAJE RESPECTO A LA IRRADIACIÓN DE GURI	108
Tabla 21 POTENCIA MÁXIMA DE GENERACIÓN PARA UN CUBRIMIENTO ECOLÓGICAMENTE ACEPABLE DE 1,3 % PARA EL LAGO DE MARACAIBO	110
Tabla 22 POTENCIA MÁXIMA DE GENERACIÓN PARA UN CUBRIMIENTO ECOLÓGICAMENTE ACEPABLE DE 3 % PARA EL LAGO DE VALENCIA COMPARACIÓN CON LA CAPACIDAD OPERATIVA DE CENTRAL TÉRMICA PLANTA CENTRO, EDO CARABOBO	111

ÍNDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1 USO DEL AGUA SEGÚN TECNOLOGÍA DE ENFRIAMIENTO	34
Gráfico 2 CONSUMO DE AGUA REQUERIDA PARA LA PRODUCCIÓN DE COMBUSTIBLE.....	35
Gráfico 3 CONCENTRACIÓN DE INUNDACIONES O DESLAVES NÚMERO DE EVENTOS	48
Gráfico 4 COMPORTAMIENTO BINARIO DEL CLIMA EXTREMO FENÓMENOS EL NIÑO Y LA NIÑA	49
Gráfico 5 HISTOGRAMA TÍPICO DE LLUVIAS EN VENEZUELA	53
Gráfico 6 POTENCIA TOTAL REQUERIDA EN LAS INDUSTRIAS BÁSICAS Y POBLACIONES EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA CENTRAL SIMÓN BOLÍVAR .	54
Gráfico 7 COMPORTAMIENTO NIVEL DEL EMBALSE DE GURI 1999-2010	55
Gráfico 8 PICOS MÁXIMOS DE APORTES AL EMBALSE AÑOS 1950 A 2010	56
Gráfico 9 COMPORTAMIENTO DEL CAUDAL TURBINADO DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SIMÓN BOLÍVAR 2007-2010	59
Gráfico 10 EVOLUCIÓN DE LA EFICIENCIA DE LAS CÉLULAS SOLARES CON PROYECCIONES 2016-2019	77

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 PORCENTAJE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA E HIDRAÚLICA AÑO 1963-2003.	CXVII
ANEXO 2 UBICACIÓN DE LAS FUENTES DE AGUA DE LA CIUDAD DE CARACAS	CXVIII
ANEXO 3 TEMPERATURAS PROMEDIO DE LA MAYOR PLANTA FOTOVOLTAICA DEL MUNDO KURNOOL INDIA.....	CXIX
ANEXO 4 POTENCIAL ENERGÉTICO SOLAR VENEZOLANO en kW/m ²	CXX
ANEXO 5 UBICACIÓN DE LAS COORDENADAS DEL EMBALSE DE GURI MEDIANTE GOOGLE MAPS	CXXI
ANEXO 6 EMBALSE DE GURI RADIACIÓN PROMEDIO DIARIA AL MES UTILIZANDO	CXXII
ANEXO 7 LAGO DE MARACAIBO RADIACIÓN PROMEDIO DIARIA AL MES UTILIZANDO RETScreen de NASA.....	CXXIII
ANEXO 8 LAGO DE VALENCIA RADIACIÓN PROMEDIO DIARIA AL MES UTILIZANDO RETScreen de NASA.....	CXXIV
ANEXO 2 1 1. EJEMPLO DE DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE PANELES PARA UNA CASA FAMILIAR MEDIANTE SOFTWARE CALCULATIONSOLAR. INFORME COMPLETO. CXXV	

INTRODUCCIÓN

Este Libro está orientado a sugerir la sincronización del Sistema Eléctrico Nacional Venezolano, SEN, con el fin de revertir nuestra situación actual de franca contradicción frente a lo establecido en el Artículo 127 de la Constitución de República Bolivariana de Venezuela, CRBV, cuando el Sector Eléctrico Nacional privilegia la implantación de Centrales Térmicas para responder ante los fenómenos extremos climáticos, en especial ante el fenómeno *El Niño*.

Gracias a la aplicación de un recurso metodológico conocido como “*LA NAVAJA DE OCKHAM*”, se pudo definir una solución ante dos posibilidades que tiene el Sector Eléctrico para prestar un servicio confiable y de calidad. Por un lado, el Sector se decanta por la posibilidad de incorporar más plantas termoeléctricas, para lograr independizar el parque de generación eléctrica de la dependencia hidrológica. Por el otro, existe una amplia gama de posibilidades ecológicas de generación eléctrica con el mismo objetivo. La primera opción, parece acertada, si se reconoce la amplia experiencia del Sector en la generación termoeléctrica, pero no lo es, ya; que se está combatiendo un efecto con la causa que lo produce. Las plantas termoeléctricas producen precursores de Cambio Climático, los gases de efecto invernadero y éstos potencian el comportamiento extremo del Niño, lo que afecta la capacidad de generación hidroeléctrica. Lo que se intenta explicar, es cómo a la contradicción ontológica, identificada desde la perspectiva del legislador en el artículo 127 de la CRBV, se le agrega una contradicción técnica, cuando se intenta mitigar el efecto con sus propias causas.

Ante el afán de independizar el Sector eléctrico a la hidrología que es afectada por la prolongación de la estacionalidad seca, este Libro propone la Sincronización del SEN al gran motor del Clima. Ante ambas propuestas, es más adecuado acoplarse al clima que oponerse a él. Y de acuerdo con *La Navaja de Ockham*, esta será la solución más probable.

Con esto queremos iniciar la construcción de un nuevo planteamiento orientado a la generación eléctrica, superando las contradicciones ya indicadas, con el fin de proponer, que el Sector Eléctrico Nacional reconozca, que así como se ha movilizado enérgicamente en presencia de *El Niño*, se puede planificar bidireccionalmente en forma simultánea en consideración de la presencia de *La Niña*, y a su vez avanzar en la reducción de la “descarbonización” de nuestra matriz eléctrica, evitando la posibilidad de la implantación real del presente ciclo: *Más térmicas, más precursores, menos agua, menos hidroelectricidad, más térmicas, más precursores* y así nuevamente, que conducirá progresivamente a la instalación de más, y más, plantas térmicas en los períodos y lugares donde no se presentan con la regularidad deseada, los necesarios aportes a los embalses por ausencia o reducción de las lluvias.

De continuar con la tendencia del actual esquema de producción de energía eléctrica, basado en generación térmica, elevaremos aún más nuestro indicador de intensidad de CO₂ de nuestra economía. A la situación anterior de ineficiencia económica, se le añade la velocidad de aniquilamiento de los bosques venezolanos, a una tasa promedio de 347.000 hectáreas anuales, contabilizados 1980 a 2010, que según palabras del investigador-ULA, Profesor Julio Cesar

Centeno, se trata de un ecocidio progresivo y liberador del CO₂ que durante años estuvo capturado en el proceso de creación de su biomasa.

Se presenta entonces en este Libro, con la propuesta de *SINCRONIZACIÓN*, la posibilidad de utilizar provechosamente la estacionalidad seca y los períodos de lluvia, y en especial los dos extremos meteorológicos: *El Niño* y *La Niña*, partiendo de la base del comportamiento binario del Clima. En los meses húmedos, y en especial ante la presencia de *La Niña*, Venezuela puede iniciar el período de la acumulación hídrica.

Bajo esta perspectiva, el interés de la acumulación hídrica para su posterior aprovechamiento energético puede ser orientado hacia la desinstalación de centrales termoeléctricas existentes en el país, en paralelo a la implementación de tecnologías limpias para dar respuesta al crecimiento de la demanda eléctrica. En este sentido, estos embalses pueden ser considerados como *EMBALSES COMPENSADORES DE EMISIONES DE CO₂ DE ORIGEN TERMOELÉCTRICO*, los cuales, se inicia su diseño energético con la selección de la capacidad termoeléctrica instalada en su futura área de influencia que se quiere desincorporar. Al realizar el balance de la energía eléctrica producida por este medio y la termoelectricidad instalada, el embalse hidroeléctrico se convierte en un disuasivo para la utilización centrales termoeléctricas consideradas en el análisis, en términos ecológicos. Se hace la aclaratoria que esto lo tratará el autor en un estudio posterior.

Tal como lo expresaré en este Libro, existe la posibilidad energética para la conformación de estos embalses, dado que la temporada de lluvias se presenta en toda la extensión del territorio nacional. En este sentido, se verá cómo las centrales hidroeléctricas implantadas en el río Caroní, proveerán la energía de bombeo en cualquier parte de la geografía venezolana, dado el alto grado de electrificación nacional, para así fortalecer la capacidad energética de los embalses donde existan plantas hidroeléctricas ya implantadas.

Para los meses cálidos, en este Libro se propone la utilización de la energía solar, en su aprovechamiento fotovoltaico o como energía termosolar concentrada. Hay importantes extensiones de nuestra geografía que favorecen la implantación de ambas tecnologías de producción energética, que protegerá los embalses hidroeléctricos ante la reducción de sus afluentes. Pero este concepto puede extenderse aún más, cuando se aproveche la mancha de inundación de cada embalse hidroeléctrico, colocando paneles solares flotantes, por lo cual nuestras conocidas centrales hidroeléctricas, podrán ser transformadas o reconvertidas en Centrales *Hidro-Solares*, reduciendo el caudal turbinado durante la sequía y mitigando a su vez la tasa de evaporación del agua acumulada en el vaso. Pero vamos más allá: Durante los períodos de lluvia, los embalses ubicados en el río Caroní, son llenados con aportes de las zonas geográficas selváticas, tipo de clima *SELVA AMAZÓNICA (Af)*, pero los vasos están en la zona de tipo de clima *SABANA (Aw)*, por lo que la central hidro-solar, puede utilizar el potencial solar para llenar su propio embalse o embalses periféricos. Las centrales hidroeléctricas del río Caroní tales como Guri, Tocoma, Caruachi y Macagua, así como las Centrales implantadas en el río Caparo, Masparro y Peña Larga en la zona de los Llanos, son las primeras opciones para este aprovechamiento energético.

Así, nuestra propuesta de *SINCRONIZACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL MEDIANTE EL RECONOCIMIENTO DEL COMPORTAMIENTO BINARIO DEL CLIMA*, es una sincronización meteorológica, que al contrario de hacer crecer la instalación de centrales termoeléctricas, puede lograr su progresiva desincorporación. Pero a su vez, consigue de inmediato, prepararnos ante un próximo regreso del fenómeno *El Niño*. En el año 2016, el embalse de Guri en su descenso, estuvo a escasos centímetros para llegar al nivel de sumergencia de la toma de la Casa de Máquinas, por lo que el 70% de la generación nacional estuvo a escasos días del colapso energético. La buena noticia es que con nuestra propuesta, estamos a tiempo para reaccionar.

Este Libro se presenta en cinco capítulos y dos anexos, y le antecede un conjunto de definiciones, donde se encontrarán algunos términos que considero necesario incluirlos para una mejor comprensión del tema tratado, dirigido especialmente a los futuros miembros de la Comunidad de Geociencias.

El primer capítulo trata de la contradicción ontológica en la cual se encuentra el Sector Eléctrico Venezolano, *SEN*, cuando trata de resolver los efectos del fenómeno *EL Niño*, potenciado por el Calentamiento Global, con las causas que lo produce. El segundo capítulo presento mi experiencia con el clima y cómo esta experiencia en la sincronización de una obra sirvió de base para proponer la sincronización de un sistema, en este caso, el sistema de generación en Venezuela. En el tercer capítulo expongo el principio que nos permitirá sincronizar el *SEN*, basado en el reconocimiento que después del tiempo climático cálido, se nos devolverá con fuerza lo que se ha evaporado, y en este sentido, se le solicita que el Sector explore la posibilidad de tener un enfoque binario del clima, para su aprovechamiento energético, por lo que la perspectiva del Sector en el tema climático, no solo debe tener un marco de actuación sobre *EL Niño* y sus efectos, sino también *La Niña*, y ambos, al ser considerados aliados energéticos, jugarán a nuestro favor.

En el cuarto capítulo, el Lector puede conocer, como la geografía venezolana, y sus tipos de climas asociados, pueden ser considerados el gran motor energético nacional, desde el aprovechamiento de los excedentes de las precipitaciones en el clima de selva y bosque húmedo, hasta el aprovechamiento climático de la geografía de sabana, el clima semi árido y el desértico tropicales, los cuales ofrecen posibilidades de aprovechamiento de la energía solar en sus expresiones fotovoltaicas y solar concentrada. Así, y desde esta mirada, comienza la posibilidad de sincronización del sistema eléctrico nacional.

En el quinto capítulo, presento una propuesta de ingreso progresivo de tecnología solar al *SEN*, haciendo un ejercicio para mostrar la posibilidad de implantación de proyectos hidrosolares en embalses de generación, específicamente el de la gran central hidroeléctrica Simón Bolívar. Se extiende el ejercicio para el Lago de Maracaibo y el Lago de Valencia.

Finaliza este libro con dos anexos y las referencias con sus direcciones electrónicas donde el Lector puede consultar a profundidad cualquier tema de interés. En el anexo 1, se incluyen figuras y gráficos de apoyo. Además se muestra los datos promedio de radiación en $\text{kWh}/\text{m}^2/\text{día}$ y como se determinan las coordenadas de un sitio, utilizando *google maps*, que luego deben ser introducidas en las páginas web que ofrecen la posibilidad de calcular la

irradiación solar de un sitio determinado. En el anexo 2 se muestra un informe completo para el cálculo del número de paneles requeridos para una vivienda. Esto con el fin de reconocer el potencial que tiene la investigación y el desarrollo asociado con la elaboración de células solares y posterior fabricación de paneles solares fabricación.

Hay muchos temas a tratar, mucho por investigar y organizar, hacer y crear.

Se hace urgente y necesario, para una real *independencia tecnológica*, la conformación de equipos en áreas de investigación básica y aplicada, en física e ingeniería, ciencias de la energía, meteorología, y ciencias del agua. Hay que crear centros de estudios vinculados al tema del Calentamiento Global o al Cambio Climático, para ofrecer opciones o alternativas para mitigar sus consecuencias para el País. Todo esto aplicado y unido a un proceso de enseñanza-aprendizaje, para que el conocimiento se expanda y sea cada vez más probable su aplicación, con el fin de lograr un país verdaderamente independiente desde la *Educación, la Ciencia y la Tecnología*.

Si la Comunidad de Saberes en Geociencias lo considera de utilidad, este Libro puede convertirse en parte de un conjunto de lecturas de iniciación para presentar propuestas útiles al desarrollo endógeno nacional, visto desde el tema de la *Energía*.

Ing. Alberto Malaver Tossut
Comunidad de Geociencias, Universidad 'Politécnica
Territorial de Mérida
Mérida, Venezuela.

DEFINICIONES PRELIMINARES

ACUERDO DE PARÍS

Es un acuerdo dentro del marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático mediante el cual, se establecen las medidas para la reducción de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) su aplicabilidad sería para el año 2020, cuando finaliza la vigencia del Protocolo de Kioto.⁽¹⁾

ALIVIADERO

Los aliviaderos son estructuras de regulación y de protección que sirven para evacuar caudales de demasiás o caudales superiores a los del diseño del embalse⁽²⁾. En la Figura 1 se muestra una vista aérea de la Central Hidroeléctrica “Simón Bolívar” en Guri, con el aliviadero en plena operación, evacuando los caudales excedentes.

Figura 1 CENTRAL HIDROELÉCTRICA “SIMÓN BOLÍVAR” EN GURI, VENEZUELA ALIVIADERO EN OPERACIÓN⁽³⁾



BARRILES EQUIVALENTE DE PETRÓLEO (BEP)

Es una unidad de energía, la cual es utilizada por las compañías de petróleo y gas para el balance de sus estados financieros como una forma de combinar reservas de petróleo y gas natural bajo una sola medida. Equivale a la energía liberada durante la quema de un barril de petróleo crudo aproximadamente 42 galones estadounidenses o 158,9873 litros⁽⁴⁾.

CAMBIO CLIMÁTICO

Se llama cambio climático a la variación global del clima de la Tierra. Es debido a causas naturales y también a la acción del hombre y se producen a muy diversas escalas de tiempo y sobre todos los parámetros climáticos: temperatura, precipitaciones, nubosidad, etc. Según Naciones Unidas, El Cambio Climático es uno de los mayores desafíos de nuestro tiempo y supone una presión adicional para nuestras sociedades y el medio ambiente. Desde pautas meteorológicas cambiantes, que amenazan la producción de alimentos, hasta el aumento del nivel del mar, que incrementa el riesgo de inundaciones catastróficas, los efectos del cambio climático son de alcance mundial y de una escala sin precedentes. Si no se toman medidas drásticas desde hoy, será más difícil y costoso adaptarse a estos efectos en el futuro. En 1995 los países iniciaron las negociaciones para fortalecer la respuesta mundial al cambio climático y, dos años después, adoptaron el Protocolo de Kyoto. Este obliga jurídicamente a los países desarrollados que son parte a cumplir unas metas de reducción de las emisiones.⁽⁵⁾

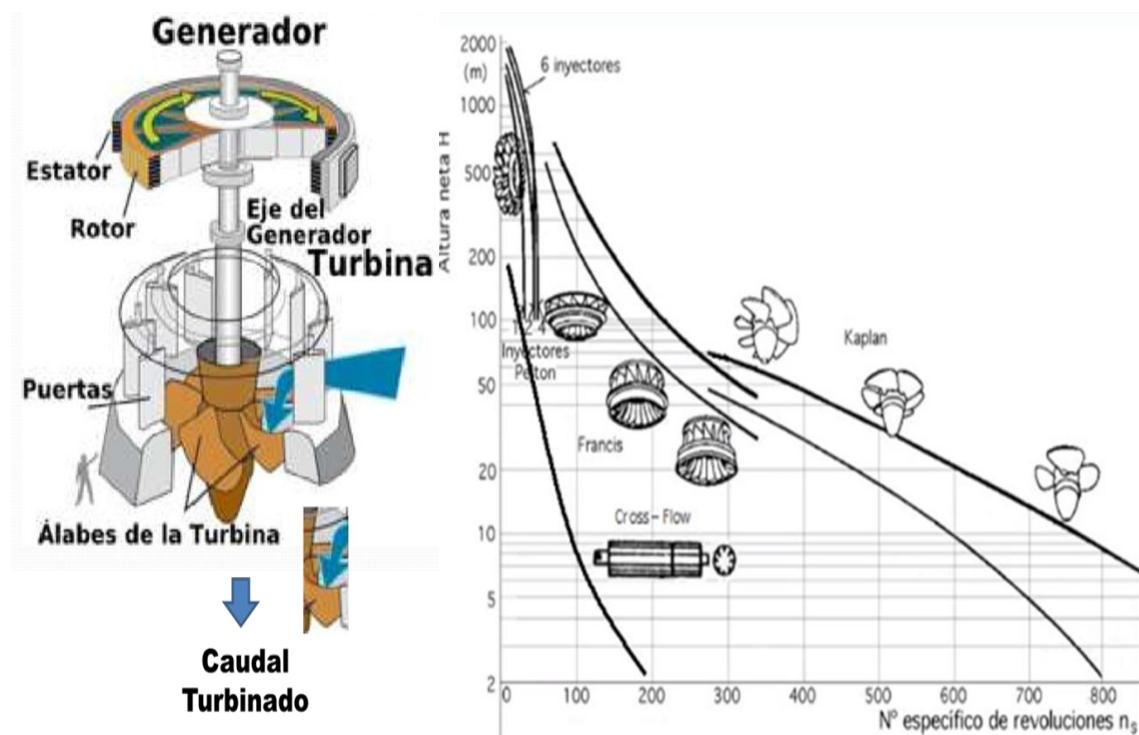
CASA DE MAQUINAS

La Casa de Máquinas concentra los equipos electromecánicos directamente responsables de la producción en una central hidroeléctrica. En ella están la caja espiral, la turbina, el generador, el sistema de excitación y el regulador de velocidad, llamado también gobernador, que para el caso de turbinas hidroeléctrica, regula la potencia mecánica, y en consecuencia la potencia eléctrica, mediante el control del flujo hidráulico.⁽⁶⁾

CAUDAL TURBINADO

Caudal que pasa a través de las turbinas. A la izquierda de la Figura 2, se muestra como el flujo pasa por el anillo distribuidor (puertas) y luego transfiere su energía a los álabes de una turbina Kaplan. Dependiendo del caudal disponible, definido por la hidrología de la cuenca y la elevación topográfica del sitio de implantación del embalse, se define el tipo de turbina a instalar en la central hidroeléctrica, tal como se aprecia a la derecha de la figura.⁽⁷⁾

Figura 2 ESQUEMA DE UN GRUPO TURBINA-GENERADOR, INGRESO DEL CAUDAL AL ANILLO DISTRIBUIDOR Y CAUDAL TURBINADO⁽⁸⁾

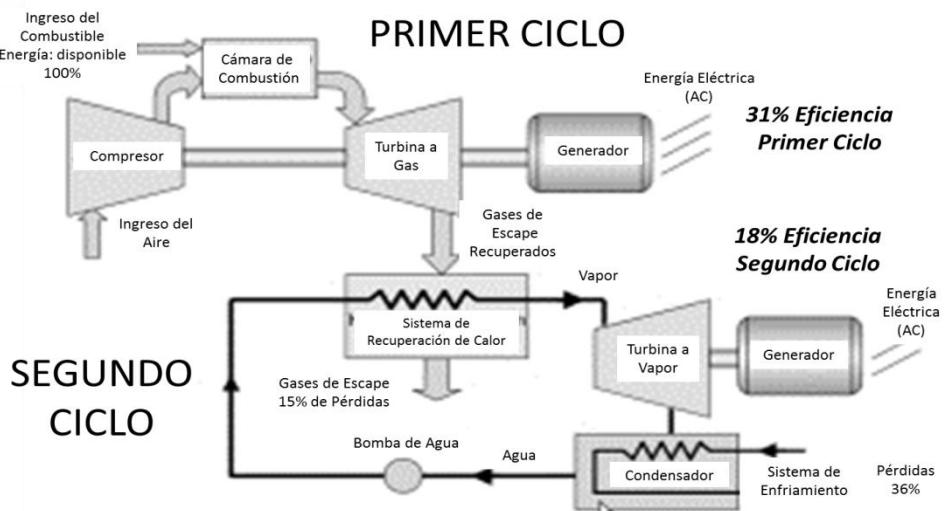


CENTRAL DE CICLO COMBINADO

Con este nombre se conocen las centrales térmicas de generación eléctrica, que utilizan gas natural como combustible para generar electricidad y emplean el calor residual de los gases de combustión de esta turbina para precalentar el agua y generar simultáneamente electricidad mediante una turbina de vapor.⁽⁹⁾

Con ello se consiguen, con tecnologías actuales, rendimientos termoeléctricos del orden del 55% a 60%, muy superior al de las plantas convencionales. El esquema muestra los principales componentes, del sistema Ciclo Combinado y la pérdida de eficiencia en cada ciclo. Cuando ambos ciclos termodinámicos, gas y vapor, están conectados a un solo generador, la eficiencia aumenta. Ver Figura 3.

Figura 3 ESQUEMA DE UNA PLANTA TERMOELÉCTRICA DE CICLO COMBINADO⁽¹⁰⁾



CENTRAL HIDROELÉCTRICA

En una central hidroeléctrica se utiliza energía hidráulica para la generación de energía eléctrica. Estas centrales aprovechan la energía potencial gravitatoria que posee la masa de agua de un cauce natural, en virtud de un desnivel, también conocido como «SALTO GEODÉSICO». En su caída entre dos niveles del cauce, se hace pasar el agua por una turbina hidráulica que transmite energía mecánica a un generador eléctrico donde se transforma en energía eléctrica⁽¹¹⁾. En la Figura 4 se muestra un esquema de las partes que constituyen los principales macro componentes de una central, comenzando por su embalse. Se agrega a este esquema, fotos ilustrativas. Desde la derecha, en el sentido horario: Se muestra el embalse y la obra de toma, compuertas de operación y mantenimiento y grúa puente para el cierre del ingreso del caudal a la tubería forzada, pasillo de transformadores, Casa de Máquinas: pozo de turbina y acceso a casa de máquina. Arriba, Sala de Control de la Central.

Figura 4 ESQUEMA DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA^{(12),(13),(14),(15)}



en: Large Hydro, o Grandes Presas: Mayor a 100 MW. Medium-Hydro o Medianas Presas: desde 20 MW a 100 MW. Small-Hydro o Pequeñas Presas: desde 1 MW a 20 MW. Mini-Hydro: máximo 1 MW. (Ver Figura 5).

Otra forma de clasificación es por la presión de operación, lo que inmediatamente nos vincula al tipo de turbina que está instalada en la Casa de Máquinas. Entonces, las Centrales pueden ser clasificadas como Centrales de Alta Presión, utilizando turbinas Pelton, con diferencia de altura entre el embalse y su eje horizontal de operación (h neta, en mts) de $200 < h$ neta < 2000 . Centrales de Media Presión, Turbinas Francis con $100 < h$ neta < 200 . Centrales de Baja Presión h neta < 100 mts. Estos valores son una referencia, dado que según el caudal disponible, determinará el tipo de turbina que mejor se adapta para extraer la mayor potencia posible, gastando el menor caudal posible (Eficiencia).

Desde el punto de vista hidráulico, se tiene las Centrales de Agua Fluyente, en las cuales prácticamente se aprovecha es el caudal y no la altura. Las Centrales de Agua Embalsada, que son diseñadas para entregar energía según su capacidad de almacenamiento en un período de tiempo definido por la hidrología de la cuenca. Las Centrales de Regulación, muy importantes, porque aprovechan los períodos húmedos del Clima, para reservar agua y “administrarla” bajo premisa de entregar una banda de energía base o firme, y segura en cualquier lapso de tiempo independientemente de la estacionalidad. También se incluye en esta clasificación, las Centrales de Bombeo. Hay que reconocer que este esquema de transformación energética, cuenta con 135 años desde su primera aplicación comercial-1882, con la Central APPLETON-EDISON. En Venezuela, se cuenta con la primera experiencia latinoamericana en cuanto a esta aplicación tecnológica, cuando en la población de EL ENCANTO, Estado Miranda, el ingeniero venezolano Ricardo Zuluaga implantó la primera Central hidroeléctrica en 1897.

Figura 5 GRANDES PLANTAS HIDROELÉCTRICAS EN VENEZUELA⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾

Central Simón Bolívar en Guri, Edo. Bolívar, Central Francisco de Miranda en Caruachi, Edo. Bolívar, Embalse de La Mitisús, Sto. Domingo, Edo. Mérida reservorio de Planta Páez y Central Leonardo Ruiz Pineda “San Agatón, Edo Táchira



CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE BOMBEO (PUMPED HYDROELECTRIC STORAGE-PHS).

La hidroelectricidad también puede producirse del caudal de agua tomada de reservorios especiales llenados bombeando agua desde un río, lago o mar que está en un nivel más abajo⁽¹⁹⁾, tal como se puede observar en la Figura 6.

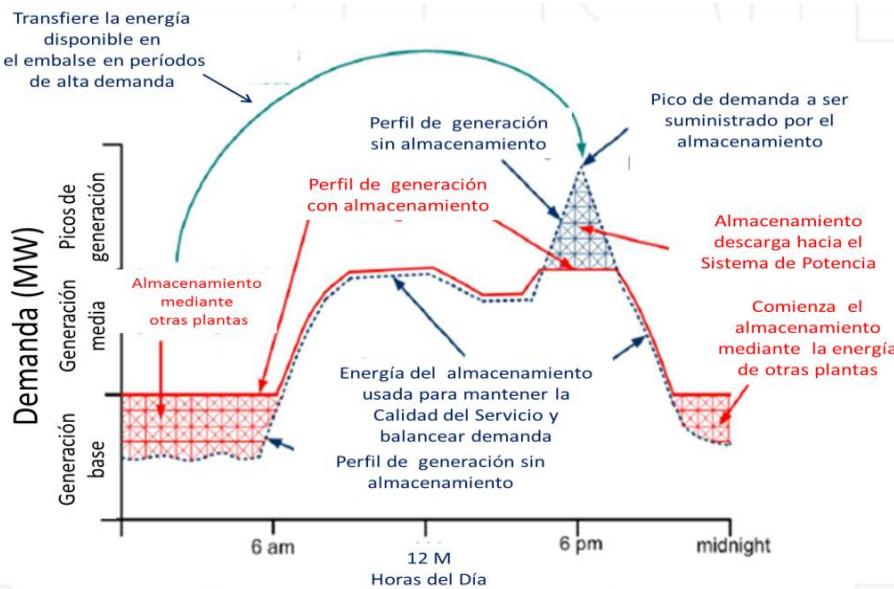
En las centrales con reservorio por bombeo, la electricidad del sistema nacional se usa durante los períodos de demanda baja (usualmente por la noche) para bombear el agua hasta los reservorios; luego se turbinan hacia la generación esta agua durante los tiempos de demanda máxima, cuando el costo marginal de generar electricidad es más alto.

Figura 6 COMPONENTES PRINCIPALES DE UNA CENTRAL DE BOMBEO MUESTRA RESERVORIO DE AGUA DE MAR Y AGUA DE RÍO^{(20),(21)}



Se utiliza más electricidad bombeando el agua que la que se produce, sin embargo, este procedimiento resulta económico porque los operadores compran en un lapso de tiempo la “energía barata” y la venden luego a las horas a mayor precio. La Figura 7 muestra una curva de demanda eléctrica, y la implementación de este tipo de centrales para suministrar energía, en especial en las horas pico. Por su gran volumen de generación y muy corto tiempo respuesta frente a las centrales térmicas, este tipo de central aplica también de buena forma para estabilizar el sistema eléctrico de potencia.

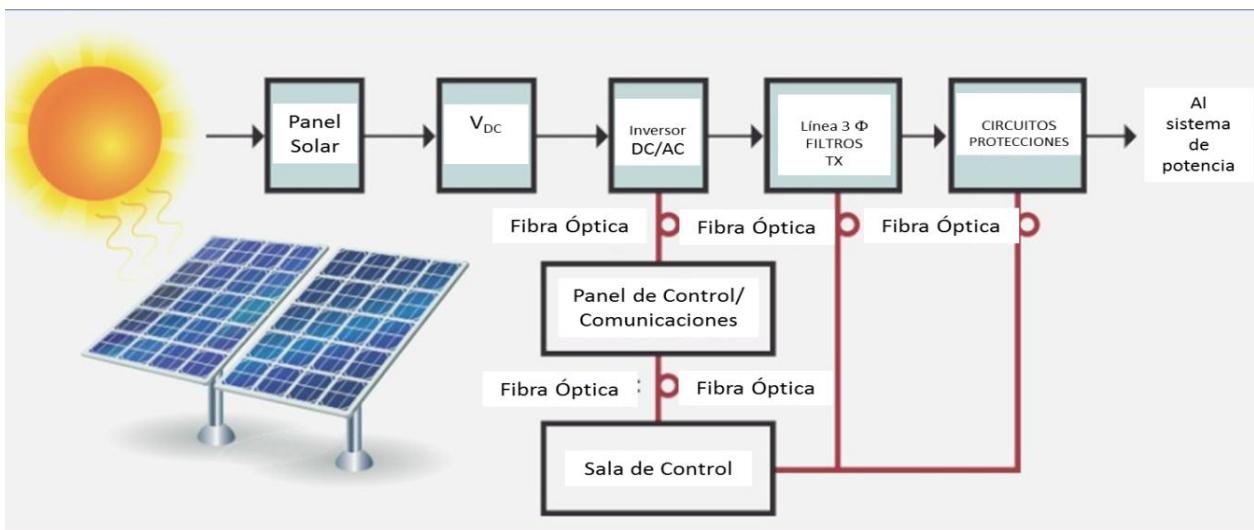
Figura 7 CRITERIO DE IMPLEMENTACIÓN DE LAS CENTRALES DE BOMBEO⁽²²⁾



CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA

Una central solar fotovoltaica, o granja fotovoltaica, es un conjunto de instalaciones destinadas al suministro de energía eléctrica a la red mediante el empleo de sistemas fotovoltaicos a gran escala⁽²³⁾. En la figura 8 se muestra un diagrama de bloques que resume el proceso de la obtención de la energía eléctrica a partir de una central fotovoltaica.

Figura 8 DIAGRAMA DE BLOQUES PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA⁽²⁴⁾



Al recibir la radiación solar, los paneles generan corriente continua, que al ser entregada al inversor, se convierte en corriente alterna. Con la etapa de filtrado se “limpia” la onda en los parámetros indicados por el operador del sistema (Quality Power) y se eleva la tensión con el objetivo de adecuar la energía eléctrica para su entrega y transporte masivo al sistema de potencia. La sala de control gestiona las solicitudes de demanda del operador del sistema (en el caso que esta planta esté interconectada al sistema de potencia), y mediante lazos de fibra óptica gestiona la operación, control, supervisión de alarmas y la seguridad de la instalación.

CENTRAL TÉRMOELÉCTRICA

Una central termoeléctrica es una instalación empleada en la generación de energía eléctrica a partir de la energía liberada por combustibles fósiles como petróleo, gas natural o carbón⁽²⁵⁾. En la Figura 9, se muestra un diagrama de bloques para la producción de termolectricidad, en este caso mediante carbón para producir calor. El calor generado por la energía química de los combustibles fósiles, es empleado por un ciclo termodinámico convencional o en el caso del gas, se desarrollaron los ciclos combinados, para mover una turbina que transmiten su trabajo mecánico a un alternador y producir. En este proceso, es liberando dióxido de carbono a la atmósfera y gases de efecto invernadero. Una central nuclear es también una central termoeléctrica, aunque el calor se obtiene mediante la fisión controlada de núcleos de uranio y no emiten gases precursores de efecto invernadero. Sin embargo, tienen el agravante de las fugas y desechos radiactivos, que son contaminantes durante miles de años y con la posibilidad de accidentes graves.

CELULA DE HADLEY/MODELO DE CIRCULACIÓN DE HADLEY⁽²⁷⁾

Todo surge del sol. La radiación solar que reciben las zonas ecuatoriales, es mucho mayor que la que reciben las zonas polares. El aire caliente asciende y el frío descende, lo que sirve para crear un primer modelo de circulación general, en el que el aire calentado en las zonas ecuatoriales ascendería, se dirige hacia latitudes superiores, y viajando por la parte superior de la troposfera (a medida que se enfriá), llega a las zonas polares donde descende. Estas masas de aire, que han liberado la energía que contenían, se dirigirán de nuevo hacia el ecuador, con una circulación superficial. Así cerraríamos el ciclo y volveríamos a empezar de nuevo. Ver figura 10.

En otras palabras, tras ascender cerca del ecuador, los vientos ceden energía suficiente como para descender antes de llegar a los polos, y a la altura de 30° de latitud (tanto norte como sur) descienden, iniciando así su recorrido de vuelta hacia la zona ecuatorial desde donde ascenderá de nuevo. Es lo que se conoce como la célula de Hadley. De la convergencia de las dos células de Hadley a ambos lados del ecuador nace la zona de convergencia intertropical (o ITCZ, por sus siglas en inglés).

Figura 9 DIAGRAMA DE BLOQUES PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA CENTRAL TÉRMICA A CARBÓN⁽²⁶⁾

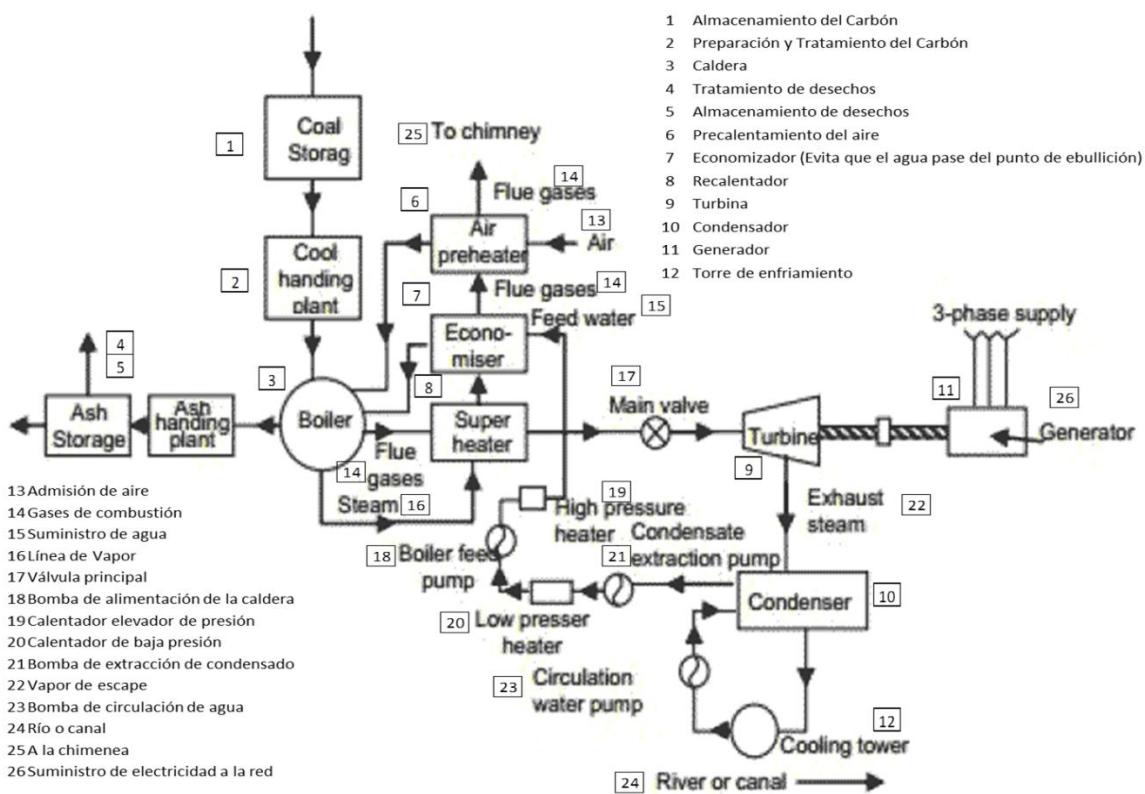
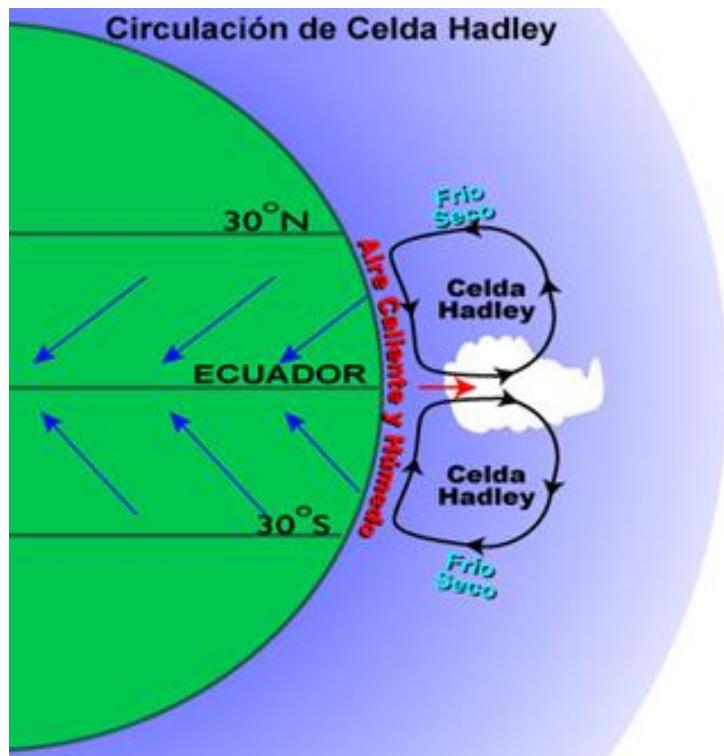


Figura 10 MODELO DE CIRCULACIÓN DE LA CÉLULA DE HADLEY⁽²⁸⁾



COMPENSAR.

(Del lat. *compensare*, pesar juntamente dos cosas.). Neutralizar los efectos negativos de una cosa con los de otra. Contrapesar, equilibrar, nivelar. También se refiera a la reparación de un daño o un perjuicio que se ha causado. Indemnizar, reparar, resarcir.⁽²⁹⁾

CONCENTRATING SOLAR POWER, CSP

La energía termosolar de concentración —también conocida como CSP, (Concentrated Solar Power), es un tipo de energía solar térmica que utiliza espejos o lentes para concentrar una gran cantidad de luz solar sobre una superficie pequeña⁽³⁰⁾.

La energía eléctrica es producida cuando la luz concentrada es convertida en calor, que impulsa una turbina de vapor conectado a un generador de electricidad. La figura 11 muestra el esquema de sus componentes más importantes, sea que la captación de la energía pueda realizarse mediante heliostatos planos giratorios para su concentración en una torre, o en el foco de espejos cilíndricos parabólicos.

La radiación solar una vez concentrada, calienta un fluido no evaporable, dado que los líquidos tienen mayor conductividad térmica que los gases (Heat transfer fluid, el cual circulará por el intercambiador de calor (Heat exchanger) y que a su vez cederá parte de su energía para crear vapor y mover la turbina acoplada al generador.

En el caso de intermitencia en la radiación solar, se activará un sistema auxiliar de generación de vapor (Additional heating). Para obtener mayores niveles de eficiencia, es necesario establecer un mayor gradiente de temperatura entre los fluidos calientes y fríos, por lo que se requiere una torre de enfriamiento (Cooling tower).

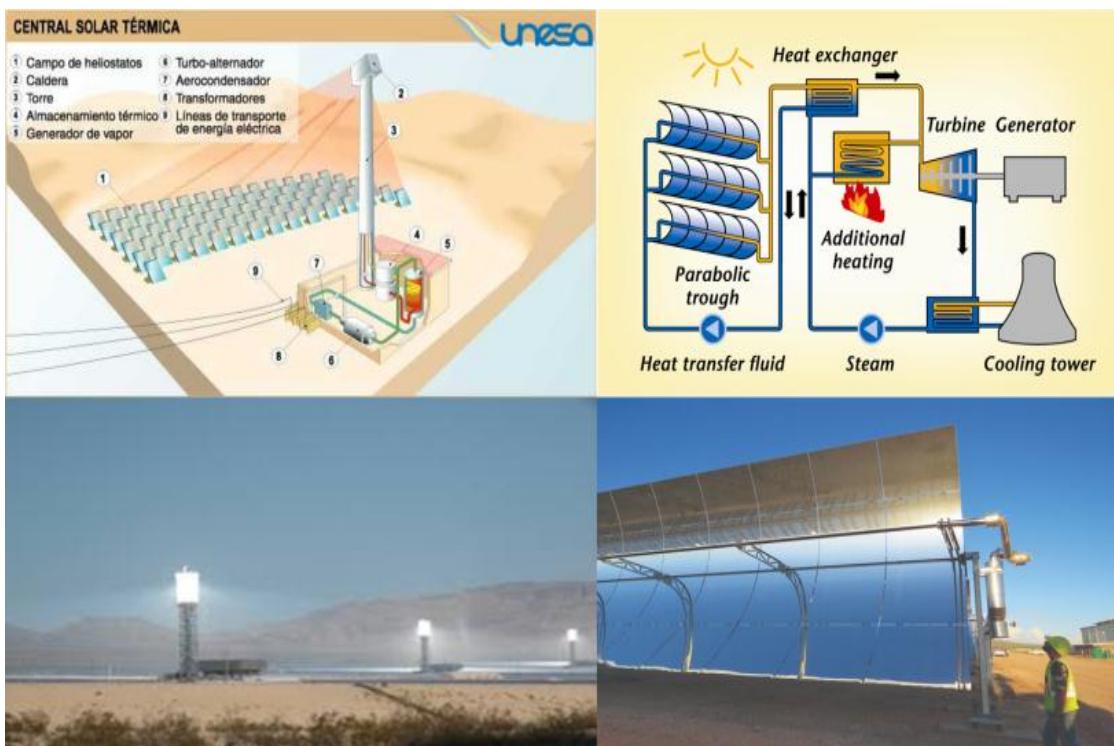
CONDICIONES ISO

Dado que la turbina de gas es un motor que toma aire del ambiente, su desempeño cambia si hay cambios en el flujo de masa de aire de admisión al compresor, y con mayor razón los cambios en las condiciones de referencia de la International Standards Organization (ISO) para el funcionamiento de turbomáquinas en el campo de generación: 15°C (59°F), 60% de humedad relativa y 101.4 kPa (14.7 psia). Debido a esto, el desempeño de las turbinas de gas varía significativamente con las condiciones locales, y la temperatura ambiente es un factor determinante.⁽³³⁾

Si se disminuye la temperatura ambiente, la capacidad y eficiencia de las turbinas de gas se incrementan, debido a que esta disminución induce un aumento en la densidad del aire en la succión del compresor y, para una velocidad constante del mismo, esto se traduce en un incremento en el flujo másico. La presión atmosférica tiene, igualmente, un efecto importante sobre la capacidad de las turbinas de gas, aunque no sobre su eficiencia.

Cuando la presión atmosférica disminuye, la densidad del aire baja, lo que, a su vez, reduce el flujo de masa hacia la turbina y, por tanto, su capacidad. De igual modo, el aire húmedo, al ser más denso que el aire seco, también afecta la producción de potencia. El tipo de combustible también influye en el rendimiento. Es así como el gas produce alrededor del 2 % más de salida de potencia que los destilados del petróleo.

**Figura 11 COMPONENTES DE UNA CENTRAL TERMOSOLAR DE CONCENTRACIÓN
CONCENTRATING SOLAR POWER - CSP^{(31), (32)}**



DEMANDA ELÉCTRICA

Requerimiento instantáneo a un sistema eléctrico de potencia, normalmente expresado en megawatts (MW) o kilowatts (kW).⁽³⁴⁾ En la figura 12, se muestra una curva de demanda típica, donde se aprecia que en un determinado lapso de tiempo, se presenta un “pico, o máxima” y se presenta un “valle”.

DEMANDA PROMEDIO

Demanda de un sistema eléctrico o cualquiera de sus partes calculada dividiendo el consumo de energía en kWh entre el número de unidades de tiempo de intervalo en que se midió dicho consumo. En figura 12, se muestra gráficamente el valor resultante de la Demanda Máxima, la Demanda Promedio y la Demanda Base (o mínima) de una curva de Demanda de un sistema de potencia.⁽³⁵⁾

EFICIENCIA

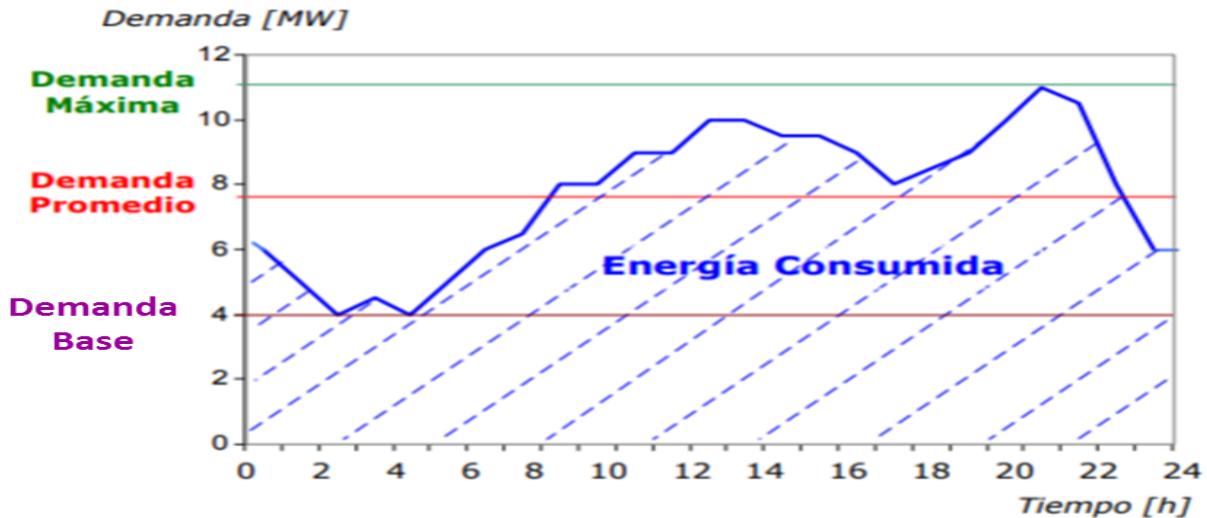
La eficiencia se define como la razón de la energía útil que proporciona la máquina o dispositivo, a la que llamaremos energía de salida E_s , y la energía que hemos “introducido” en la máquina, E_i . Usando símbolos y empleando Ef para eficiencia, podemos escribir: $Ef = E_s / E_i$. Algunas veces es cómodo expresar la eficiencia en porcentaje, por lo que en esos casos $Ef (\%) = (E_s / E_i) \cdot 100$.⁽³⁷⁾

EMBALSE COMPENSADOR

En el área de la ingeniería civil, se conoce como embalse compensador, como una obra de menor magnitud que el embalse principal, capaz de realizar, mediante un volumen disponible relativamente menor, una regulación diaria de los caudales provenientes de aquel; almacenando el agua turbinada en las horas de mayor consumo para erogarla en forma constante durante todo el día. Se implementan especialmente en los casos de aprovechamientos energéticos destinados a cubrir demandas de punta. Cuando esto sucede, se presenta un importante caudal que luego se reducirá a la disminución de la demanda. Entonces, se implementa aguas abajo un embalse, para capturar y

luego regular este intermitente caudal, devolviendo al curso de agua, el caudal necesario o permanente para garantizar la vida y las actividades económicas del sitio de su implantación.⁽³⁸⁾

Figura 12 CURVA DE DEMANDA O DE CARGA VALORES DE DEMANDA BASE, PROMEDIO Y MÁXIMA⁽³⁶⁾



Este libro aplica este concepto con la intencionalidad de disuadir la actividad de generación eléctrica asociada con potenciales agresiones contaminantes. Así, con ambas tipos de centrales disponibles, térmicas e hidroeléctricas, el menor costo de operación de la central hidroeléctrica alimentada desde un embalse compensador de emisiones, neutralizará el uso del combustible fósil. La estrategia es guiada por la necesidad de acumular agua para ser utilizada en las múltiples expresiones de la Vida, entre ellas la Energía, y dejar de ser utilizada su ausencia como justificativo de implantación de nuevas plantas que utilizan combustibles fósiles. Así, un embalse dimensionado para sustituir determinada de una central o grupo de centrales termoeléctricas, se convertirá en un disuasivo para el uso de la termoeléctricidad y en consecuencia, será compensador de emisiones, y abre la posibilidad de posicionarse a futuro, como una política de Estado para subsanar el problema de producción, crecimiento y acumulación de precursores del Cambio Climático de origen termoeléctrico.

ENERGÍA

El término energía (del griego ἐνέργεια enérgeia, «actividad», «operación»; de ἐνέργος energós, «fuerza de acción» o «fuerza de trabajo») tiene diversas acepciones y definiciones, relacionadas con la idea de una capacidad para obrar, surgir, transformar o poner en movimiento. En física, energía se define como la capacidad para realizar un trabajo. En tecnología y economía, «energía» se refiere a un recurso natural (incluyendo a su tecnología asociada) para poder extraerla, transformarla y darle un uso industrial o económico.⁽³⁹⁾

ENERGÍA FIRME

Energía suministrada por una central eléctrica de forma permanente y garantizada las 24 horas del día o en un período determinado⁽⁴⁰⁾

ENERGÍA PICO

Electricidad abastecida cuando la demanda está en su nivel más alto.⁽⁴¹⁾

ENERGÍA POTENCIAL GRAVITATORIA

La energía potencial gravitatoria es la energía potencial que depende de la altura asociada con la fuerza gravitatoria. Esta dependerá de la altura relativa de un objeto a algún punto de referencia,

la masa y la aceleración de la gravedad. Puede pensarse como la energía almacenada en un sistema u objeto, o como una medida del trabajo que un sistema puede entregar o solicitar dependiendo de la altura.⁽⁴⁰⁾

ENERGÍA PRIMARIA

Se entiende por energía primaria a las distintas fuentes de energía tal como se obtienen en la naturaleza, ya sea: en forma directa como en el caso de la energía hidráulica, eólica o solar, la leña y otros combustibles vegetales; o después de un proceso de extracción como el petróleo, carbón mineral, geoenergía, etc.⁽⁴¹⁾

ENERGÍA SECUNDARIA

Se denomina energía secundaria a los diferentes productos energéticos que provienen de los distintos centros de transformación y cuyo destino son los sectores del consumo y/o centros de transformación, tales como la electricidad, gas licuado de petróleo o GLP, gasolina de aviación, gasolina de motor, gasolina natural, alcohol, kerosene y turbo combustibles.⁽⁴²⁾

FENÓMENO CLIMÁTICO EL NIÑO

Consiste en la fase cálida del patrón climático del Pacífico ecuatorial denominado El Niño-Oscilación del Sur (El Niño-Southern Oscillation, ENSO por sus siglas en inglés), donde la fase de enfriamiento recibe el nombre de La Niña. Este fenómeno, en sus manifestaciones más intensas, provoca estragos en la zona intertropical y ecuatorial debido a la intensa sequía en algunas partes e intensas lluvias en otras, afectando principalmente a la región costera del Pacífico de América del Sur.⁽⁴³⁾

FENÓMENO CLIMÁTICO LA NIÑA

La Niña es un fenómeno climático que forma parte de un ciclo natural global del clima conocido como El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). Este ciclo global tiene dos extremos: Una fase cálida conocida como El Niño y una fase fría, precisamente conocida como La Niña. Cuando existe un régimen de vientos alisios fuertes desde el oeste, las temperaturas ecuatoriales disminuyen y comienza la fase fría o La Niña. Cuando la intensidad de los alisios disminuye, las temperaturas superficiales del mar aumentan y comienza la fase cálida, El Niño.⁽⁴⁴⁾

Con base a estas definiciones, se plantea en este Libro, la posibilidad de sincronización del Sistema Eléctrico Nacional, mediante el reconocimiento de este comportamiento binario de los extremos del Clima, es decir, El Niño y La Niña. El fenómeno Climático extremo es binario: El Niño-Oscilación Sur tiene una fase de enfriamiento, La Niña y una fase cálida, El Niño.

GAS NATURAL

Combustible que consta de varios gases, pero en su mayor parte de metano (CH_4). Como sugiere su nombre, el gas natural se extrae de reservas subterráneas naturales y no es un producto químicamente puro.⁽⁴⁵⁾

GASES DE EFECTO INVERNADERO

Un gas de efecto invernadero (GEI) es un gas atmosférico que absorbe y emite radiación dentro del rango infrarrojo⁽⁴⁶⁾. Este proceso es la fundamental causa del efecto invernadero. Dado que el uso del carbón, petróleo y el gas han dominado el mercado de suministro energético mundial, su combustión está haciendo crecer rápidamente las emisiones de gases de efecto invernadero desde 1850. Los principales gases de efecto invernadero son: el vapor de agua (H_2O), dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O), metano (CH_4) y el ozono (O_3).

GASÓLEO O DIESEL

El gasóleo o diésel, también denominado gasoil, es un hidrocarburo líquido de densidad sobre 832 kg/m³ (0,832 g/cm³), compuesto fundamentalmente por parafinas y utilizado principalmente como combustible en calefacción y en motores diésel. Su poder calorífico inferior es de 35,86 MJ/l (43,1 MJ/kg) que depende de su composición.⁽⁴⁷⁾

INTENSIDAD ENERGÉTICA/ INTENSIDAD DE EMISIÓN DE CO₂

Es el cociente entre la energía utilizada y un denominador consistente en una magnitud física o indicador económico, por ejemplo, el Producto Interior Bruto. Mide la eficiencia energética global de un sistema económico, en sentido inverso. Normalmente se da en toneladas equivalentes de petróleo consumidas/dólares, (tep/USD) o cualquier otra moneda. Definida la intensidad energética, se conoce la cantidad de CO₂ que emite esa economía por cada tep, siguiendo la metodología estándar del IPCC (Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, por sus siglas en inglés)y se expresa en toneladas de CO₂ emitidas por cada 1.000 \$ de PIB.⁽⁴⁸⁾

MATRIZ ELÉCTRICA

La matriz eléctrica hace referencia a la composición de fuentes de energía primaria y secundaria utilizadas para generar electricidad en un espacio geográfico determinado. Es decir, que expresa de forma cualitativa (tipo de generación eléctrica) y cuantitativa (en qué cantidad y proporción) el conjunto de recursos naturales y modificados afectados de forma directa en la obtención de la energía eléctrica, independientemente del origen (nacional o importado) de esos bienes y del destino del uso y consumo de la electricidad generada.⁽⁴⁹⁾

MISIÓN ARBOL

La Misión Árbol nace el 4 de junio de 2006 por iniciativa del Gobierno de la República Bolivariana de Venezuela. Es un programa inédito de gran relevancia, que busca la recuperación de los bosques venezolanos, que debido a la acción humana están en peligro de convertirse en desiertos en menos de 300 años.⁽⁵⁰⁾

MIX ENERGÉTICO

La expresión mix energético, alude a la combinación de las diferentes fuentes de energía que cubren el suministro eléctrico de un país, y puede expresarse en español como combinación energética, surtido energético o matriz energética, entre otras formas.⁽⁵¹⁾

POTENCIA

La potencia mide la rapidez de realizar un trabajo. Variación de la energía con el tiempo. La unidad de potencia es el vatio (W).⁽⁵²⁾

POTENCIA INSTALADA DE UNA CENTRAL

Es la capacidad máxima de generación eléctrica. Por lo general, las Centrales expresan su potencia en MW y en pequeñas Centrales en kW.⁽⁵³⁾

POTENCIA DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

Generalmente se expresa generalmente en kW ó MW.⁽⁵⁴⁾ La potencia hidráulica de una Central hidroeléctrica es proporcional a la cantidad de agua que ingresa por segundo a sus turbinas y a la altura de elevación de su reservorio o embalse.

$$P = 9,81\gamma n Q H \text{ (W)}$$

Donde; 9,81: Es la constante de la aceleración de la gravedad; γ: Densidad del agua; n : Representa el rendimiento general del sistema, considerando las pérdidas hidráulicas, pérdidas en la turbina, pérdidas en el generador y en el acoplamiento mecánico; Q: Es el caudal que ingresa a la Central, en m³/s; H: Es la diferencia de altura, entre la cota de generación y la cota del embalse.

POTENCIA FIRME

Es la máxima potencia que se puede generar con un nivel elevado de seguridad de suministro, inclusive en los períodos críticos, considerando la posible escasez de insumos que pueda existir. Es denominada también potencia base.⁽⁵⁵⁾

POTENCIAL DE CALENTAMIENTO GLOBAL

Cada uno de los gases de efecto invernadero afecta a la atmósfera en distinto grado y permanece allí durante un periodo de tiempo diferente. La medida en la que un gas de efecto invernadero determinado contribuye al calentamiento global se define como su Potencial de Calentamiento Global (PCG). Por ejemplo, la capacidad radiativa medida en W/m² / ppb del N₂O es 21.642% (veinte y un mil seiscientos cuarenta y dos por ciento) superior al potencial de calentamiento global del CO₂.⁽⁵⁶⁾

PRECURSORES DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Son los principales gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera terrestre producidos por la actividad económica humana, son el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), los óxidos de nitrógeno (N_xO_y) y el ozono (O₃).⁽⁵⁷⁾

PRINCIPIO DE NO CONTRADICCIÓN.

El principio de no contradicción⁽⁵⁸⁾, o a veces llamado principio de contradicción, es un principio clásico de la lógica y la filosofía, según el cual una proposición y su negación no pueden ser ambas verdaderas al mismo tiempo y en el mismo sentido. El principio también tiene una versión ontológica: nada puede ser y no ser al mismo tiempo y en el mismo sentido; y una versión doxástica: nadie puede creer al mismo tiempo y en el mismo sentido una proposición y su negación. El principio de no contradicción es, junto con el principio de identidad y el principio del tercero excluido, una de las leyes clásicas del pensamiento lógico.

RENDIMIENTO

En Física este concepto se define como el cociente entre el trabajo útil que realiza una máquina en un intervalo de tiempo determinado y el trabajo total entregado a la máquina en ese intervalo.⁽⁵⁹⁾

SECTOR ELÉCTRICO

El Sector Eléctrico es el conjunto de empresas y organismos que hacen posible que podamos disponer de electricidad. Este Libro, cuando haga mención a el “Sector”, se referirá al órgano rector del sistema y servicio eléctrico nacional, el Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica, MPPEE y al operador y prestador del servicio, CORPOELEC, tal como se desprende de la Ley Orgánica del Servicio Eléctrico.⁽⁶⁰⁾

SISTEMA ELÉCTRICO

Gran cadena de producción que se pone en marcha cada vez que usamos la energía. Este sistema se compone de Generación, Transmisión y Distribución.⁽⁶¹⁾

SINCRONIZACIÓN DEL SISTEMA ELECTRICO NACIONAL

Es el conjunto de acciones que deben realizarse para conectar al Sistema Eléctrico Nacional en cada instante.⁽⁶²⁾

SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL (SEN)

Es la denominación legal y técnica del conjunto de instalaciones destinadas a la Generación, Transmisión, Distribución y venta de energía eléctrica de servicio público en toda Venezuela, estén o no interconectadas.⁽⁶³⁾

CAPÍTULO I: LA CONTRADICCIÓN ONTOLOGICA

"La contradicción es la raíz de todo movimiento."
Georg Wilhelm Friedrich Hegel

En este Capítulo intento explicar la existencia de una contradicción ontológica en el impulso que mueve al Sector eléctrico venezolano, en su afán de resolver los efectos de las sequías prolongadas por el Cambio Climático sobre los embalses asociados a la generación hidroeléctrica, al planificar la incorporación de nuevas fuentes térmicas que en sí mismas generan precursores del Cambio Climático, para compensar los efectos del mismo fenómeno que se desea mitigar, en oposición a lo indicado en el artículo 127 de la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (CRBV).

*Esta contradicción desmejora la intención que guía las propuestas y compromisos internacionales del Estado Venezolano, relacionados con el cumplimiento de metas en cuanto al cuidado del ambiente, en especial al tratado del 25 de septiembre de 2015, donde los líderes mundiales adoptaron un conjunto de objetivos globales, que entre otros, está el Objetivo 7: "**Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos**", meta que se deberá alcanzar en 15 años, es decir en el 2030.*

El primer paso para solucionar un problema, es reconocer que lo tenemos. Y es un problema por las consecuencias no deseables que trae en las distintas dimensiones en las cuales sus efectos impactan. En este capítulo intento poner al descubierto, la estructura conceptual que permite que nuestra contradicción no sea visualizada. La importancia de este paso logrará superar, a nuestro criterio, la consecuencia fundamental de esta contradicción, la cual se puede resumir en el siguiente ciclo: Más plantas térmicas, más precursores del Cambio Climático, menos agua, menos hidroelectricidad, más centrales térmicas.... Evidenciando en este ciclo, cada vez más, y con mayor intensidad, la progresiva disminución de precipitaciones y prolongación de períodos de sequías o ambos sucesos a la vez. En este capítulo alerto sobre un cambio de paradigma importante sobre nuestra matriz eléctrica, especialmente cuando se cumpla lo planificado indicada en el PDSEN 2013-2019, la cual mostrará una proporción similar a la que contábamos en 1984, donde claramente la generación termoeléctrica era superior a la generación hidroeléctrica. Cuando se cumpla lo planificado en el PDSEN 2019, en este Libro se demostrará, que Venezuela perderá la oportunidad de captar del mercado internacional petrolero, 19 Millones de dólares diarios, por sostener una matriz eléctrica que contribuye a la generación de precursores del Cambio Climático, o Gases de Efecto Invernadero y a la reducción de los humedales y acuíferos subterráneos en los sitios alejados de las costas, donde estas plantas sean ubicadas. En este capítulo se solicita, que se reconozca que desde el tema de la energía, hay una incontestable contradicción frente al ejercicio del artículo 127 de la CRBV y demás tratados ambientales suscritos por la República, y de mantenernos en esta contradicción constitucional, se agregará un elemento más para la reducción del sentido de dignidad colectiva que nos sostiene como sociedad. Movámonos entonces, impulsados por un movimiento dialéctico que nos dirige, hacia un nuevo enfoque, que nos permitirá desandar los pasos que nos mantienen atrapados en la situación planteada.

1.1 SOBRE LA PARTICIPACIÓN DE LA GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA PLANIFICADA PARA VENEZUELA.

De acuerdo a lo indicado en el Plan de Desarrollo Eléctrico Nacional Venezolano PDSEN-2013-2019, el Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica (MPPEE), ha decidido avanzar hacia la consolidación del parque de generación eléctrica del país, mediante la agregación al Sistema Eléctrico Nacional (SEN), de nuevas plantas turbo gas y ciclo combinado, y obtener en el lapso 2013-2019, la incorporación de nuevos proyectos, aspirando ejecutar en el ejercicio 2013-2019, 70% de proyectos de generación termoeléctrica y 30% de naturaleza hidroeléctrica, reduciendo la generación hidroeléctrica de forma considerable, tal como lo expresó el PDSEN 2013-2019.

“....Con la incorporación de nuevas plantas de generación a lo largo del período, la matriz energética varía, puesto que la participación Termoeléctrica aumenta al pasar de 35% en el año 2012 a 48% en el 2019, disminuyendo la participación del parque hidroeléctrico hasta un 52%, lo cual representa una disminución de la dependencia hidrológica del SEN”.⁽¹⁾

En el caso que se logren los contratos de financiamiento para otros proyectos visualizados en la planificación eléctrica nacional, esta misma fuente señala que en el 2019, la potencia eléctrica instalada para la generación venezolana se ubicará en 47% hidroeléctrica y 53% termoeléctrica, tal como se muestra en la Tabla 1:

Tabla 1 CAPACIDAD INSTALADA Y PORCENTAJE DE PARTICIPACIÓN HIDRO/TERMO EN EL SECTOR ELÉCTRICO VENEZOLANO INCLUYE PROYECTOS VISUALIZADOS

ESCENARIOS	HIDRO	TERMO	CONECTADA (MW)
HASTA 2012:	14.622,00	11.033,00	25.655,00
INCREMENTO AÑO 2019:	3.644,00	9.783,00	13.427,00
TOTAL (MW):	18.266,00	20.816,00	39.082,00
% AÑO 2019:	47%	53%	100%

Nota: Datos tomados del PDSEN 2013-2019, 2013, Gráfica 10 (p.40)

En consecuencia, la disminución de la participación hidroeléctrica según los datos mostrados, hará que el país regrese a la configuración energética de 1984, un

verdadero retroceso histórico, desde el punto de vista ecológico, según CVG EDELCA, 2004⁽²⁾, se muestra la figura anexo 1.

Sin embargo, el avance de la generación termoeléctrica en la matriz energética venezolana, se justifica, según los lineamientos del MPPEE, en función de fortalecer la el parque de generación nacional, el cual, operando la hidroelectricidad en proporción mayor a la termoelectricidad, hizo vulnerable al SEN a los episodios de sequía extrema, tales como los presentados en los años 1997-1998, 2009-2010 y 2015-2016. Entonces, para el año 2019, y en el caso que se cumpla la planificación indicada en el PDSEN, la potencia instalada será de 39.082 MW, conformada por 18.266 MW de potencia hidroeléctrica y 20.816 MW de potencia termoeléctrica al incluir los proyectos visualizados a futuro por CORPOELEC.

Con esta línea de acción, el MPPEE trata de establecer un equilibrio lógico de operación del Sistema Eléctrico Nacional, basado en la incorporación de fuentes de generación térmica, para responder a la demanda eléctrica diaria, operando el máximo de fuentes hidroeléctricas disponibles fundamentalmente en el período de lluvias, con el sentido de generar el mínimo costo operativo, y adicionalmente, reducir el consumo de agua para los períodos secos, mediante el uso de las plantas termoeléctricas.

1.2 LA CONTRADICCIÓN ONTOLOGICA.

Sin embargo, en Venezuela, la situación de prolongación de las sequías o la escasa precipitación durante el período de lluvias (o ambas), con la consecuente reducción de los volúmenes de operación en los embalses hidroeléctricos, presiona para que el sistema eléctrico recurra cada vez más a las fuentes termoeléctricas para satisfacer esta demanda.

Se puede aceptar esta tendencia de incorporación de generación termoeléctrica, bajo la estricta óptica de satisfacer con rapidez la necesidad energética de los usuarios, dado que los lapsos de conceptualización, estudios básicos, ingeniería y construcción, para los proyectos hidroeléctricos, son mucho mayores que en los proyectos

termoeléctricos. El otro atractivo para su implementación, radica en su menor costo de inversión inicial y su independencia frente a los ciclos de la naturaleza, si se dispone de la energía primaria, es decir, gas, fuel-oil, carbón entre otros.

Sin embargo, estamos en la obligación de señalar la existencia de una clara contradicción ontológica como país, al echar mano de este tipo de solución, por los aportes en precursores del Cambio Climático que se derivan de la generación termoeléctrica, tales como gases de efecto invernadero, CO₂, CH₄ y N₂O, incidiendo en la acidificación de los suelos y la disminución de acuíferos y humedales por la extracción del agua en aquellas plantas que no están a las orillas del mar⁽³⁾.

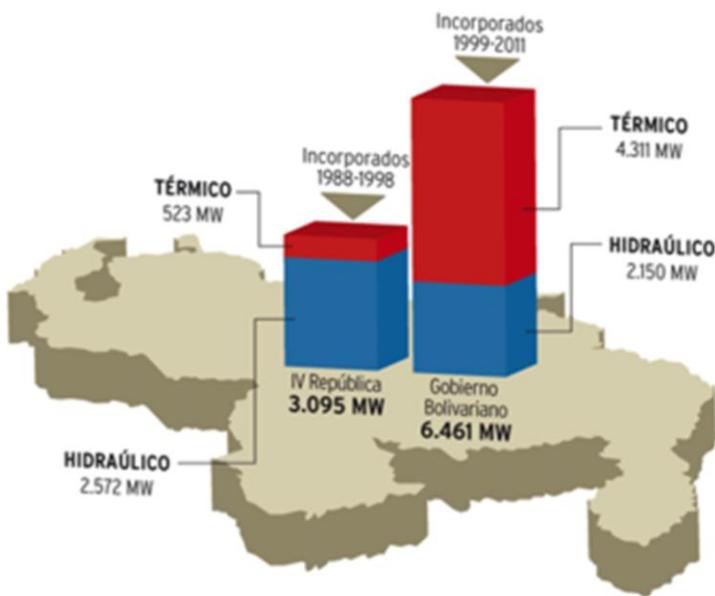
Esta contradicción se hace presente cuando, por un lado, tenemos el punto de vista establecido en el artículo 127 de Constitución de la República Bolivariana de Venezuela de 1999, que nos señala el derecho y el deber de cada generación en proteger y mantener el ambiente⁽⁴⁾, pero a su vez, se planifica para hacer más presente la tendencia de implantación de centrales térmicas, como solución ante los eventos de sequía extrema.

Por ejemplo, el MPPEE ha suministrado información pública, que desde 1999 al 2011, fueron incorporados 4311 MW térmicos frente a la incorporación de 523 MW, de la misma naturaleza, en el lapso comprendido entre 1988 a 2014, según se muestra en la Figura 13. Adicionalmente, el PDSEN proyectó un aumento del 60% en el consumo en combustibles fósiles para la generación de electricidad, al compararlo con las cifras del año 2012. Por esto, frente a lo establecido en la CRBV, estamos ante una contradicción ontológica: Nada puede ser y no ser al mismo tiempo.

Si la tendencia de instalación de plantas térmicas en Venezuela sigue avanzando, derivado de la opinión del PDSEN 2013-2019, sobre la “dependencia hidrológica”, responderemos al Cambio Climático Global con más CO₂, más precursores de lluvia ácida y más ozonificación antropogénica. Agregaremos más calor al ambiente, más desechos, y se profundizará la reducción del agua dulce, necesaria para los pobladores, en el sitio de implantación de estas centrales en las áreas donde es escasa, impactando negativamente sobre el volumen de agua que está disponible

para consumo humano, riego, navegación y otros usos, deteriorando nuestros indicadores ambientales y aportando las mismas causales del fenómeno que queremos mitigar.

Figura 13 CAPACIDAD DE GENERACIÓN INSTALADA 1989-1998 vs 1999-2011



Nota: Fuente MPPEE. Tomado de albacuidad.org/2012/06⁽⁵⁾.

En el futuro, con los aportes mundiales de precursores del Cambio Climático en los países de economías desarrolladas, y el predecible incremento de la producción que, en energía fósil, se establecerá como consecuencia directa del retiro de Estados Unidos del *Acuerdo de París*⁽⁶⁾, se reducirán las posibilidades de contar con agua para el proceso productivo energético eléctrico en determinadas áreas geográficas del planeta, por lo cual habrá que generar más electricidad para obtenerla.

Entonces, se establecería el siguiente ciclo: *Más plantas térmicas, más precursores, menos agua, menos hidroelectricidad y así sucesivamente...* Se justificarán progresivamente más plantas térmicas en los períodos y lugares donde no se presenten las lluvias y otra vez el ciclo, y así, hasta que la potencialidad de los humedales y la presencia del agua en los lugares donde hoy existe, sea cada vez más reducida, cumpliéndose las predicciones del científico Stephen Hawking: “*Por culpa de Trump puede llover ácido sulfúrico en la Tierra*”⁽⁷⁾.

Es conocido que países como Dinamarca y Costa Rica, han establecido records en horas de generación de electricidad de origen limpio, descarbonizando su matriz de generación eléctrica. Venezuela tiene con qué hacerlo, tal como lo demuestra los grandes potenciales hidroeléctricos existentes para ello, además de la excelente relación W/m² para la generación fotovoltaica (FV)⁽⁸⁾ y la generación solar concentrada (CONCENTRATING SOLAR POWER, CSP). Adicionalmente, Venezuela cuenta con vientos con calidad suprema⁽⁹⁾, que han despertado el interés de desarrollar proyectos eólicos en la Península de Paraguaná y La Guajira, además de las grandes reservas de Torio⁽¹⁰⁾ en los Estados Cojedes y Bolívar, que con los debidos estudios técnicos y determinada su viabilidad económica, puede definir la estrategia para contar con un mix energético que no genere precursores del Cambio Climático y resolver nuestra contradicción, armonizando progresivamente nuestra acción de generación energética con el cuerpo legal y patrimonio moral que los venezolanos nos hemos dado.

Adicionalmente a esto, es importante recordar, que nuestro País ha suscrito acuerdos internacionales que son ley de la República tales como la *Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*, y en especial, hay que resaltar el Objetivo 7⁽¹¹⁾, donde el Estado Venezolano se compromete a aumentar sustancialmente el porcentaje de la energía renovable en el conjunto de sus fuentes de energía, en el espíritu de posicionar al país como un referente mundial en el cumplimiento de los acuerdos establecidos ante las Naciones Unidas.

Entonces, si desde el *Decreto de Chuquisaca* de 1827 reconocemos la voz ambientalista de nuestro Libertador, reconozcamos que desde el tema de la energía, nuestra incontestable contradicción frente al ejercicio del artículo 127 de la CRBV y que la misma menoscaba el centro y el sentido de los principios de dignidad colectiva que nos sostiene como sociedad. En lo técnico, el avance de la generación térmica, es un retroceso, estructurado sobre la opinión de vulnerabilidad del sector hidroeléctrico al Cambio Climático y en especial al efecto *El Niño*, y esto implicará el consumo energético de 388 mil barriles/día de petróleo equivalente, en el momento que se cumpla lo indicado en el PDSEN 2013-2019, en los dos escenarios previstos, sin restricción o con restricción del suministro de gas:

“....Se puede observar un aumento en el consumo total del SEN, del 60% en los dos casos para el periodo, con el incremento de 251 MBEPD en el 2012 a 399 MBEPD en el 2019, para el escenario sin restricciones de gas y de 245 MBEPD en el 2012 a 388 MBEPD en el 2019, para el caso con restricciones de gas”.⁽¹²⁾

Es importante resaltar que el consumo equivalente de 388 MBEP diarios se presentará en el caso más favorable, sin restricciones de gas. Bajo este escenario, se calculará a continuación, la pérdida de oportunidad económica para el país, si se redirigiera progresivamente este importante flujo de combustible equivalente hacia el mercado internacional, mediante la progresiva sustitución de energías fósiles, y en especial, implantando tecnologías de generación que pueden ser aprovechadas cuando se considere al clima como un gran motor energético.

1.3 LA OPORTUNIDAD ECONÓMICA CUANDO RECONOZCAMOS NUESTRA CONTRADICCIÓN.

A continuación se presenta un ejercicio muy conservador sobre la oportunidad económica, o costo de oportunidad, que representa el costo de inversión de 388 mil barriles de petróleo equivalentes diarios, disponible en el año horizonte 2019, frente a una mejor inversión alternativa disponible, como por ejemplo, el redireccionamiento hacia el mercado externo, de la energía fósil que consumiría el Sector, equivalente en barriles de petróleo, tal como ya se ha señalado. Considerando las cantidades y cifras expuestas en la Tabla 2.

Tabla 2 COSTO DE OPORTUNIDAD EN EL AÑO HORIZONTE 2019

VARIABLES	CIFRAS	UNIDADES
Costo promedio barril -Crude Merey- en USD Diciembre 2017	56,04	USD
Costo estimado promedio año horizonte 2019	50	USD
Consumo estimado por el PDSEN 2019	388.000	BEP/DÍA
Mejor opción no realizada sin depreciación <i>(BEP/DÍA) X USD</i>	19.400.000	USD/DÍA

Es importante resaltar, que el precio estimado para al año horizonte 2019, es inferior al precio obtenido para nuestro petróleo en la Cesta OPEP -Crudo Merey- a fecha Diciembre/2017⁽¹³⁾- por lo cual, los montos en dólares obtenidos en este ejercicio, derivado del consumo del mix termoeléctrico venezolano, pueden ser mayores.

Cuando lo planificado por el PDSEN suceda, a los precios ya indicados, la nación dejará de percibir 19.400.000 de dólares diarios, debido al consumo de combustibles fósiles orientados a la termoelectricidad, lo que puede significar un monto muy atractivo para el Sector eléctrico, bajo la mirada de la planificación de proyectos de infraestructura eléctrica de alta inversión, con el objetivo de formular una política robusta de implementación de proyectos energéticos limpios financiados desde la desincorporación de los combustibles fósiles.

Por ejemplo, tomaremos como referencia el monto del préstamo en moneda extranjera para la inversión del Proyecto Hidroeléctrico Tocoma, tal como se puede ubicar en la página web del Banco Interamericano de Desarrollo (BID)⁽¹⁴⁾. Con este dato de partida, podemos conocer, cuantos proyectos de infraestructura eléctrica se pudieran financiar con el costo de oportunidad ya calculado, incluyendo una depreciación acumulada del dólar, del 35% desde el año 2003 al 2017⁽¹⁵⁾. Para los cálculos, se estimó que el lapso de la ejecución del proyecto Tocoma es de construcción de 6 años. (Ver Tabla 3).

Tabla 3 OPORTUNIDAD ECONÓMICA O COSTO DE OPORTUNIDAD EN EL AÑO HORIZONTE 2019

Prestamo	Costo del	Consumo		Oportunidad Económica	Oportunidad de Financiamiento	
Tocoma	Préstamo al	Termoeléctrico		Costo de	de Proyectos al año, hasta 6 años	
Nº VE L1003 BID	Año	PDSEN 2013-2019		Oportunidad	sin depreciación	con depreciacion
(USD)	(USD)	(BEPD)	(BEP-Año)	(USD)	(PROYECTOS)	
3.000.000.000	500.000.000	388.000	141.620.000	7.081.000.000	14	10

Entonces, considero que será atractivo y de alto interés nacional, contar con una importante fuente de recursos originados mediante el redireccionamiento hacia el mercado externo del equivalente energético de 388 mil barriles de petróleo/día, lo impulsará el desarrollo endógeno nacional mediante la ejecución de proyectos de generación mediante energía renovable. Hay que reconocer que la electricidad es un

insumo fundamental para la independencia nacional y es la plataforma donde la planificación del desarrollo puede concretarse. Sin embargo, se requiere que sea originada ‘por fuentes de energía limpia, con el fin de romper el ciclo que se impondrá por el justificativo de independizar el SEN de los efectos de las sequías prolongadas.

Desde el punto de vista de ingeniería, la estrategia técnica que presento en este Libro es la *SINCRONIZACIÓN DEL PARQUE DE GENERACIÓN ELÉCTRICO VENEZOLANO* al gran motor del meteorológico climático Venezolano, aprovechando el extremo húmedo del clima y su extremo cálido, valiéndonos de las condiciones de radiación y precipitaciones que genera los fenómenos climáticos *EL NIÑO* y *LA NIÑA*, potenciados por el calentamiento global.

Dada nuestra privilegiada ubicación geográfica, que favorece la calidad de la radiación solar recibida por unidad de área en un año y las grandes precipitaciones, especialmente al sur del País, solo quedaría pendiente para un estudio más avanzado, proponer la tecnología de integración de ambos extremos para una sincronización perfecta.

Entonces, en este Libro presento, el “cómo” podemos superar técnicamente nuestra contradicción ontológica en lo que a energía eléctrica venezolana se refiere. La propuesta de solución será técnica, que añade una clara estrategia conducente a la descarbonización de la electricidad en Venezuela, motivada por un movimiento dialéctico originado por la contradicción del Sector Eléctrico, pero guiada por un principio metodológico llamado en filosofía, *La Navaja de Ockham*⁽¹³⁾, donde, eliminando supuestos innecesarios, plantearemos una hipótesis práctica, expresada en lo siguiente: “...si existen igualdad de condiciones, la explicación más sencilla es la más probable”.

CAPÍTULO II: MI EXPERIENCIA CON EL CLIMA: DE LA SINCRONIZACIÓN DE UNA OBRA A LA SINCRONIZACIÓN DE UN SISTEMA

"... *El período de oscilación de un péndulo sólo depende de la longitud de la cuerda.*"

Galileo Galilei

En este capítulo describo mi proceso de comprensión sobre el valor de la sincronización, que tuvo como origen mi praxis ejercida en el espacio de trabajo en la Central Hidroeléctrica de Caruachi, la cual me dio las bases para proponer la sincronización del Sistema Eléctrico Nacional al Clima. Sobre esta base, se construye la solución para superar nuestra contradicción ontológica, guiada por una sencilla regla metodológica enseñado una vez por Guillermo de Ockham, en el lejano pueblo de Surrey, en el Reino Unido, en el siglo XIV: "LA NAVAJA DE OCKHAM".

Con esta regla metodológica, se busca eliminar los supuestos innecesarios (por eso lo de la navaja), que pueden complicar el desarrollo de una hipótesis. Frente a la contradicción ontológica que exhibe el Sector en su estrategia de generación, - resolviendo el problema con la causa que lo produce- este capítulo quiere anteponer a esto un planteamiento estructuralmente lógico, comenzando con el análisis que permite el desmontaje del supuesto que soporta la sentencia que apuntala el incremento de Centrales termoeléctricas en el País: La Dependencia del Sector a la hidrología.

Tal como lo comento en el presente capítulo, La Navaja de Ockham es un principio de economía, que hace decantarse nuestro proceso lógico hacia la explicación más simple para entender o resolver un problema. Ante el esfuerzo del Sector para independizarse del gran motor del clima, se propone un camino más sencillo: La sincronización de la generación nacional al clima. El funcionamiento de la Navaja de Ockham, comienza revelando que la reducción de las fuentes de agua no solo afecta a las centrales hidroeléctricas; afecta también a las centrales termoeléctricas. Y si el tema es el recrudecimiento de los efectos y la consecuente baja producción hidroeléctrica por el fenómeno El Niño, derivado del calentamiento global, entonces las plantas termoeléctricas son productoras de precursores del efecto que se está denunciando. Adicionalmente en este capítulo se solicita, con carácter de urgencia, que el Sector considere los resultados del Modelo 12GCMs, elaborado por la Universidad de Ciencias y Tecnología de Noruega, que estima que en Venezuela, puede darse una pérdida de generación por el orden desde un 10% al 15% en el año 2050. Sin embargo, ya en el 2016, a solo 34 años de esa fecha, el embalse de Guri estuvo a 1.60 metros de su nivel de colapso, lo que implicaría una afectación cercana al 70% de la energía eléctrica nacional.

Así mismo reconozco que este capítulo es un verdadero viaje hermenéutico: De cómo ayer reconocí la necesidad de sincronizar una Obra al Clima, hoy llego a la meta de proponer la sincronización de todo un Sistema a éste, donde expreso la universalización de un fenómeno Climático en su expresión energética, interpretado desde mi historia concreta y personal.

2.1 MI EXPERIENCIA DE SINCRONIZACIÓN DE UNA OBRA AL CLIMA.

Mi desarrollo como ingeniero está vinculado a la construcción de centrales hidroeléctricas. Ingresé al proyecto Caruachi, desde los trabajos de excavación de la Casa de Máquinas, la construcción de la presa derecha y el levantamiento de la infraestructura de apoyo del proyecto, en la cual se irían a instalar los talleres, almacenes, patios y almacenes vinculados con la llegada de los equipos, herramientas, transformadores, turbinas, generadores, y componentes auxiliares para levantar una gran central hidroeléctrica, que con sus 2160 MW de potencia, sería responsable del 12% de la generación eléctrica del País. Comienza mi experiencia en sitio, en del año 1998, año del primer vaciado de concreto específicamente en la Nave de Montaje, y 10 años después de la construcción de la carretera de acceso al sitio del proyecto, lo que demuestra que los lapsos de ejecución de un proyecto hidroeléctrico, son de una magnitud considerable.

Viví mi praxis ingenieril inmerso en la comprensión de los elementos que hacen posible la clásica generación hidroeléctrica. El primer elemento base es la presencia del agua y la aplicación de un cuerpo de conocimiento que harán posible el aprovechamiento energético del curso de un río. En mi caso, se trata del río Caroní, que discurre majestuosamente sobre un lecho rocoso perteneciente a la formación geológica más antigua del planeta, en la mágica región de Guayana.

Formé entonces parte entonces de un proceso de transformación en positivo, que a lo largo de los 757 kilómetros de este río, ingenieros predecesores, desde la década del 40 del siglo pasado, convencieron al País nacional de aprovechar hidroeléctricamente el desnivel de 912 metros, en presencia de un modelo de desarrollo petrolero que lo impregnaba todo. Era aprovechar el agua, de un río cuyo nacimiento se ubica en el Tepuy Kukenan, muy cerca de la frontera con Brasil, hasta la desembocadura del Orinoco. Realmente un río excepcional, si se calcula la magnitud de la potencia aprovechable en relación al recorrido neto del agua, más de 22 MW/km recorrido. Así, me encuentro en la región de Caruachi, en la oportunidad única de pertenecer a un equipo de trabajo que participaría en el levantamiento de una Central de gran capacidad, presentándose la posibilidad de conectar el mundo de las

soluciones en la obra, con el mundo que sostiene la factibilidad de estos inmensos proyectos: El ciclo hidrológico, un delicado motor global, cuyo arranque consiste, según los expertos, en la evaporación de 1000 kilómetros cúbicos de agua al año que finalmente son devueltos y alimentará a los ríos que sustentan la vida y la hidroelectricidad en todo el planeta.

Desde ese momento, trabajar en una Central hidroeléctrica era trabajar con el agua y preocuparse por la presencia o no de la energía primaria retenida en los embalses. El exceso de lluvia retrasa la obra. Con su ausencia, el objetivo fundamental no se cumple, no se genera. Entre estos dos extremos, se debe sincronizar los trabajos para hacer Obra.

Para la implantación de un proyecto hidroeléctrico, el primer hito físico es el desvío del río, lo cual debe obligatoriamente coincidir con la estacionalidad seca, dado que la corriente fluyente del río Caroní se ubica entre 4500 y 13000 metros cúbicos por segundo, la única opción es trabajar en el tramo temporal de menor caudal con el fin de preservar el esfuerzo realizado asociado con la preparación del sitio de la Obra, proteger el personal, el equipamiento, y la infraestructura de apoyo ejecutada.

Este hito de la Obra se logra mediante la construcción de un dique, para separar el área de la colocación de la Central del curso del río. Previo a esta etapa, es de importancia capital, un esfuerzo concentrado y sostenido de la ingeniería básica, alimentada con los datos obtenidos en estudios y exploraciones de campo, que dependiendo de los hallazgos, dará como resultado la ubicación definitiva de la Central.

Es así que se construyó este importante dique, denominado “Ataguía A” sincronizando su ejecución con el clima, resultando en una forma de herradura que desvió el curso del Caroní, en el sitio de Caruachi. Mi primer trabajo de inspección, era la supervisión del sistema de potencia del bombeo masivo, requerido para mantener seca el área encerrada en ese dique, y controlados los niveles de filtración, disponer el área para la construcción de la Central. El sistema estaba conformado por 60 bombas con capacidad de succionar 2000 litros/segundo.

Los pasos para la construcción de esta ataguía, es la siguiente: Se va colocando grandes rocas. Con esto se controla la fuerza del agua, lo que permitirá seguidamente la excavación para remover la arena y la tierra hasta llegar al lecho del río donde se va a construir. Se deposita la granza natural o cuarcita y luego la arcilla que al penetrar, impermeabiliza el compuesto, impidiendo que el agua siga filtrando. Luego se va levantando la ataguía hasta llegar a la cota que permitirá protegerse del excedente del agua que viene desde Guri en el período de lluvias.

Con anterioridad a todos estos trabajos, es muy importante la aplicación de las lecciones aprendidas y la tecnología desarrollada durante la ejecución de las centrales hidroeléctricas predecesoras, especialmente Macagua II y Guri etapa final. En este sentido, se construye en cemento, el modelo hidráulico de la Central diseñada para predecir el comportamiento ante distintas variables de entrada y analizar resultados de acuerdo con los modelos matemáticos. En nuestro caso, se utilizó un modelo a escala 1:80, que ayudó a simular el comportamiento del río y de las obras proyectadas, entre ellas la Ataguía “A”.

Lo importante de la sincronización de una Obra de tal magnitud con el clima, la pude experimentar en la siguiente situación, relacionada con el segundo hito establecido en este importante proyecto, es decir el segundo desvío del río. Para que esto suceda, la construcción de la estructura de toma y el aliviadero deberán ser concluidos, y en ese momento, el río pasará por su eje original, mediante ductos construidos debajo de esta última estructura funcional de la Central. Estos trabajos sufrieron un atraso de ocho meses y era necesario resolver esta situación, para recuperar el tiempo perdido, y entrar en programación. En caso contrario, el segundo desvío del río debería esperar el próximo verano, agregando un atraso de seis meses más para levantar el embalse.

Nuestro equipo de trabajo, determinó entre otras soluciones, la construcción de una nueva ataguía, llamada la Ataguía B, para despejar más área de construcción y ejecutar más obra en paralelo. Con esto, independizamos una sección aguas arriba que nos permitió construir la antecámara de la estructura de toma y el aliviadero en paralelo. Construidos los 18 ductos en la parte inferior de éste, procedimos a cerrar el boquete

por donde pasaban las aguas del primer desvío y colocamos la Obra en programa. El costo financiero de esta ataguía, representó sólo el 1% del costo derivado del consumo equivalente en generación térmica requerido para cubrir el 12% de la demanda nacional.

Ahora bien, así como fue relevante la sincronización de una Obra frente al comportamiento del Clima, hoy más que nunca considero que deba prestarse mucha atención a la sincronización de la producción energética del Sistema Eléctrico Nacional, en el marco de las consecuencias que trae consigo el Cambio Climático. Pero nuestro enfoque no coincide con la instalación de la generación termoeléctrica, por lo explicado en el capítulo anterior. El enfoque es otro, donde la solución no se corresponda con mantener la misma causa que produce el efecto que bien queremos mitigar.

2.2 UNA HERRAMIENTA METODOLÓGICA PARA SUPERAR LA CONTRADICCIÓN ONTOLOGICA.

Mi participación de la ejecución de los trabajos del proyecto Caruachi, dejó en mí, múltiples experiencias, entre las cuales, la valiosa experiencia de la sincronización, la cual puede ser contada entre los recursos gerenciales para la solución de problemas, que en mi caso, se trató de resolver el atraso en una obra de gran magnitud. Basado en esta experiencia, el paso siguiente es ubicar y luego aplicar, una metodología que oriente la solución del problema del suministro eléctrico en el país, dado que aún, en presencia de abundantes lluvias, el servicio eléctrico se ha visto interrumpido.

En este sentido, en el año 2017 se presentaron en Venezuela, más de 18 mil fallas⁽¹⁾, sin la presencia del fenómeno *El Niño*, y adicionalmente se estableció al siguiente el año, un nuevo plan de racionamiento para los Estados Mérida, Táchira, Portuguesa, Trujillo y Alto Apure⁽²⁾, debido a la reducción de los aportes que garantizan el volumen de operación de los embalses de las centrales hidroeléctricas de San Agatón y La Vuelta ubicados ambos en el Estado Táchira y al sur del Estado Mérida, respectivamente.

Ante esta situación, es ampliamente difundido en el Sector, que la solución se basa en hacer crecer el sector termoeléctrico, tal como lo expresa el PDSEN, y según se comentó en el capítulo anterior. Sin embargo, ante las evidencias mostradas por

estas dos fuentes consultadas, el ingreso de más y más centrales termoeléctricas no ha sido garantía de un servicio eléctrico confiable y de calidad.

Lamentablemente, se ha propuesto una solución -*la termolectricidad*- que además de violar la versión ontológica del principio de no contradicción, frente al artículo 127 de la CRBV, adicionalmente se contradice en su versión *doxástica*. Lo que queremos resaltar de este principio, es que “*nadie puede creer al mismo tiempo y en el mismo sentido, una proposición y su negación*”. El Sector, cree que puede resolver un problema con las causas que lo produce. Aunque lo declara, niega con su práctica, que los episodios de sequía extrema del año 2016 están vinculados al fenómeno El Niño, potenciado a su vez por la creciente elevación de la temperatura global. Niega en la práctica el Calentamiento Global, que conduce al desastre del Cambio Climático. El tema no es solo energía; va más allá de la preferencia por un tipo de generación frente a otra: *Hay una violación del pensamiento lógico*.

Apliquemos entonces, frente a la contradicción ya expuesta con anterioridad, el principio metodológico conocido en filosofía como “*La Navaja de Ockham*”⁽³⁾ : “...*En igualdad de condiciones, la explicación más sencilla suele ser la más probable*”.

El principio metodológico de *Ockham*, es reconocido en el mundo científico como un principio de economía. Considero que, el Sector, al tratar de liberarse del gran motor del clima, en el cual todos los sistemas biológicos estamos inmersos, realmente ha tomado el camino de mayor complicación. Al igual que en la tercera ley de Newton, a la acción, que se produce cuando al ambiente se le modifican continuamente sus variables intrínsecas de forma acelerada por actividad antropogénica, se opondrá la reacción. Con la sincronización, - la vía más sencilla- se evitará el rebote de los elementos naturales sobre nuestra civilización, impulsada por la carbonización en la producción energética, cuyas evidencias se muestran con el deshielo de los glaciares, grandes inundaciones, avance en la desertificación de los suelos y elevación del nivel del mar.

En este sentido, al contrario de implantar nuevas fuentes termoeléctricas impulsadas por energía fósil en el Sistema Eléctrico Nacional, oponiéndose al gran motor climático, se propone seguir el ritmo de ese motor, mediante la implementación de acciones que lo estabilicen, sin generar precursores que impliquen desajustes que

Luego lo harán inmanejable a escala mundial, tal como lo ha señalado el grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático o IPCC según sus siglas en inglés.

Para esto considero necesario, poner al descubierto una de las premisas subyacentes que justifican continuamente el crecimiento en la generación termoeléctrica en nuestro país: “*Que la sequía solo afecta a los embalses hidroeléctricos*”.

2.3 DE LAS PREMISAS SUBYACENTES O SUPUESTOS INNECESARIOS.

En principio, hay que señalar, que así como las centrales hidroeléctricas son afectadas por el Cambio Climático debido a la drástica reducción de los aportes hídricos en sus embalses, todas las centrales termoeléctricas, también lo serán, si sus fuentes de refrigeración y producción de vapor no están basadas en ciclos abiertos que utilicen el agua del mar. Por lo general, la matriz de opinión en Venezuela tiende a relacionar solo a la sequía, y en especial al “*Fenómeno El Niño*”, con los embalses hidroeléctricos, creando una imagen incompleta del problema, y se **constituye en la primera premisa subyacente para justificar la expansión del parque termoeléctrico de generación**, según se puede apreciar en lo señalado por el PDSEN 2013-2019⁽⁴⁾:

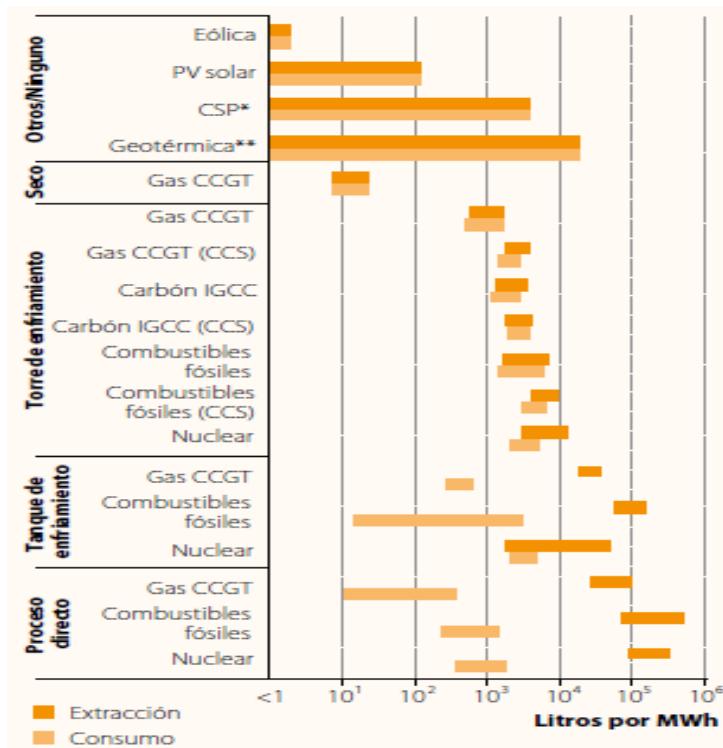
“....Otro factor que impactó de manera significativa al sector eléctrico en este período fue la ocurrencia del fenómeno del Niño durante los años 2009 y 2010. Las fuertes sequías de esos años significaron una revisión de la matriz de generación eléctrica del país, y se decide acelerar las inversiones, especialmente en el área de generación termoeléctrica, para fortalecer y diversificar la capacidad de generación nacional.”

Es importante aclarar, que toda planta termoeléctrica, basada en gas, gas oil, fuel-oil, carbón, solar, biomasa o energía nuclear, que utilice vapor en su producción, requiere agua, la cual es también debe ser utilizada en la etapa de reducción de residuos y precursores de lluvia ácida y especialmente, en lo que se refiere al proceso de refrigeración de sus procesos. Inclusive, las plantas de generación por energía solar, requieren de agua, para la limpieza de los paneles solares, espejos y cilindros

parabólicos, con el fin de evitar la caída del rendimiento de los mismos. Así mismo se requiere agua, para la producción de vapor y la torre de enfriamiento, para la elevación del gradiente de temperatura, entre los fluidos frío y caliente de la planta. Estos requerimientos se pueden visualizar en el gráfico 1.

Pero no es solo en la sociedad venezolana que se ha implantado la opinión antes señalada. También el contenido informativo que emiten las empresas internacionales de comunicación, en torno a los eventos de sequías, solo han relacionado sus efectos sobre los embalses, y la limitación subsecuente que amenaza el consumo humano, la agricultura y la electricidad.

Gráfico 1 USO DEL AGUA SEGÚN TECNOLOGÍA DE ENFRIAMIENTO

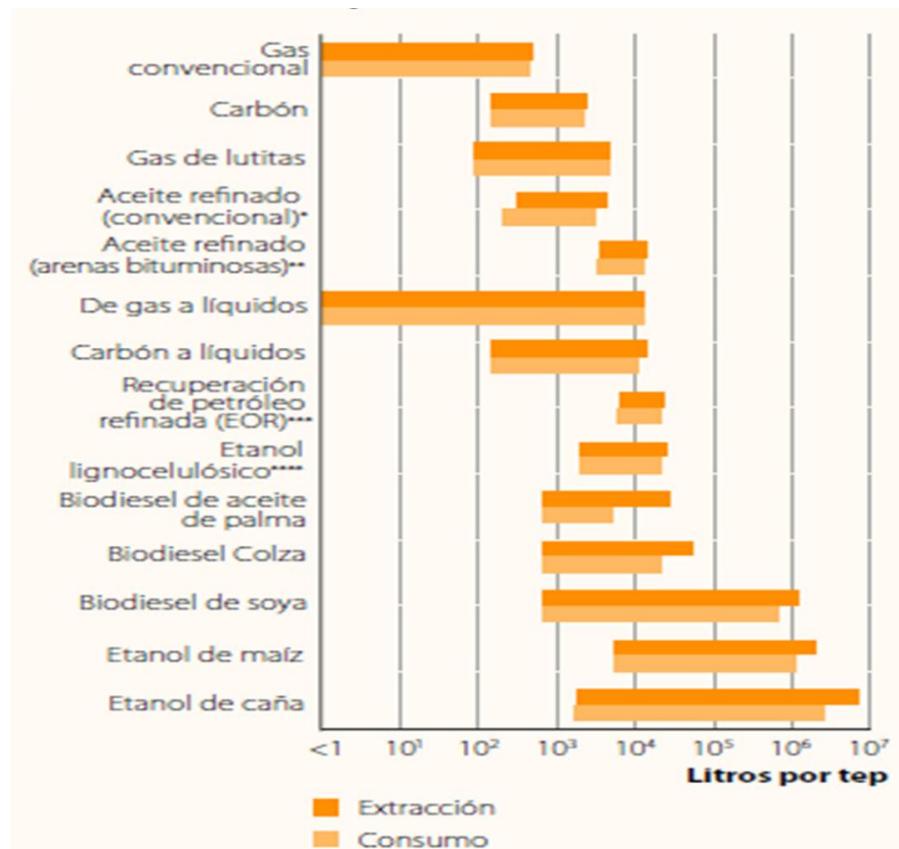


NOTA: TOMADO DE WWDR (2014). NACIONES UNIDAS AGUA Y ENERGÍA (RESUMEN EJECUTIVO).⁽⁵⁾

Pero quiero resaltar que además del agua requerida en el proceso de refrigeración de los equipos en sistemas y sub sistemas de generación, también es necesaria en los procesos de extracción y producción de la energía primaria en sí misma, tal como se muestra en el gráfico 2, por lo que se debe entender, que la producción de electricidad, sea fósil o no, requiere agua, sea cualquiera el tipo de combustible. Hasta en el caso de los biocombustibles, el agua es necesaria, y en grandes cantidades para su producción. Así mismo, en gráfico 2, se muestra algunas de las tecnologías de generación termoeléctrica las cuales consumen casi toda el agua

que se extrae para mantener el proceso de producción. Aunque los biocombustibles no consumen la totalidad del agua que se extrae, sorprende la cantidad de agua que se requiere para su proceso para obtener el equivalente energético de una tonelada de petróleo (tep).

Gráfico 2 CONSUMO DE AGUA REQUERIDA PARA LA PRODUCCIÓN DE COMBUSTIBLE.



NOTA: TOMADO DE WWDR. NACIONES UNIDAS AGUA Y ENERGÍA. DATOS Y ESTADÍSTICAS. (2014)⁽⁶⁾.

Por ejemplo, se puede observar que la producción de etanol de caña requiere el consumo de casi 10 millones de litros de agua, por el equivalente energético de una tonelada de petróleo, superando ampliamente los requerimientos de agua en las plantas termoeléctricas de gas convencional, aproximadamente 800 litros de agua por el equivalente energético de una tonelada de petróleo.

Si se quiere aumentar la producción de electricidad, y ésta es de origen termoeléctrico, la misma deberá considerar el requerimiento de agua para su producción, lo que determina su viabilidad para aquellas ciudades alejadas de las costas. Pero no todas las centrales termoeléctricas pueden ser implantadas a la orilla

del mar, porque deben tener en cuenta el costo asociado de transmisión para llevar la energía producida a las grandes ciudades ubicadas hacia el interior de la geografía nacional, y simultáneamente, considerar el costo de transporte que implica llevar la energía primaria (diesel, fuel-oil, gas, carbón) a la Central. Entonces, la localización del agua se convierte en un importante decisorio para el proyecto, ya que deberá ser suministrada desde un acuífero, un lago o un río, para ciudades alejadas del suministro de agua del mar.

De hecho, según la publicación *Open Course Ware* de la Universidad de Cantabria, muestran que para cada desarrollo termoeléctrico, a ciclo combinado, que alcance los 400 MW de generación eléctrica, se requerirá el consumo de 435 m³ de agua/hora⁽⁷⁾, que en 24 horas de generación se convierten en 10.440.000 lts/día.

Si consideramos que el gasto medio requerido por una persona, determinado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), es de 50 litros/día, la cantidad que una central termoeléctrica de esta potencia retira de un acuífero o del ambiente, es equivalente al consumo de 208.800 personas/día. En caso de una central térmica convencional a vapor, el consumo será el doble, es decir 420.000 personas/día.

Esta magnitud no es nada despreciable. Por ejemplo, se determinó que la población censada del Estado Mérida en el año 2011 fue de 828.592 habitantes⁽⁸⁾, por lo cual, al considerar un programa de solo 400 MW, se retiraría de un acuífero lo necesario para el 25% de esa población por año, en el caso más favorable. La importancia del agua es tan relevante en la generación termoeléctrica, que se necesitarán entre 12.000 y 24.000 litros de agua al año, para producir, mediante este tipo de fuente, la energía necesaria para mantener encendido un bombillo de 60 W, 24 horas (al año), según los cálculos de la Universidad de Virginia⁽⁹⁾. Entonces, el uso de un solo bombillo de 60 W, desde un primero de Enero, retirará el 31 de Diciembre, el suministro de agua necesaria para una sola persona ese año.

Según el mencionado informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo, *DATOS Y ESTADÍSTICAS*, de la Organización de Naciones Unidad, ONU, editado en el 2014, 90 % de la generación mundial de

electricidad se caracterizó por un consumo intensivo de agua. En dicho informe se alerta sobre la posibilidad de un creciente riesgo de conflicto entre la generación de electricidad, los otros usuarios del agua y los aspectos ambientales, y este enfrentamiento se hace más probable, en los momentos que se presente uno de estos extremos ambientales, es decir la fase caliente de del fenómeno climatológico *El Niño*, potenciado por el calentamiento global.

Hasta este momento, solo quiero resaltar, que la producción termoeléctrica además de poseer un potencial generador de precursores del Cambio Climático, a su vez está asociada a una importante capacidad extractiva del agua, que se convierte en un verdadero boomerang energético, que juega contra nosotros mismos, dado que a futuro, toda generación de electricidad termoeléctrica conduce hacia el Cambio Climático y a su vez será afectada por éste. Se requerirá cada vez de más energía para obtener agua, la cual, si esta energía es de origen termoeléctrico, los precursores de Cambio Climático afectará la disposición de la misma.

Si a esto se le añade el crecimiento poblacional de las ciudades, habrá que ubicar el agua en sitios cada vez más lejos. Una breve mirada a la figura anexo2, que toma como ejemplo la ciudad de Caracas, que en los momentos actuales, requiere ser surtida de embalses ubicados en los Estados Miranda, y en los límites de los Estados Aragua y Guárico. Reducción del agua local, hay que ubicar agua cada vez más lejos, mayor consumo de energía.

Dado que no es comunicacional ni se expresa públicamente la condición entre la producción de agua segura para el consumo humano, con la energía requerida para su almacenamiento, tratamiento y transporte; y en especial, la competencia que sobre este recurso hace la termoelectricidad, puede concluirse que, *no es significativa para el Sector, la relación entre la producción de agua tratada y la energía termoeléctrica requerida, por lo que se constituye en la segunda premisa subyacente para justificar la expansión del parque termoeléctrico de generación.*

En relación a la producción eléctrica, el Cambio Climático a nivel mundial, se presentará en algunas regiones a favor y en otras en contra, especialmente para aquellas economías donde la hidroelectricidad tiene un importante peso.

Según se muestra en los estudios realizados por la Universidad de Ciencias y Tecnología de Noruega, Venezuela será afectada entre un 10% a un 15% en la reducción de su producción de energía eléctrica en el año 2050, lo que hace necesario que el Sector se anticipé para esta situación. (Ver figura 14).

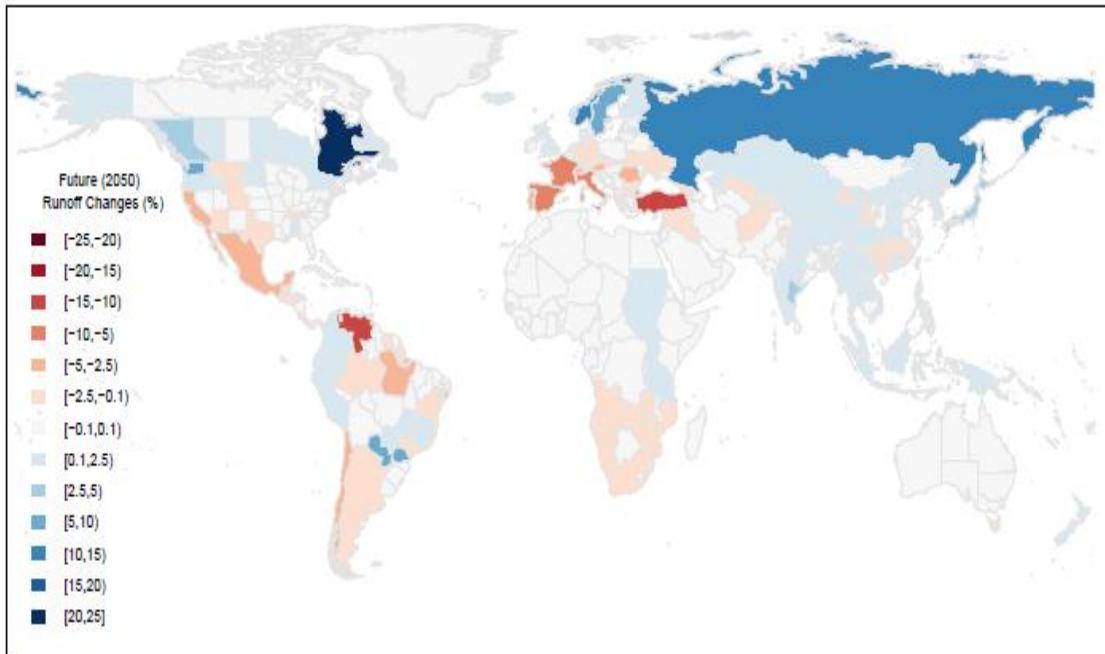
Pero debe dársele un carácter de urgencia, dado que, a 34 años antes del 2050, los episodios de sequía experimentados en el país en los años 1997-1998, 2009-2010 y 2015-2016, superaron los porcentajes indicados en este pronóstico.

De hecho, en el año 2016, la principal fuente de electricidad en Venezuela, la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar, ubicada en Guri, estuvo a 1,60 metros del colapso, (menos de una semana de producción), lo que hubiera implicado una afectación cercana al 70% de la producción energética nacional. Entonces, el 2050 será verdaderamente catastrófico para la generación hidroeléctrica de país, en el caso que el modelo haya subestimado el impacto en las sequías extremas para el área geográfica donde se ubica las cuencas del Orinoco y Gran Sabana, que surte al gran embalse de Guri.

Entre las estrategias posibles, para prepararnos ante este posible escenario, se propone en este Libro, aumentar los acumuladores hídricos nacionales, pero direccionado esta propuesta a su vez, hacia el cumplimiento de los compromisos internacionales sobre el desarrollo de energías limpias.

Esto puede lograrse, al comparar la producción energética de dichos acumuladores con la producción de determinada planta térmica y hacemos un balance. Cuando el balance energético resultante iguale totalmente la producción de la termoeléctrica seleccionada, se habrá producido una disminución de los precursores de Cambio Climático que produce el Sector, porque el embalse se ha establecido como un disuasivo para ese tipo de generación. En términos prácticos, la compensación se realizará mediante la colocación de una oferta de energía limpia de igual magnitud a la energía fósil disponible.

Figura 14 CAMBIOS PROYECTADOS (%) EN LA GENERACION POR EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO AÑO 2050



NOTA: TOMADO DE: *energies* 2012, 5 (2012)⁽¹⁰⁾

Entonces, presentamos como alternativa, la progresiva construcción de **EMBALSES COMPENSADORES DE EMISORES DE CO₂ DE ORIGEN TERMOELÉCTRICO**, lo cual desarrollaré en un estudio posterior, y tal como el nombre lo indica, la propuesta reconoce que se debe acumular agua, pero incluyendo en su estructura de cálculo, un criterio estandarizado relacionado con la compensación del potencial de producción de emisores que significa una Central termoeléctrica frente a una producción energética igual mediante energías limpias.

Esta propuesta ofrece la oportunidad de evitar que el parque de generación venezolano agregue gases de efecto invernadero, (GEI), reconocidos como agentes desequilibrantes de los parámetros climáticos, tales como la temperatura, las precipitaciones y la nubosidad, y en consecuencia, responsables de la afectación de la acumulación hídrica de los embalses de las centrales hidroeléctricas.

Quiero proponer entonces, iniciar la sincronización Sistema Eléctrico Nacional, comenzando trabajar sobre su extremo húmedo del clima, aprovechando el excedente energético por la presencia de *La Niña*. A su vez, si el Sector ya se ha familiarizado con

los efectos sobre la electricidad de la realidad de *El Niño*, existen tecnologías limpias para trabajar sobre este efecto -desde la mirada de la generación de bloques de energía-, por ejemplo, utilizar la generación solar concentrada (CONCENTRATING SOLAR POWER, CSP), además de las granjas fotovoltaicas.

Considero que es tiempo de pensar en una *Generación Distribuida* limpia, mediante la instalación masiva de paneles generadores de energía solar fotovoltaica (*ENERGY SOLAR PHOTOVOLTAIC PLANT*), lo que se tratará más adelante.

Simultáneamente, también es necesario iniciar los estudios relacionados con la tecnología de integración que haga posible contar de forma segura con la energía que extremos climáticos pueden ofrecer, según se va avanzando en la instalación de nuevas infraestructuras de generación limpia basado en estos extremos. Esto es requerido, por el conocido fenómeno de intermitencia, dado que la energía primaria como irradiación solar y viento, son dependientes de los parámetros climáticos, lo que realmente constituye la principal incomodidad que se tropiezan los desarrolladores de las tecnologías ecológicas y que afecta el proceso de producción. Las mismas centrales hidroeléctricas de bombeo pueden ser analizadas como un componente esencial del grupo de tecnologías limpias de integración, frente a la generación eólica y solar fotovoltaica o concentrada y se tratará en el próximo capítulo.

Lo anteriormente expuesto se puede considerar una elegante solución, montado sobre las olas del biorritmo de la naturaleza, potenciando la producción eléctrica en presencia de *El Niño* y reservando grandes volúmenes de energía hidráulica en presencia de *La Niña*, y así, alejarnos progresivamente de la contradicción que ya hemos señalado en el ámbito de nuestra matriz energética, donde el clima no sean visto como una amenaza, por el contrario, sea considerados una fuente abundante de recursos energéticos.

Es necesario entonces, que Sector tenga un enfoque de la actuación binaria del clima y aproveche este comportamiento acoplándose a él, con los elementos que trataremos más adelante. Es necesario que el Sector mire “*la cuerda que mueve el*

péndulo del Clima”, para determinar el provecho energético de los extremos climáticos *El Niño-La Niña*.

Retomando la escuela de Ockham, su principio establece un método que se supone válido para canalizar mejor los esfuerzos en los primeros estadios de una investigación. Dado que nuestra propuesta busca anteponerse a una violación del pensamiento lógico, hemos considerado pertinente, primeramente exponer una solución desde el sentido común, reduciendo hipótesis hasta encontrar la más racional, lo que le permitirá al Sector sujetarse a un ejercicio mejora continua. En este sentido, no es racional añadir más causas a la solución de un problema.

Añadir más centrales termoeléctricas para solucionar la crisis eléctrica derivada por el Cambio Climático, no tiene una base racional, es un acto de desesperación, por lo que puede concluirse que, con la disminución de la participación hidroeléctrica en la matriz energética venezolana, no es que se va a producir una disminución de la dependencia hidrológica del SEN, lo que realmente va a conducir esta premisa, es a la dependencia del país por la termolectricidad, favoreciendo las causas del Cambio Climático.

Por lo antes expuesto, “*la reducción de la dependencia hidrológica del SEN*”, que según mi criterio, significa que el PSDEN busca independizarse del clima, y que en sí misma se constituye en ***la tercera premisa subyacente para la expansión del parque de generación termoeléctrica***, lo que traerá como consecuencia, la progresiva carbonización de la matriz de la generación eléctrica venezolana, la reducción de los humedales y cuerpos de agua y una continua aproximación al quebrantamiento de acuerdos y pactos internacionales en lo que al ambiente se refiere.

2.4 LA IGUALDAD DE CONDICIONES.

Por un lado, el PDSEN propone la expansión del parque termoeléctrico para fortalecer y diversificar la matriz de generación venezolana. Por su parte, este Libro propone la sincronización del parque de generación eléctrico venezolano al gran motor climatológico del país. Sin embargo, hace falta identificar, cuales son las realidades que

hace que cada tipo de generación aquí tratada, se iguale para la aplicación de la metodología ya mencionada. El Autor, considera que, de todas las realidades posibles, existe una herramienta básica, que sin detrimento de otras, permite entrar en esa técnica de igualación. Esa herramienta es el COSTO NIVELADO⁽¹¹⁾.

El Costo Nivelado, o LCOE: (Levelized Cost of Energy), es una herramienta muy útil que permite llevar a una unidad común, cualquier tipo de proyectos de generación con diferentes tipos de combustibles y energías de operación. Inclusive, responde a comparar entre sí, proyectos con distinta capacidad de potencia. En otras palabras, lleva a todas las tecnologías de generación en un punto común, valorando económicamente el costo de un sistema de generación, mostrando su competitividad entre sí. Viene dado por la siguiente fórmula⁽¹²⁾:

$$\text{LCOE} = \frac{\text{Costo Total Vida Útil}}{\text{Generación Total de Energía}} \text{ [USD/MWh]}$$

El costo total de vida útil a su vez está determinado por los costos fijos y los costos variables. En los costos fijos están principalmente, los préstamos, el mantenimiento no asociado a la generación, los costos del personal, seguros, impuestos y costos de seguridad. En los costos variables, se incluye el mantenimiento directamente vinculado con el proceso de generación de energía, tales como el combustible, el personal adicional, y los costos de transmisión fundamentalmente.

Es importante resaltar, que el precio nivelado entrega un valor único, cuya interpretación indica el precio mínimo en que se pueda vender la energía producida por una central. El precio nivelado es el precio mínimo a vender la energía para obtener el retorno del capital y ganancias. Si el precio de venta es mayor del precio nivelado, se obtendrá una rentabilidad mayor a la esperada.

En la Figura 15 se muestra el costo nivelado global de la electricidad a partir de tecnologías de generación renovable a escala de servicios públicos, durante el lapso 2010-2017. Se comparan las energías renovables entre sí, y simultáneamente con el

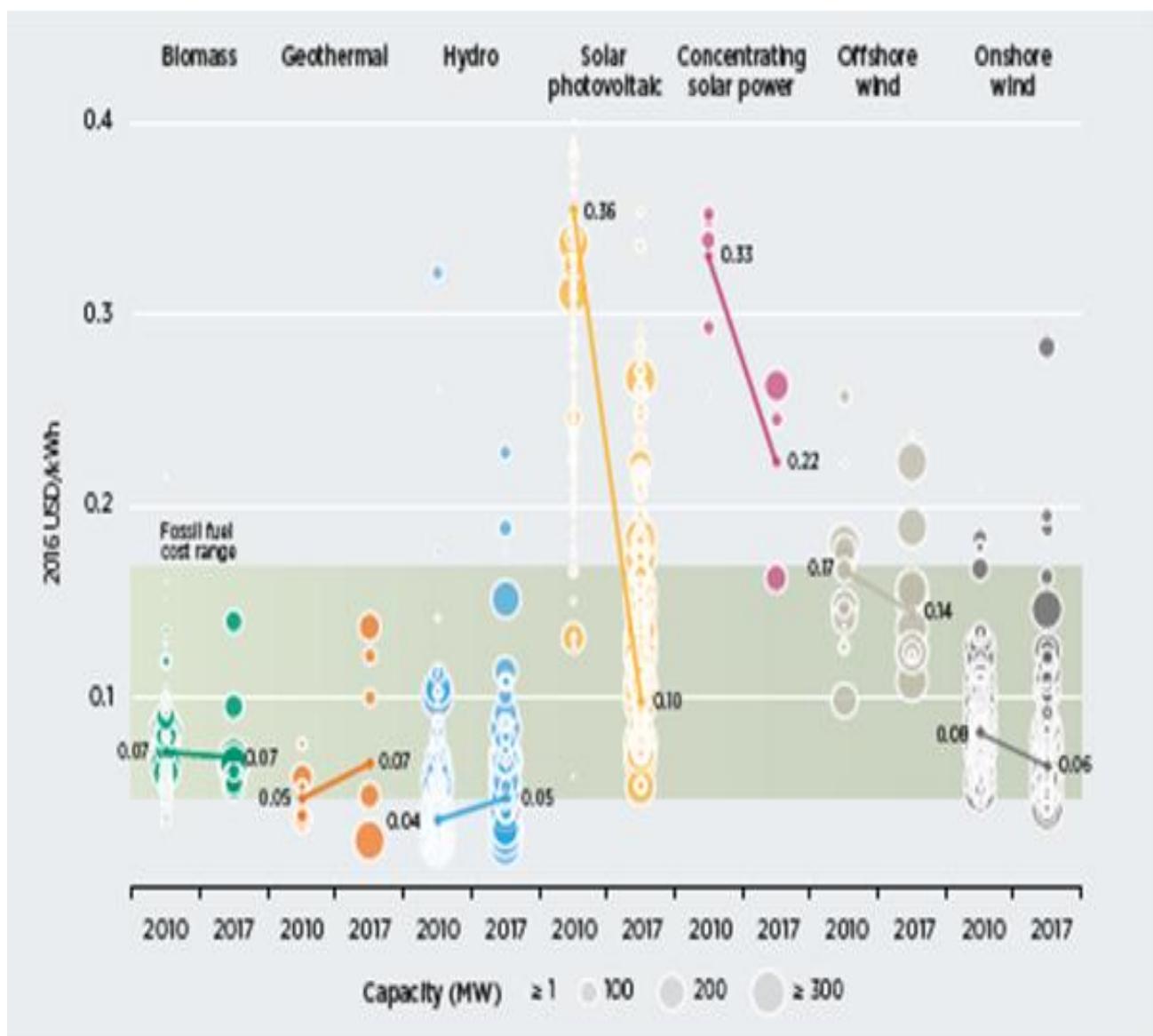
rango de precios del combustible fósil. El diámetro del círculo representa la magnitud de del proyecto, su potencia, con su centro en el valor del costo de cada proyecto en el eje "Y". Las líneas gruesas son el valor LCOE promedio ponderado global para las plantas encargadas para ese año. Para la elaboración de este gráfico, la fuente tomó un costo de capital aproximado del 7,5% para los países de la OCDE y para China, el 10%. La banda representa el rango del costo de producción de electricidad, mediante combustibles fósiles.

En la figura 15, se puede observar, que los costos de la electricidad generada por todos los tipos de energía renovables indicados, entraron en el rango de precios nivelizados internacionales de la electricidad generados por combustibles fósiles. Además de los proyectos hidroeléctricos, existen proyectos de biomasa, geotermales, fotovoltaicos, eólicos típicos y costa afuera, con costos nivelizados inferiores al precio mínimo internacional del rango de costo de combustibles fósiles. Llama la atención, la velocidad de decrecimiento de los costos ponderados globales de los proyectos fotovoltaicos, y en segundo lugar, la caída de este tipo de precios para la energía solar concentrada.

Por lo antes expuesto, se puede concluir, que en general, existe igualdad en los costos nivelizados internacionales de la energía producida por fuentes limpias con las fuentes de combustibles fósiles. Como se muestra en la figura 15, el costo nivelizado de la energía eléctrica de un proyecto de esta naturaleza de 100 MW ya ingresó en la banda de los costos nivelizados de la energía eléctrica de origen fósil, y los costos nivelizados de la energía solar fotovoltaica han llegado al límite inferior.

Otro aspecto resaltante en la figura 15, es que, derivado de la velocidad de decrecimiento de los costos de las tecnologías solares, se espera que los grandes proyectos de esta naturaleza se acerquen progresivamente al límite inferior del costo nivelizado de la energía eléctrica producida por combustibles fósiles. Si a esto se le añade, las ventajas ecológicas y los riesgos relacionados con las nuevas y cada vez más rigurosas legislaciones por el uso de combustibles fósiles, y variación de los precios del petróleo y sus derivados, se comprenderá el rápido crecimiento de estas tecnologías en el mercado de la energía eléctrica.

Figura 15 COSTOS NIVELIZADOS DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA SEGÚN EL TIPO DE FUENTE DE PRODUCCIÓN.



NOTA: TOMADO DE IRENA, *RENEWABLE COST DATABASE* (2018)⁽¹³⁾.

2.5 LA EXPLICACIÓN MÁS SENCILLA.

Al principio de este Libro, se incluyó la definición del patrón climatológico del Océano Pacífico Ecuatorial, denominado *El Niño-Oscilación del Sur, ENOS, (El Niño-Southern Oscillation, ENSO por sus siglas en inglés)*. Tal como se describió, este ciclo tiene dos extremos, una fase cálida, conocida como “*El Niño*” y una fase fría, denominada “*La Niña*”, lo que abre la posibilidad de sincronizar el Sistema Eléctrico Nacional al motor climático, tomando como base este comportamiento binario.

Este fenómeno de Oscilación Sur, ENOS, consiste en el calentamiento inusual de las aguas del Pacífico Ecuatorial, y su fase cálida recibe el nombre de “*El Niño*”, porque el fenómeno se inicia aproximadamente en el tiempo de Navidad, en el Océano Pacífico, sintiéndose sus efectos, fundamentalmente, en la costa oeste de Sur América.

Hay que aclarar que en Venezuela, no se produce el fenómeno, solo se presentan sus efectos. El fenómeno es en el Océano Pacífico, y luego, con el aumento de la temperatura, el cambio de la fuerza y circulación de los vientos, provoca consecuencias en todo el sistema climático global. En nuestro país, se observa como un incremento de temperatura, que hace que aumente considerablemente la demanda eléctrica, que a su vez impacta negativamente en la capacidad de generación hidroeléctrica, por el déficit de lluvias. Al presentarse los vientos alisios fuertes desde el oeste, las temperaturas ecuatoriales disminuyen y comienza la fase fría, denominada La Niña. Los efectos de la expansión del fenómeno *El Niño*, duran meses.

Es importante señalar que el clima es un conjunto de acciones complejas que influye en la vida del planeta. De una u otra forma, todos los seres biológicos estamos sustentados y sometidos a él. Es la interacción del conjunto de condiciones climáticas, tales como temperatura, velocidad del aire, presión atmosférica, precipitación y humedad, lo que definirá su continuidad en un determinado espacio geográfico. La emisión de gases de efecto invernadero, modifica estas condiciones y es por esto, que podemos eliminar la premisa, que expone a la termoelectricidad como la vía para independizarnos energéticamente de la hidrología. Hasta ahora esta premisa ha demostrado ser un supuesto innecesario para llegar a la solución real del problema energético en Venezuela, lo que es también válido a nivel mundial. Por ese camino, no se superará la condición de dependencia del SEN a la hidrología. Colaborará para modificarla, como consecuencia del Calentamiento Global, a niveles que pueden ser inviable la biótica que permite la vida, aunado a las pérdidas económicas asociadas a su progresivo avance. El Cambio Climático es sinónimo de Calentamiento Global, causado por las actividades humanas, que de forma directa o indirecta están modificando la composición de la atmósfera. El crecimiento de la termoelectricidad extraerá cada vez más agua, que a su vez la reducirá por las consecuencias del

calentamiento global. Una planta termoeléctrica no es independiente de la hidrología, depende de ella, para aquellas construidas en sitios alejados de las costas marinas.

Ante igualdad de condiciones, (en nuestro estudio del tipo financiera), es más sencillo, acoplarse al clima que oponerse a él, en la búsqueda de una supuesta independencia hidrológica que nunca llegará. Este Libro propone una solución técnica para superar nuestra contradicción ontológica, basado en el aprovechamiento del extremo húmedo del clima, en la progresiva construcción de *Embalses Compensadores de Emisiones de CO₂ de Origen Termoeléctrico*, y tal como su nombre lo indica, se reconoce que es necesario acumular agua, con el añadido de considerar en su estructura de diseño, la eliminación de la causa que considera la reducción energética de la hidroelectricidad, es decir, compensar cualquier fuente de emisión de gases de efecto invernadero. Igualmente se propone entonces en este Libro, la utilización de la energía solar en sus variantes fotovoltaicas y concentradas, en el extremo cálido del clima, como se verá más adelante.

Para concluir este capítulo, doy las gracias a la navaja de Ockham, que me condujo a identificar los supuestos que se sustenta el Sector, que son innecesarios como solución para responder acertadamente ante los efectos del fenómeno El Niño. Gracias a la Navaja de Ockham, se produjo un desplazamiento de mis coordenadas intelectuales, reconociendo que, en el ejercicio de una praxis que logró en el pasado la sincronización de una obra al clima, a los años manifiesto una propuesta de solución a un problema macro, con la sincronización de todo un Sistema.

CAPÍTULO III: EL ENFOQUE BINARIO DEL CLIMA

"Produce una inmensa tristeza, pensar que la Naturaleza habla mientras el género humano no la escucha"
VÍCTOR HUGO

Este capítulo es un escrito basado en el reconocimiento del inmenso potencial energético que presenta el comportamiento binario del Clima, en lo que se refiere a su extremo húmedo y su vinculación con la escalera de presas hidroeléctricas en el río Caroní, en el Estado Bolívar, Venezuela, con unas características únicas en lo que se refiere a la posibilidad de extracción energética por kilómetro de recorrido.

Pero el reconocimiento de este potencial tiene como base, la praxis de mi trabajo, donde reconocí lo valioso de sincronizar con el clima, una obra de construcción, la central hidroeléctrica Caruachi; y más adelante, se reafirma esta experiencia con mi participación en los trabajos inherentes a recuperar la funcionalidad de las compuertas de las descargas de fondo de la Presa Borde Seco, macrocomponente esencial del embalse La Vuelta, de la central hidroeléctrica Fabricio Ojeda.

En este sentido, pude experimentar las consecuencias del despliegue de las fuerzas impulsadas por la acumulación excesiva de las aguas y como sincronizar nuevamente una obra al clima y tomar las decisiones para resolver sus efectos sobre una gran obra de generación.

Adicionalmente, voy mostrando los elementos de convicción que demuestran los indicios del comportamiento del clima, en un momento extremo muy cálido, y luego va regularmente va acompañado con un episodio muy húmedo, devolviendo con fuerza la evaporación masiva que el Cambio Climático va realizando globalmente.

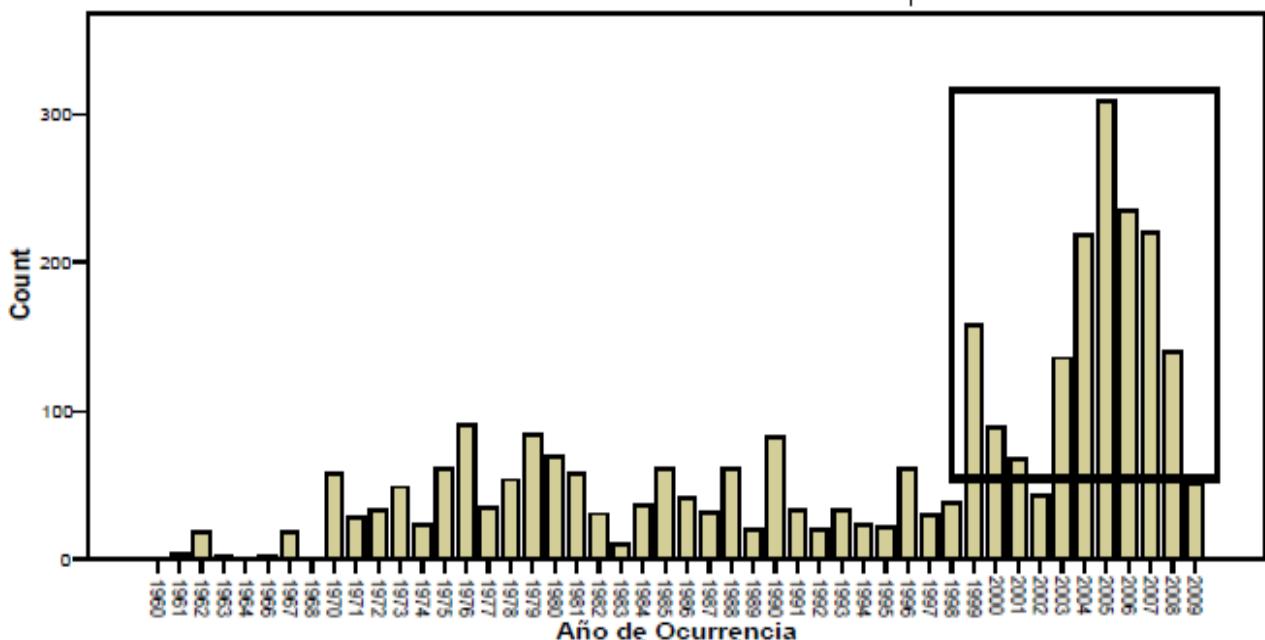
Tal como se solicitó en el capítulo anterior, donde recomendamos al Sector atender el modelo expuesto por la Universidad de Ciencias y Tecnología de Noruega; en el presente capítulo se expone que el Sector analice el impacto del Cambio Climático en la generación eléctrica mundial al potenciarse el extremo húmedo del Clima, tal como se demostró en la publicación de la Dra. Hui Su de la Universidad de California. En este estudio, se reevaluó el modelo de estrechamiento de las Células de Hadley, que en año 2017, que informa sobre la subestimación de las lluvias en zonas tropicales.

Lo anterior, me sugiere claramente, que estas precipitaciones masivas serán las baterías que carguen a nuevos embalses en el territorio venezolano. Entonces debemos estar preparados para ello. Hasta la fecha, en general la presencia de las lluvias para el Sector, se relaciona con la restitución de los niveles del embalse. Según se comprenderá en este Libro, las grandes precipitaciones también pueden resguardarnos de los efectos de El Niño. Empecemos a sincronizar.

3.1 NO ES SOLO SEQUÍA. EN VENEZUELA SE HAN PRESENTADO GRANDES PRECIPITACIONES.

En Venezuela no solo se han sufrido grandes sequías. Igualmente, la geografía del país ha experimentado grandes precipitaciones también. En este sentido, se han presentado importantes eventos de inundaciones y deslaves, y es a partir del año 1999, donde la concentración de ocurrencias se han venido presentando con mayor intensidad y continuidad, al comparar datos obtenidos desde 1960, según lo expuesto en el gráfico 3, por los ingenieros (Campos y Bravo, 2011)⁽¹⁾.

Gráfico 3 CONCENTRACIÓN DE INUNDACIONES O DESLAVES NÚMERO DE EVENTOS



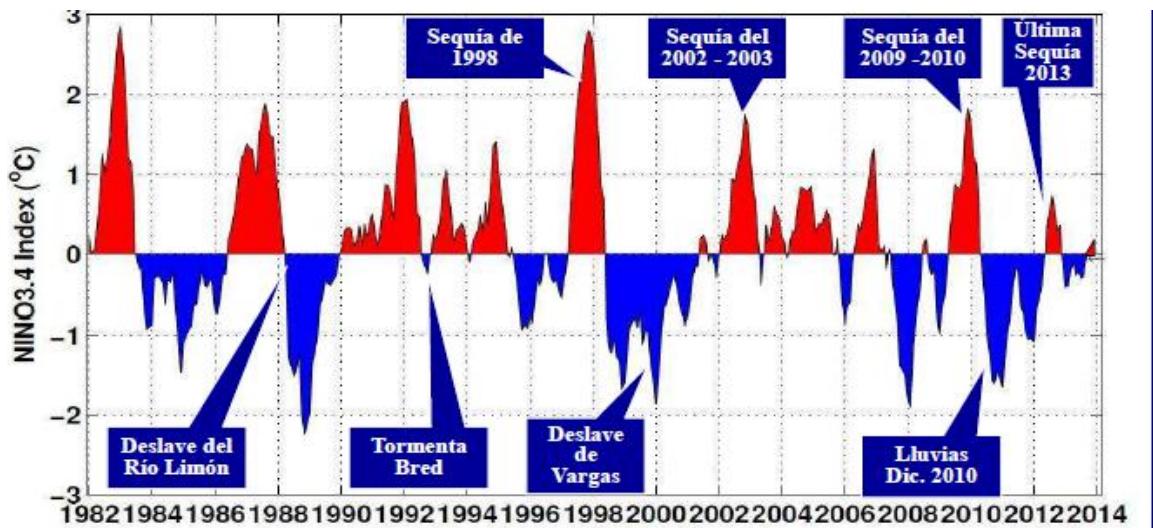
NOTA: TOMADO DE: PRESENTACIÓN DE JOSÉ CAMPOS Y LELYS CAMPOS. USB (2011).

Lo anterior puede ser un indicio que guíe la elaboración de una estrategia para romper el ciclo que justifica la inserción de las centrales termoeléctricas y profundiza la contradicción ontológica que ya he explicado. Hay que reconocer que el fenómeno *El Niño*, se presenta en su expresión más rigurosa entre 6 a 8 años, y que a este comportamiento extremo, es luego acompañado regularmente por *La Niña*, con grandes precipitaciones, tal como lo muestra el gráfico 4, tomado de la presentación: *El Fenómeno El Niño y su Influencia sobre la Problemática Eléctrica en Venezuela* de (PÁEZ-PUMAR, 2014)⁽²⁾, lo que puede ser convertida en fuente de abundantes aportes

energéticos si nos preparamos para ello. En otras palabras, una oportunidad para la acumulación primaria hidroeléctrica para compensar los efectos de la sequía extrema.

En el mencionado gráfico, se indica el comportamiento histórico de las temperaturas superficiales del mar, la presencia de extrema sequía y la presencia de eventos asociados con grandes lluvias en Venezuela hasta el año 2014, demostrándose un comportamiento binario, que si bien están presentes importantes episodios de sequía, también concurren eventos opuestos y también extremos, generando efectos tales como los indicados y en las presentes lluvias del año 2017, que afectaron a los Estados Amazonas, Bolívar y Delta Amacuro⁽³⁾.

Gráfico 4 COMPORTAMIENTO BINARIO DEL CLIMA EXTREMO FENÓMENOS EL NIÑO Y LA NIÑA



Nota: Tomado de la presentación EL FENÓMENO EL NIÑO Y SU INFLUENCIA EN LA PROBLEMÁTICA ELÉCTRICA EN VENEZUELA (2014).

Recuerdo los grandes efectos de las lluvias sobre la Presa Borde Seco, una de las principales macrocomponentes que permitieron el levantamiento del nivel del agua del embalse La Vuelta, perteneciente a la Central hidroeléctrica "Fabricio Ojeda". Con mi experiencia previa en los trabajos de construcción de las Centrales Caruachi y Tocoma, fui asignado a esta importante Obra hidroeléctrica, con el Cargo de Líder para ejercer funciones de Dirección, Ingeniería, Ejecución y Desarrollo de Obras en la Región Andina.

La Central hidroeléctrica Fabricio Ojeda es parte del diseño de un complejo hidroeléctrico formado por los aportes hídricos de una gran cuenca que da forma a los

ríos Uribante y Caparo. Se inicia en la zona alta de Pregonero, en el Estado Táchira, con la Central San Agatón (Leonardo Ruiz Pineda), llamado el Primer Desarrollo. En la zona Intermedia se tiene visualizado implantar un embalse y dos Centrales, y en la zona baja, se encuentra el tercer Desarrollo, en plena operación comercial, con la mencionada Central Fabricio Ojeda.

En el mes de Julio del año 2012, se presentaron importantes precipitaciones, en el Estado Táchira, que afectaron importantes infraestructuras relacionadas con el transporte y la comunicación con el Estado Barinas, La Troncal 5. También se vio afectada, la región limítrofe del Táchira con el Estado Mérida, que también es limítrofe con el embalse de la Central, generando el desprendimiento de una parte del equipamiento oleohidráulico, perteneciente al canal de descarga de fondo de la Presa Borde Seco. Del impacto, solo quedaron las compuertas y parte del mecanismo de levantamiento.

Al interrumpir un río mediante una presa, se quiere acumular agua para su posterior utilización. En el caso de una gran Central, la altura de la presa está relacionada con la potencia de diseño, y se diseña dicha presa para ser no ser rebosada por el río (filo de agua). La estrategia es acumular agua, para regular la capacidad hídrica y energética del río por lo menos en un año o más, según lo determinen las mediciones y modelos hidrológicos utilizados.

Sin embargo, el desarrollo de la vida debe continuar aguas abajo del sitio de colocación de la Presa. Para esto, se construye en el fondo de la misma un canal, para mantener el caudal promedio del río, tanto en sequía como en el período de lluvias. A este caudal, se le denomina *Caudal Ecológico*, estableciéndose una cantidad de agua permanente que beneficia a la agricultura, la pesca y en general, todas las actividades socio económicas. En pocas palabras, en los períodos de lluvia el embalse evita inundaciones y en la estación seca, provee agua.

En términos operacionales, la descarga de fondo de la presa cumple con la función de purgar el fondo del embalse, para evitar la acumulación de sedimentos y la

consecuente reducción del volumen del vaso del embalse. Con esto, se mantiene la vida útil del acumulador de la energía primaria de una Central.

Adicionalmente, hay una razón clave en función de seguridad. En el caso de presentarse un movimiento sísmico de importancia, la máxima apertura de la descarga de fondo determina la reducción del volumen de agua del embalse a una velocidad adecuada, protegiendo la presa y evitando la generación de un movimiento importante de masas de aguas en el caso que se presenten vaciamientos de material sólido perteneciente a laderas laterales aguas arriba de del embalse o por ruptura de sus diques.

Se me presentó entonces en el Proyecto de la Central Fabricio Ojeda, el siguiente problema. Requeríamos levantar el embalse a la par que estábamos en el proceso de instalación de las turbinas. Sería indeseable para el proyecto, que al terminar la instalación de la primera turbina, no dispusiéramos de agua para las pruebas y su posterior operación comercial. Había de intervenir rápidamente, dado que la afectación sobre el sistema oleohidráulico no permitía regular el caudal de la descarga de fondo, el excedente de agua se estaba perdiendo, y en estas condiciones, no hay volumen de operación.

Pero contar con un equipo de trabajo experto, para diseñar una estrategia y desarrollarla después fue fundamental. El tema no está vinculado a fugas que de forma natural pueden tener las Presas, y una de las herramientas de apoyo para su diagnóstico son los estudios basados en la hidrogeoquímica. Aquí el problema es mayor. Una condición de falla en el sistema electromecánico, que impide trabajar en un macrocomponente de la Central, amenazando el objetivo fundamental en el Proyecto. Tal como lo experimenté en el Proyecto Caruachi, no podíamos esperar la próxima estación seca, para implementar una solución definitiva. Implicaría un atraso, de por lo menos un año, sin incluir un escenario de escasas precipitaciones en ese año horizonte. Gracias al equipo de apoyo que se conformó con compañeros de la Central hidroeléctrica Simón Bolívar, ubicada en Guri, se diseñó una estrategia conducente a una solución parcial, con el objetivo de reactivar el sistema electromecánico. La solución partió con la instalación de un equipamiento oleohidráulico auxiliar, instalado

provisionalmente, que nos permitió manejar las compuertas de control de flujo del canal de descarga de fondo.

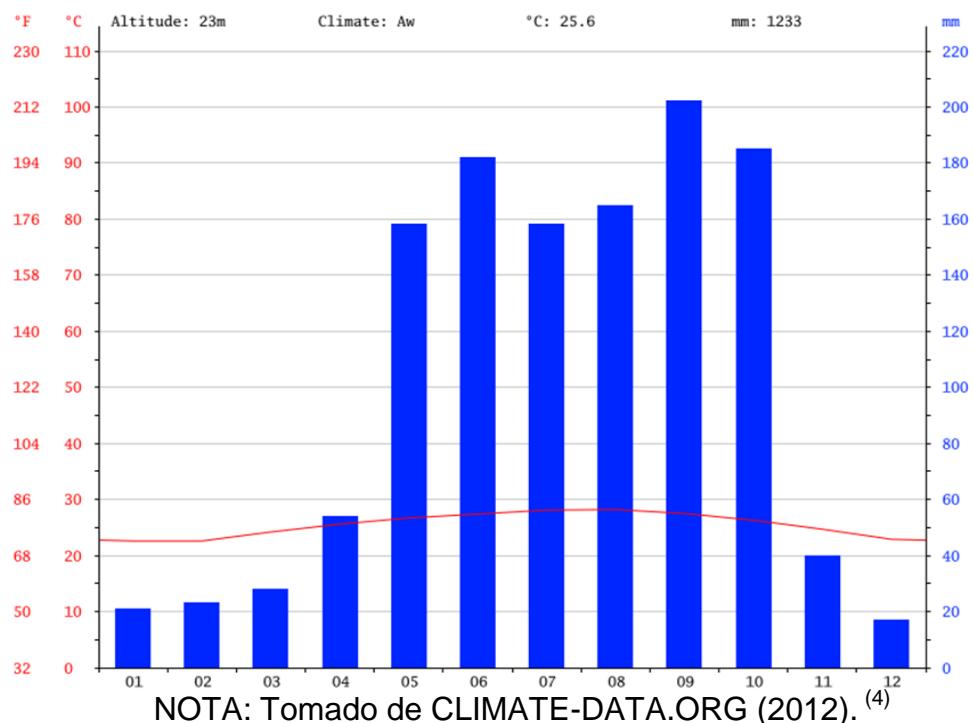
Se establecieron dos criterios de solución, que dividieron al equipo ingenieril conformado para la solución del problema: Los que opinaban que era necesario secar el embalse para reparar el canal y aquellos que proponíamos seguir una solución basado en atender el sistema electromecánico, es decir la solución parcial. La solución aprobada por mis superiores, se basó los resultados de la inspección realizada, que determinó que si bien fue impactado el concreto del canal, el mismo estaba realizando su función de diseño, desalojando un caudal inclusive menor que el caudal de seguridad en el caso de un sismo. En consecuencia, se debe actuar sobre el sistema de regulación, que nos impedía el control de las compuertas de la descarga de fondo del embalse y amenazaba la futura operación de la Central. Así, ejecutados los trabajos, en menos de un año, el embalse se recuperó completamente. La decisión fue muy acertada: En el episodio de sequía del lapso 2015-2016, se incluyó este embalse en la estrategia de operación a nivel mínimo, para apoyar la recuperación del embalse de Guri y evitar el colapso eléctrico nacional. Al llegar las lluvias en el año 2017, el Embalse La Vuelta de la Central hidroeléctrica Fabricio Ojeda, recuperó su nivel, y ascendió de 288,76 metros a 290,73 metros en 16 días. Quiero resaltar una vez más, que si bien pasamos por eventos de sequía muy importantes, también contamos con episodios muy húmedos que bien pueden ser aprovechados energéticamente.

Como quiero relacionar lo hasta aquí señalado con la importancia de aprovechar aún más el extremo húmedo del clima, veremos más adelante el comportamiento del embalse de Guri y su productividad energética en relación con los aportes registrados en el lapso 1999-2010. Sin embargo, se hace necesario previamente fijar algunos elementos relacionados con la operatividad de este embalse dado que de allí, saldrá la energía necesaria para implementar los *Embalses Compensadores de Emisiones de CO₂ de origen Termoeléctrico* en toda Venezuela, aprovechando el efecto binario del Clima, en su expresión como *La Niña*, la cual nos ayudará en el objetivo de lograr la Sincronización del Sistema Eléctrico Nacional al gran motor del Clima.

3.2 UNA BREVE EXPLICACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO DEL EMBALSE DE GURI.

En primer lugar, el potencial hidroeléctrico de este embalse es posible por el caudal promedio que aporta el río Caroní, estimado en 5000 m³/s. Las precipitaciones son intensas entre los meses de Mayo, Junio, Julio, Agosto, Septiembre, Octubre, Noviembre y Diciembre, con relativa calma especialmente en Enero, Febrero y Marzo, iniciándose el período de lluvias en la Gran Sabana, a partir de Abril. El volumen represado permite la regulación del río para tres años seguidos, y asegura un volumen turbinado de 4800 m³/s. Como dato de interés, este embalse incrementa su capacidad en 180.000 millones de metros cúbicos entre los meses de agosto a octubre. A nivel nacional, en condiciones normales se inician en el mes de mayo, según se muestra en un histograma típico de precipitaciones en Venezuela, con seis meses de lluvias a nivel nacional. Ver gráfico 5.

Gráfico 5 HISTOGRAMA TÍPICO DE LLUVIAS EN VENEZUELA

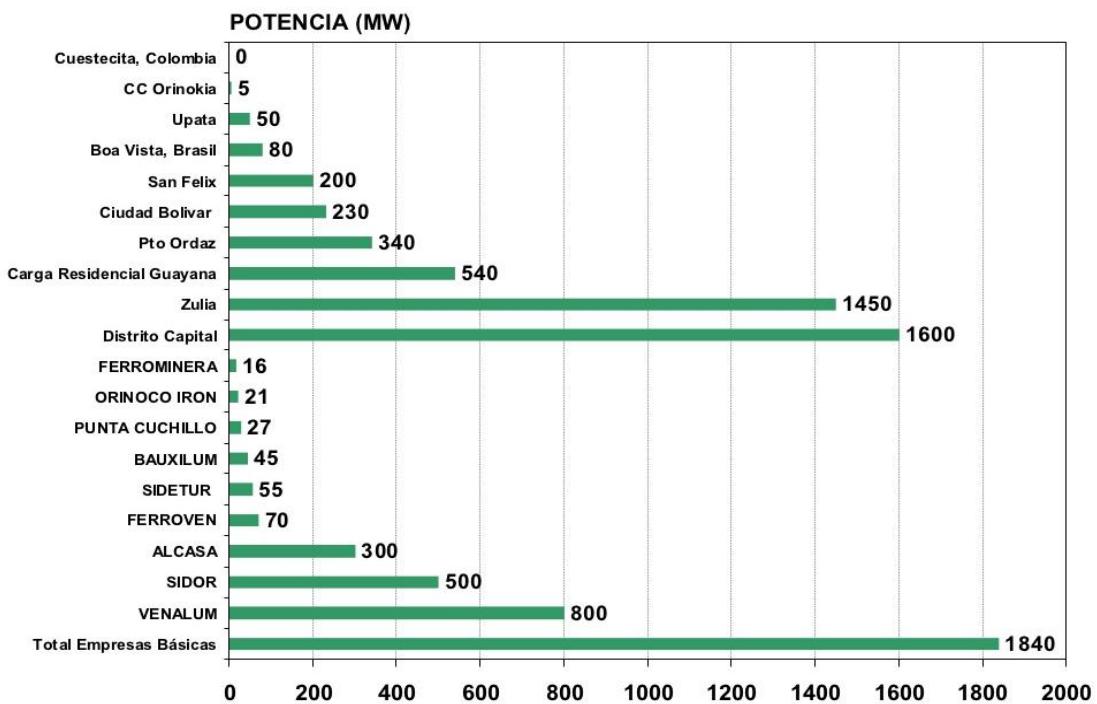


La cota de máxima operatividad es la 270 m.s.n.m. La cota 271 m.s.n.m. es la cota en la cual deben abrirse las compuestas de aliviadero para preservar la seguridad de esta central hidroeléctrica. Se genera electricidad en el volumen acumulado desde

de la cota 270 m.s.n.m hasta la 240 m.s.n.m. La cota 240 es el nivel que determina el fin de la operación de la Casa de Máquinas 2, parando las Unidades 11 a 20, quedando en reserva operativa las Unidades 13 y 14 porque el nivel de sugerencia para éstas es mayor.

En esta situación, solo operará la Casa de Máquinas I, con 10 máquinas de menor potencia, por lo cual en términos populares, la Operación de Guri termina en la cota 240, y se desconectarían 5000 MW de potencia, el equivalente a 3 poblaciones semejantes al Distrito Capital, o 9 ciudades como Ciudad Guayana o 2,7 veces la necesidad energética de todas las empresas básicas en el año 2009, tal como se puede calcular de acuerdo a los datos que aporta el gráfico 6.

Gráfico 6 POTENCIA TOTAL REQUERIDA EN LAS INDUSTRIAS BÁSICAS Y POBLACIONES EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA CENTRAL SIMÓN BOLÍVAR

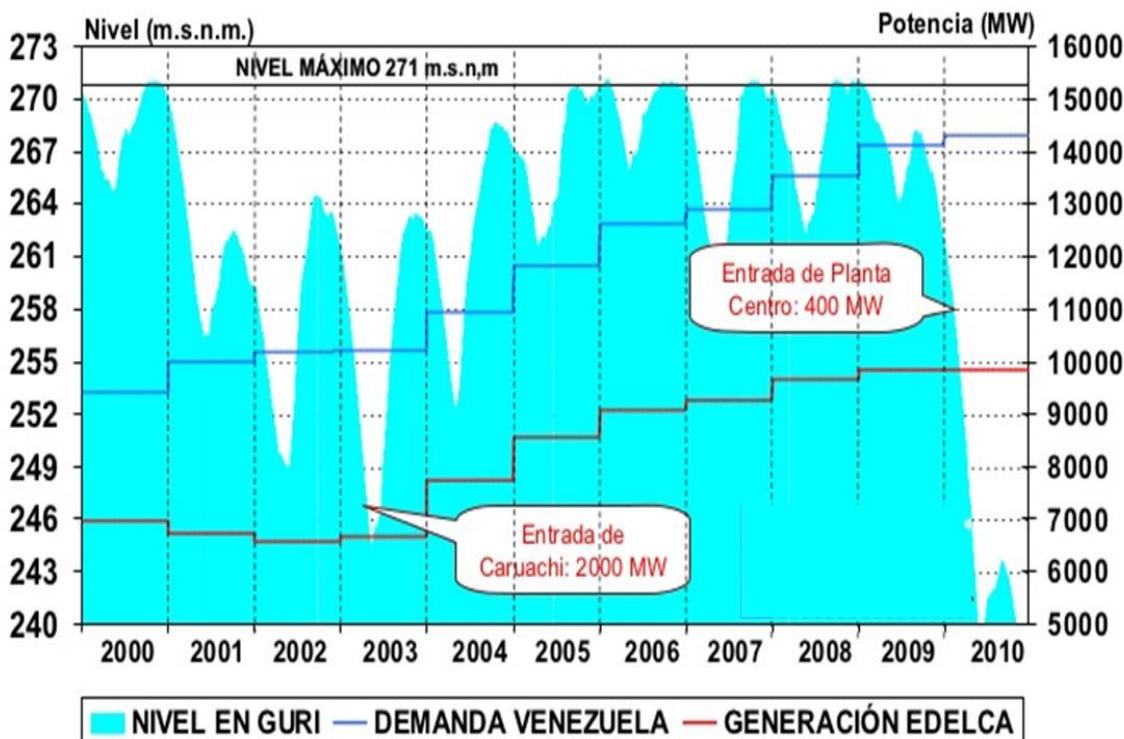


NOTA: Tomado de la presentación SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA ELECTRICO NACIONAL. EDELCA. DIVISIÓN DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE TRANSMISIÓN (2009).⁽⁵⁾

La cota 261 se le denomina la cota segura, y es la cota mínima que en el lapso de más fuerte estiaje, se esperan las lluvias y la consecuente recuperación de las reservas del embalse y seguidamente regular el río por tres años seguidos. Con esta

explicación previa, y observando el gráfico 7, aportado por la fuente señalada anteriormente, podemos determinar que en el lapso 1999-2010, se presentaron seis años con aportes máximos (1999, 2000, 2005, 2006, 2007 y 2008), y seis años con aportes que hicieron operar el embalse por debajo de la zona segura (cota 261, años: 2001, 2002, 2003, 2004 y 2010), prestando atención al comportamiento binario del ciclo, y de éstos, solo se presentaron dos eventos de caída del embalse al nivel de emergencia: años 2003 y 2010. De este gráfico 7, podemos observar lo siguiente: Primero: Tenemos un embalse con capacidad de regulación por 3 años aproximadamente. Segundo: En 10 años, se presentó un episodio en el cual se generó por debajo de la cota segura, y seguidamente a los tres años siguientes, 2003, 2004 y 2005 se llega a la cota máxima, mostrando la capacidad de regulación.

Gráfico 7 COMPORTAMIENTO NIVEL DEL EMBALSE DE GURI 1999-2010



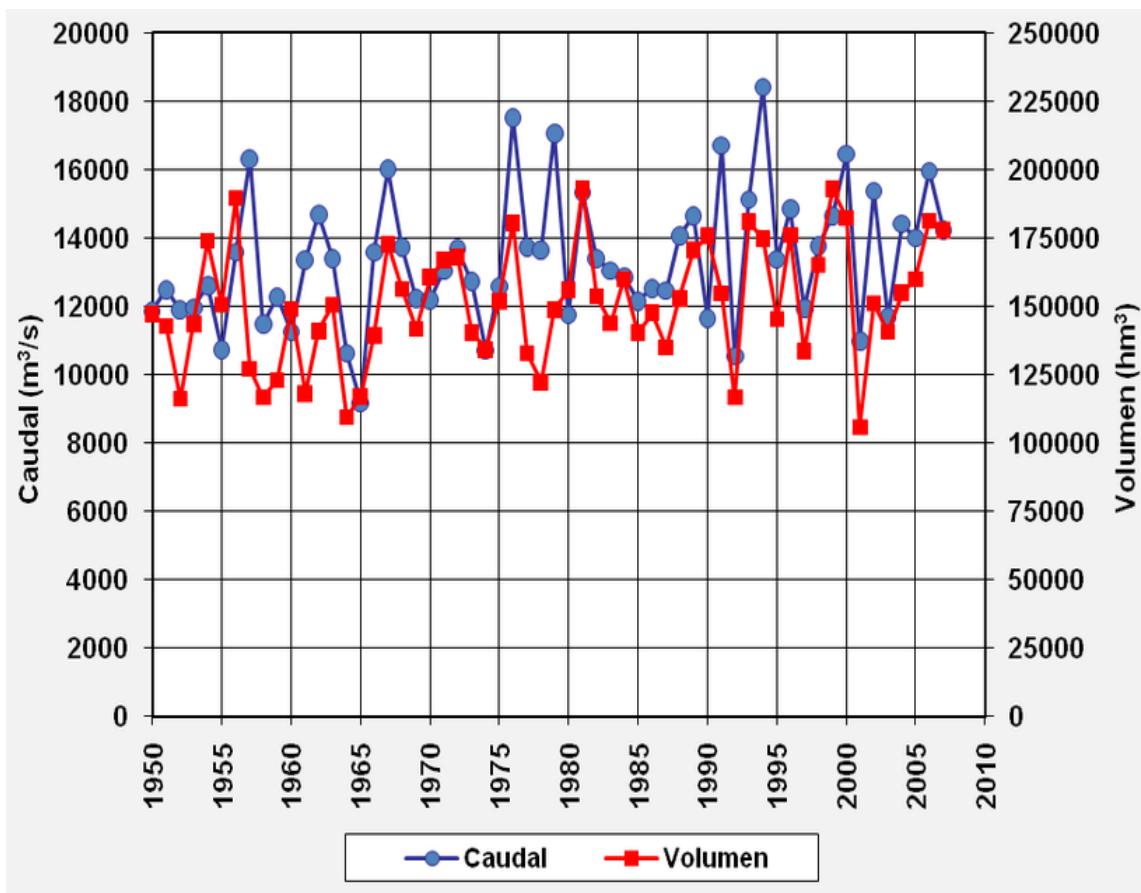
NOTA: Tomado de la presentación SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA ELECTRICO NACIONAL. EDELCA. DIVISIÓN DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE TRANSMISIÓN (2009).

Tercero, Se puede apreciar cuatro lapsos en el cual se presentaron antes del tiempo de regulación de tres años, eventos picos superando la cota 270. Estos lapsos son: 1999-2000, 2005-2006, 2006-2007 y 2007-2008. Todo lo aquí indicado, expresa un comportamiento hidrológico favorable a la elaboración de una estrategia de

acumulación: Si antes de los tres años de regulación del embalse se llegó a la cota máxima, sin lugar a dudas, hubo que aliviar los aportes excedentarios.

Históricamente se han presentado caudales muy altos y significativos en Guri: superiores a 13.000 m³/s, superando inclusive los 18.413 m³/s, según se puede apreciar en el gráfico 8, el cual fue elaborado con datos aportados por un período de 60 años, siendo el caudal de aporte promedio en Guri de 5000 m³/s, tal como ya se ha mencionado.

Gráfico 8 PICOS MÁXIMOS DE APORTES AL EMBALSE AÑOS 1950 A 2010



NOTA: Tomado de Jaime Leonardi, Marcelo González y José Rafael Córdova. Conference: XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica (2010)⁽⁶⁾.

Adicionalmente, con los datos que ofrece esta misma fuente, se presenta a continuación la Tabla 4 con las fechas de ocurrencias de tormentas máximas en la cuenca del río Caroní hasta el embalse de Guri y valores de las crecidas en un lapso comprendido desde la década del 60 al 2000.

Tabla 4 FECHA DE OCURRENCIA DE TORMENTAS MÁXIMAS

DIA	MES	AÑO	DURACIÓN	CAUDAL	
				DIAS DE	MAXIMO (m ³ /s)
12-19	JUNIO	1969	8		12219
21-27	JUNIO	1969	7		11164
3-8	JULIO	1972	6		13690
29-30	JUNIO	1976	2		17493
1-6	JULIO	1976	7		17493
14-19	JUNIO	1977	6		13711
23-28	JUNIO	1978	6		13633
21-28	JUNIO	1879	8		17093
1-5	JULIO	1984	5		12843
27-15	JULIO	1991	10		16713
17-24	JUNIO	1993	8		15129
1-3	JULIO	1993	4		14201
3-8	JULIO	1994	6		13423
13-17	JULIO	1994	5		18413
6-14	JUNIO	2000	9		16463
20-30	JULIO	2000	10		15070
13-23	JULIO	2002	10		15373

NOTA: TOMADO DE JAIME LEONARDI, MARCELO GONZÁLEZ Y JOSÉ RAFAEL CÓRDOVA. CONFERENCE: XXIV CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA (2010).

Al calcular el promedio de duración de días de tormenta y el promedio de los caudales máximos, se puede estimar que habrá disponible aproximadamente 15.000 m³/s durante una semana, en el año húmedo. (Ver Tabla 5). Esta cifra, frente al caudal máximo turbinado posible de 5277 m³/s, mostrado en el gráfico 9, representa 2,8 veces el caudal máximo promedio que se solicitó para el proceso de generación

Lo que aquí estamos mostrando, es que, al presentarse períodos de lluvia similares a los resultados antes señalados, en una semana, pudiéramos disponer de una batería ecológica equivalente a dos veces la capacidad de la Central hidroeléctrica Simón Bolívar, determinado de acuerdo al máximo caudal turbinado indicado en el gráfico 9.

Conociendo que el caudal turbinado nominal de diseño de la central es 7.000 m³/s y el máximo caudal turbinado entre el año 2007 al 2010 es de 5.277 m³/s, se puede determinar un rango de alivio, muy conservador, que puede presentarse en la central, tal como lo muestra la Tabla 5, teniendo como referencia razonable un aporte de 14.948 m³/s en los años húmedos. En el momento que el embalse esté en la cota 271 y tengan que abrirse las compuertas, en presencia de caudales cercanos a 15.000 m³/s en la cuenca del Caroní, se estarían aliviando entre 7.948 m³/s (si se turbina el caudal de diseño) a 9.671 m³/s (si se turbina un caudal máximo de 5.277 m³/s), durante una semana sin contar que se han presentado en la cuenca, caudales superiores a los 18.000 m³/s. Sin embargo, quiero resaltar, que seleccionando el valor mínimo de alivio, se supera el equivalente de la energía total que produciría la Central en esa semana, dado que, el caudal promedio anual no pasa de 4.692 m³/s en el lapso de los años 2007 al 2010, tal como se puede observar en el gráfico 10 y en la Tabla 6.

Tabla 5 VALORES PROMEDIOS DE DÍAS DE DURACIÓN Y CAUDAL MÁXIMO (m³/s), DE TORMENTAS EN LA CUENCA DEL RÍO CARONÍ HASTA EL EMBALSE DE GURI

MAXIMO CAUDAL EN EL PERÍODO	NUMERO DE DÍAS	CAUDAL MAXIMO PROMEDIO	DIAS PROMEDIO DE TORMENTA
18413	5	14.948,47	6,88

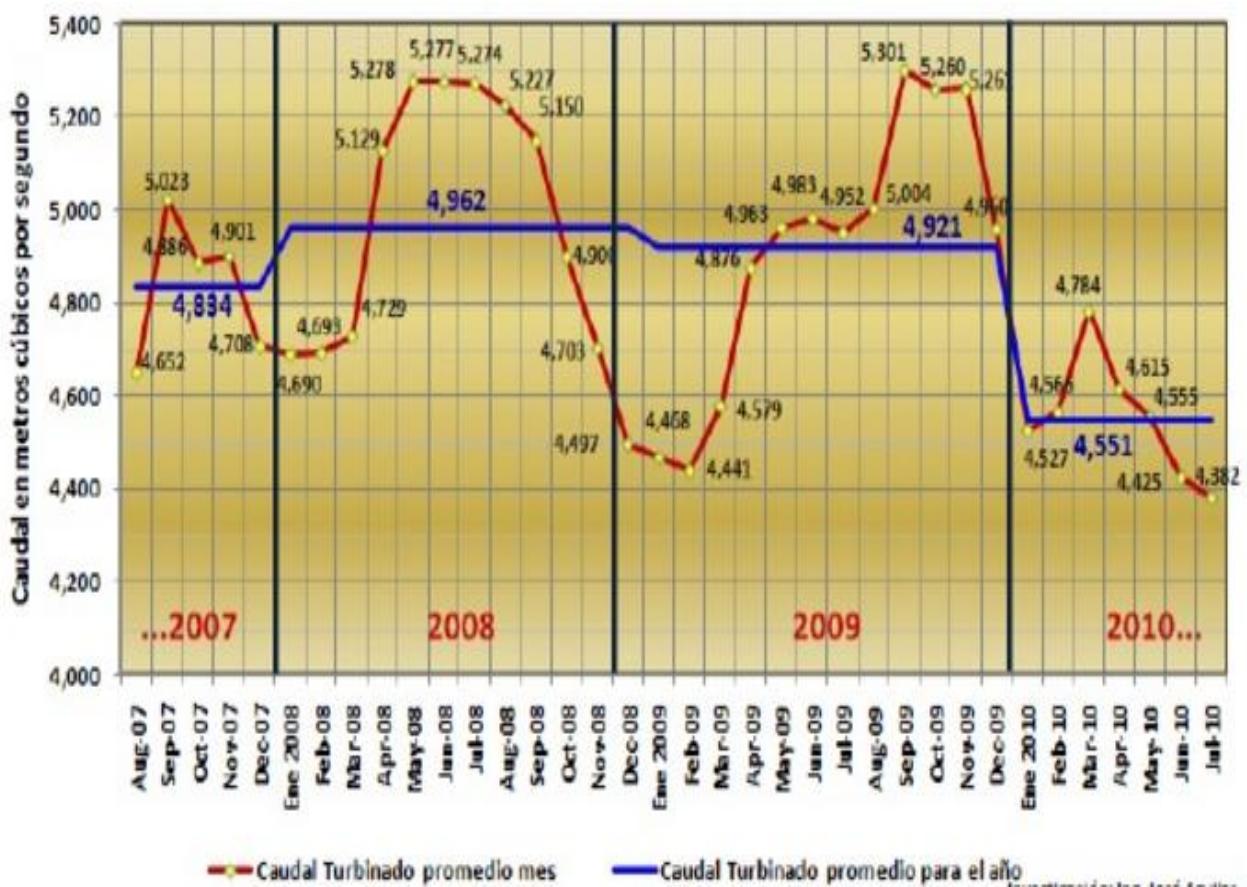
Tabla 6 RANGO DE CAUDALES EN m³/S CALCULADOS EN EL ALIVIADERO Y DISPONIBLES PARA SU RECUPERACIÓN ENERGÉTICA

APORTE	TURBINADO	TURBINADO	ALIVIO AL	ALIVIO AL	% AL TURBINADO	% AL TURBINADO
PROMEDIO	NOMINAL	OPERATIVO	NOMINAL	OPERATIVO	NOMINAL	OPERATIVO
14.948	7.000	5.277	7.948	9.671	114%	183%

Es evidente que en presencia de caudales iguales o superiores al promedio establecido en los períodos húmedos, se establecerían caudales de alivio superiores al caudal turbinado nominal de la central, los cuales, con la disposición del equipamiento y

en las horas de mínima demanda, puede ser considerado como una verdadera “batería” disponible para crear embalses, impulsando agua a reservorios ampliados o nuevos, que servirán de verdaderos disuasivos al uso de los combustibles fósiles, dada la gran diferencia entre el costo de operación de una central hidroeléctrica a una central térmica.

Gráfico 9 COMPORTAMIENTO DEL CAUDAL TURBINADO DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SIMÓN BOLÍVAR 2007-2010



Nota: Tomado de la presentación. ENTENDAMOS EL COLOSO DEL CARONÍ, EL GURI de N. HERNANDEZ (2010). Investigación de J. AGUILAR⁽⁷⁾.

3.3 LA OPORTUNIDAD ENERGÉTICA DE LA ESCALERA DE PRESAS DEL RÍO CARONÍ POR EL ESTRECHAMIENTO DE LA CÉLULA DE HADLEY.

Hay una oportunidad energética que puede ser aprovechada mediante la adaptación de las infraestructuras de acumulación hídrica del sistema eléctrico nacional, en la búsqueda de una estrategia de sincronización con el comportamiento

binario de los efectos del fenómeno El Niño y su fase húmeda, La Niña, y los tiempos climáticos Lluvia-Sequía.

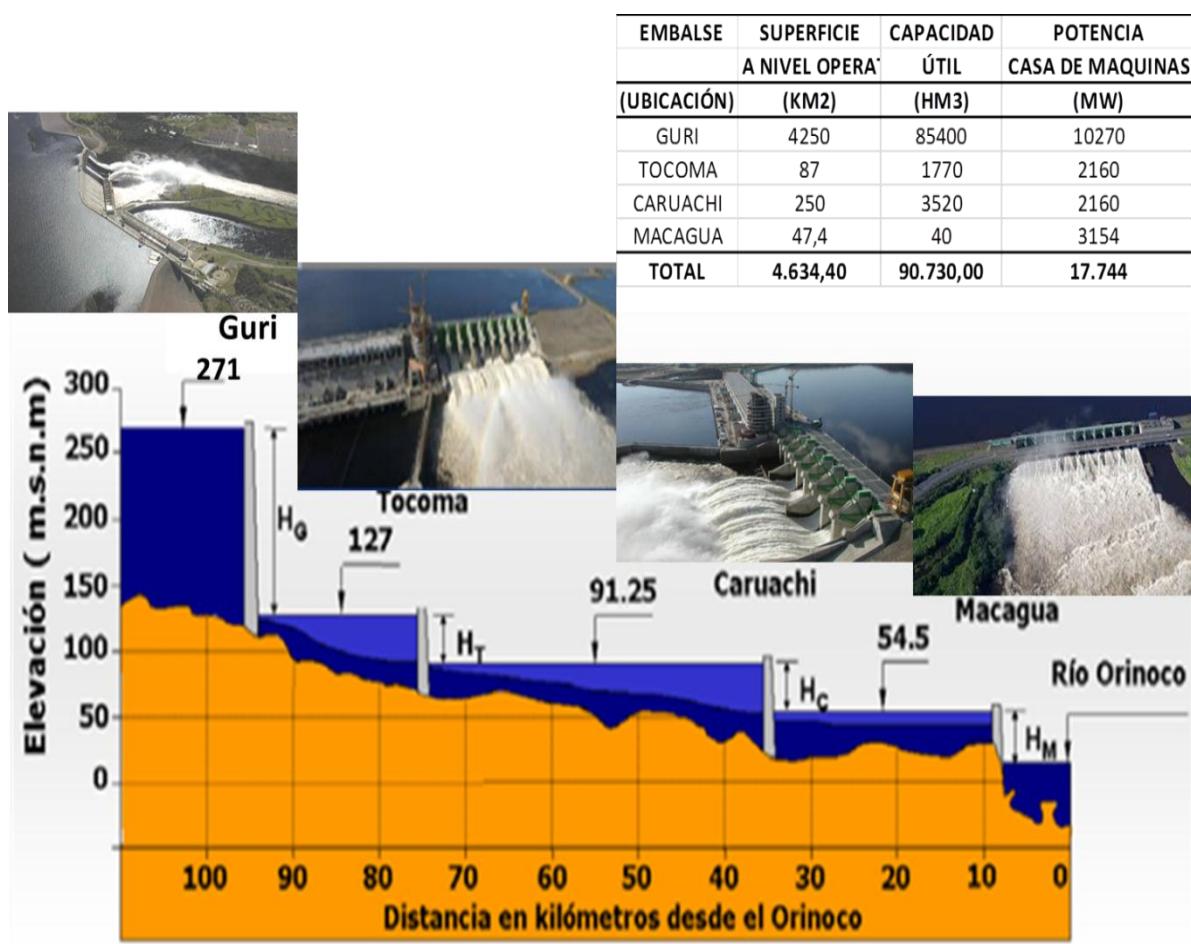
Esta estrategia parte de la oportunidad de lograr acumulación hídrica, que puede ser implementada a favor de disuadir la operación de las centrales térmicas, comenzando con acumular los excedentes en determinadas zonas de la geografía nacional. Un aspecto que potencia la viabilidad energética de este planteamiento, es considerar el tránsito de los excedentes del embalse de Guri, hasta el río Orinoco, tal como se puede apreciar en la figura 16.

Este caudal de tránsito, no puede acumularse cuando los embalses están llenos. Con el equipamiento adecuado, nuestra propuesta puede ser aprovechada para que este caudal sea turbinado en Guri, pero también turbinado aguas abajo, aprovechando la escalera de presas implantadas a lo largo del río Caroní, aportando más energía o compensando la indisponibilidad de máquinas que pudiera tener el Guri en el momento de la solicitud de bombeo para acumular el agua en los embalses nuevos o ampliados, según sea determinado.

Es evidente que para obtener la energía disponible que va impulsar el agua para la formación de los futuros embalses, basta con determinar la capacidad disponible en la casa de máquinas de cada Central, en MW, la cual requiere de un estudio probabilístico, dado que intervienen en el cálculo, el valor de la demanda o consumo eléctrico en el rango de días de la ocurrencia de las tormentas, la cual también para su determinación más probable, depende de los modelos hidrometeorológicos empleados.

Además, hay que considerar, la curva de disponibilidad histórica de cada central en el momento de la presentación de caudales a recuperar energéticamente, que dependerá de la necesidad de intervención de los equipos por mantenimiento, lo cual depende del avance del tiempo en el lapso de la vida útil de los mismos. Es pues, un tema muy atractivo para la investigación, para la comunidad de aprendizaje de Geociencias, lo que permitirá contar el modelo de sincronización en lo que se refiere al extremo húmedo.

Figura 16 ESQUEMA DEL APROVECHAMIENTO DEL RÍO CARONÍ



NOTA: ESQUEMA DE PRESAS. TOMADO DE JAIME LEONARDI, MARCELO GONZÁLEZ Y JOSÉ RAFAEL CÓRDOVA. CONFERENCE: XXIV CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA (2010).

Antes de concluir el presente capítulo, recomiendo ampliamente la consulta de la publicación “*Tightening of tropical ascent and high clouds key to precipitation change in a warmer climate*” (NATURE COMMUNICATIONS 8, 2017)⁽⁸⁾. Allí se anuncia la posibilidad que se haya subestimado la cantidad de precipitaciones que se presentarán en las regiones tropicales, de acuerdo a nuevas simulaciones realizadas por el equipo de la Dra Hui Su, del Instituto de Tecnología de California, Pasadena, (Jet Propulsion Laboratory, NASA), sobre el modelo de Circulación de Hadley⁽⁹⁾. En este estudio, se explica que en un futuro, las lluvias podrían ser más intensas, en las regiones tropicales, debido a que la atmósfera continuará calentándose por la disminución de las nubes altas como consecuencia directa del Calentamiento Global. Esto, envés de reducir las lluvias, como podría esperarse, las aumentarán, porque las nubes no solo están vinculadas con la función de hacer lluvias.

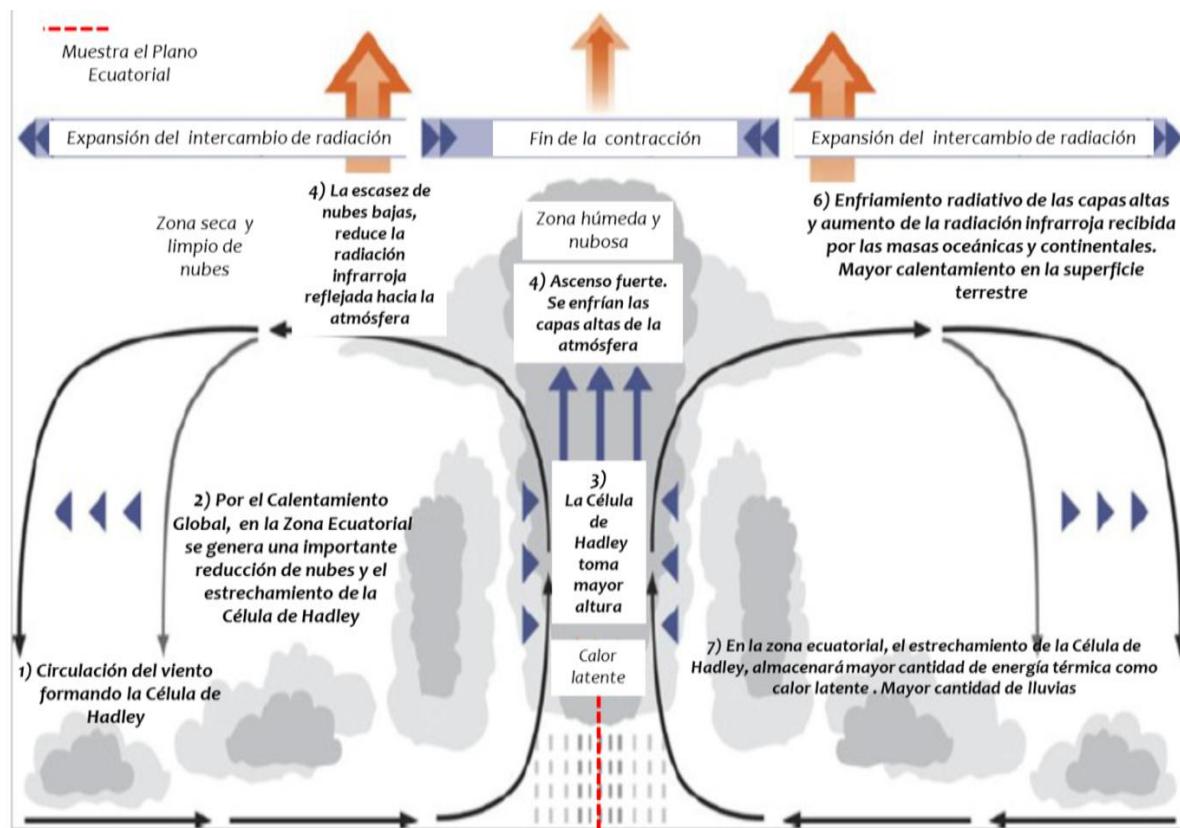
Las lluvias, también ayudan a balancear la energía que provee el sol que fluye hacia nuestro planeta. Esto es lo que el *Jet Propulsion Laboratory*, de NASA, ha denominado “*PRESUPUESTO ENERGÉTICO*”, es decir, las lluvias se presentarán también de acuerdo al balance que se presente entre la energía entrante del sol comparada con la energía térmica saliente aportada por la superficie terrestre y sus océanos. Entonces, por efecto del calentamiento global, la atmósfera tropical en sus capas altas se enfriará, porque se reducirán a futuro las nubes altas que atrapen el calor en respuesta del calentamiento de la superficie.

En consecuencia, el modelo presentado por este equipo científico, da entender que la atmósfera, buscando calentar el aire, hará llover, para compensar este enfriamiento. La lluvia es el resultado del balance que resulta del presupuesto energético. En La figura 17, se expone gráficamente, lo dicho anteriormente, mostrando cómo el ajuste de la rama ascendente de la célula de circulación de Hadley, junto con una disminución de la fracción de nubes tropicales altas, es clave para modular la respuesta de precipitación al calentamiento de la superficie.

Entonces puede darse, que, por efectos del Cambio Climático, en los períodos de lluvias, las precipitaciones serán mucho más abundantes y en consecuencia, los caudales aportados hacia los embalses por los ríos serán mayores, mayores, inclusive a los caudales máximos históricos medidos en la cuenca del Caroní. En este sentido, el caudal típico promedio puede ser superado ampliamente en determinados años y hasta la fecha, no hay donde recibir esta importante fuente de energía.

Por lo antes expuesto, deberán ser bienvenidas todas aquellas alternativas que favorezcan ampliar la capacidad de acumulación de las centrales hidroeléctricas, considerando que el Cambio Climático no es solamente sequía, y preparar al parque generador venezolano, sincronizándolo desde la mirada de la protección del ambiente y así avanzar en la sustitución progresiva de la generación termoeléctrica, conservando el agua.

Figura 17 ESQUEMA DEL ESTRECHAMIENTO DE LA CÉLULA DE HADLEY



NOTA: TOMADO DE NATURE COMMUNICATIONS 8, (Hui Su,2017).Traducción libre.

El gráfico 7 muestra cuatro años seguidos aliviando, 2005, 2006, 2007 y 2008. Tomando como ejemplo del potencial energético de este embalse, en el total aliviado en el 2008 fue de 15.553 millones de metros cúbicos⁽¹⁰⁾, pero, de acuerdo con estos estudios, habrá que esperar más, dado que históricamente ya se han presentado caudales superiores a 18.000 m³/s, según el gráfico 8, y por lo menos 5 días de duración, suceso que se repetirá aguas abajo en Tocoma, Caruachi y Macagua. Realmente, desde el punto de vista de la hidroelectricidad, esto representa un inmenso potencial energético y especialmente; si se presenta el escenario de mayores precipitaciones que el equipo del Instituto de Tecnología de California sostiene en su modelo. Posiblemente, el paso del huracán Harvey y su secuela en Texas, con precipitaciones superiores a cualquier medición histórica disponible, y el desbordamiento de su principal represa, así como en nuestro caso, las inundaciones en este mismo año 2017 en Venezuela, afectando a los estados Bolívar, Amazonas y Delta Amacuro, sean un primer elemento de convicción de lo que se trata de exponer en el presente capítulo,

recordándonos que no es solo sequía o el efecto El Niño lo que debe llamar la atención al Sector. Existe un aspecto binario en el comportamiento extremo del Clima, que debe ser estudiado y canalizado energéticamente. El Cambio Climático ya nos alcanzó y potenciará estos extremos. En el 2017 ya contamos con un evento extraordinario en Venezuela, si es que no hemos sido convencido con los sucesos hasta aquí nombrados: Precipitaciones de granizo en Cabimas, el día miércoles 30 de julio/2017, Costa Oriental del Lago de Maracaibo, una región con temperatura promedio en esa región cercana a los 30 °C.

Como conclusión de este capítulo, considero urgente evaluar las consecuencias que, sobre el parque de generación venezolano, pueda traer el Cambio Climático. Si a lo anteriormente expuesto se le añade lo indicado por la Agencia Internacional de Energía (IEA), en su publicación "*RESUMEN EJECUTIVO 2016*", donde se alertó sobre la incapacidad de limitar el calentamiento global a menos de 2°C, a pesar que muchos países puedan cumplir con los objetivos fijados en el *Acuerdo de París*, habrá que esperar a futuro, el recrudecimiento de los extremos climáticos El Niño-La Niña y sus consecuencias en la producción energética nacional.

La Organización Mundial de Meteorología (OMM), ya anunció cambios abruptos en la concentración de CO₂ en el año 2016 no vistos desde hace 70 años y según las observaciones directas sobre los núcleos de hielo antárticos, los niveles de concentración de CO₂ son superiores desde hace 800.000 años. Hay una verdadera amenaza a escala civilizatoria, con la posibilidad real de acelerar esta situación hacia el punto de no retorno, si los Estados Unidos no reconsidera su decisión de separarse de sus compromisos ambientales internacionales y así reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero, dado que está ubicado en el primer lugar per cápita, con 16,07 toneladas de CO₂ por habitante, y el segundo emisor más contaminante de CO₂ del mundo. Es urgente entonces, avanzar en una solución. Propongo que el Sector reconozca que existe un comportamiento binario del clima, y de inmediato acoplar nuestro sistema de generación a las consecuencias que se presentarán inevitablemente por sus variaciones extremas.

CAPÍTULO IV: LA GEOGRAFÍA VENEZOLANA Y LA SINCRONIZACIÓN DEL SEN AL CLIMA

“Debemos de invertir en la educación ahora, para que dentro de 50 años, cuando quememos el último barril de petróleo, no lloraremos de pena, sino lo celebremos”

***Sheikh Mohammed bin Zayed
Príncipe de Abu Dabi***

Desde mi experiencia en el Sector mediante la ejecución de proyectos de generación hidroeléctrica, propongo en este capítulo, con la sincronización del SEN al Clima, una solución inmediata para evitar el colapso del sistema eléctrico nacional ante regreso del Fenómeno El Niño, sin la contradicción ontológica que se presenta al tratar de resolver esta realidad desde la termoeléctricidad de origen fósil.

Si bien ya he propuesto una solución basada en la energía hidroeléctrica, en vías de aprovechar la presencia del extremo húmedo en nuestro clima, (recordar el tema de la subestimación de las precipitaciones); en este capítulo se demostrará la perfecta viabilidad técnica para proteger los embalses desde el extremo de nuestra estacionalidad seca y su amplificación por efecto del Cambio Climático, haciendo que juegue a nuestro favor. Así hemos avanzado una vez más hacia la sincronización del SEN al Motor del Clima.

La navaja de Ockham ya limpió el camino y con su ayuda salí del túnel de la opinión técnica generalizada y aceptada que impulsa la necesidad progresiva de implantar la termoeléctricidad fósil.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se desprende que, con la tecnología fotoeléctrica y solar concentrada, el Sector Eléctrico tiene cómo salir de su contradicción ontológica de inmediato, desde el mismo clima, que se presenta en la diversa y extensa geografía venezolana, evitando aceptar una solución que nunca llegará si se insiste en el uso de la termoeléctricidad fósil.

Solo le pido al Lector que tenga en cuenta tres cosas mientras lea este capítulo.

Primero: Que el Plan de Administración de Carga implementado en el año 2016 por el MPPEE, racionó 2000 MW a nivel nacional, para evitar el colapso de Guri, por efecto del fenómeno EL NIÑO. *Segundo:* Que ninguna planta termoeléctrica de más 1000 MW, ni una hidroeléctrica semejante, se construye y se equipa completamente en menos de quince meses. Una Central Solar Fotovoltaica si lo puede lograr. *Tercero:* Que la energía solar no es una energía alternativa.

No puede ser una energía alternativa aquella que se tiene en abundancia, prácticamente inagotable en comparación con la escala de tiempo que trasciende el ciclo existencial de las distintas expresiones de la Vida en nuestro Planeta. No puede ser considerada alternativa, una energía, que salvo la energía nuclear, es el origen de todas las energías. La energía Solar es la energía. El Viaje hacia el futuro, comienza desde mis pies. Así lo he entendido.

4.1 EL GRAN MOTOR CLIMÁTICO

Dado que en Venezuela no existen las conocidas cuatro estaciones, *Primavera, Verano, Otoño, e Invierno*, el gran motor climático en nuestro país está claramente definido por la presencia y ausencia de lluvias, que establece las denominadas “*temporadas de lluvias y sequía*”, o lo denominado también como “*temporadas de invierno y de verano respectivamente*”. Aunque en un histograma típico de precipitaciones en Venezuela, indicado en el gráfico 5, se puede observar claramente la presencia de 6 meses húmedos; Mayo, Junio, Julio, Agosto, Septiembre y Octubre, lo que determinaría 6 meses secos, otros autores coinciden que la estación lluviosa en Venezuela se presenta desde Mayo hasta Agosto, es decir cuatro meses, comenzando la temporada de sequía desde Septiembre y finalizando en Abril la estación seca, con una duración de 8 meses.

Sea que se presente la temporada de sequía en seis u ocho meses, este capítulo demostrará la importancia de la estacionalidad seca para el provecho energético y hacer que “juegue” a nuestro favor. Basta implementar una estrategia de sincronización climática, que puede resumirse así: **“Al reducirse la temporada de lluvias, se activarán las tecnologías asociadas a la generación eléctrica solar, con la ventaja, que existen amplias regiones en el país, donde la explotación de la energía solar en grandes bloques de potencia es posible todo el año”.**

Cuando comparo la superficie del territorio nacional respecto a la superficie del planeta, aproximadamente 510 MM km², frente a 916.450 km², se observa que nuestro país representa menos del 2% de la superficie global, que, aunado a su latitud geográfica, ubicado en la zona intertropical, garantiza que nuestro clima no estará sometido a variaciones climáticas extremas por efecto de la inclinación del ángulo de incidencia de los rayos solares en el período de un año. Los extremos climáticos se derivan entonces de la presencia del fenómeno El Niño y La Niña, potenciados ambos por el Cambio Climático, que bien puede ser originados por la naturaleza misma, o acelerado antropogénicamente, que es nuestra realidad hoy día.

Salvo esta última consideración, la estacionalidad seca o lluviosa se presentará en un rango considerado estable, como un “*ir y venir*”, como un péndulo, con longitud de cuerda variable, (dinámica), que establece un ritmo especial, mediante características muy particulares, en los hermosos espacios de nuestra geografía nacional, en razón de la altitud respecto al nivel del mar, los vientos del norte (*frente frío del Norte*), y las fluctuaciones de la zonas de bajas presiones en su desplazamiento desde la zona ecuatorial hacia el norte, como elementos macros que determinarán la estacionalidad *lluvia-sequía* en Venezuela. Es evidente también, que el intercambio termodinámico entre los cuerpos de agua y tierra con la atmósfera, conjuntamente con las temperaturas de las corrientes oceánicas, establecen el desplazamiento temporal y las magnitudes de los elementos que parametrizan lo que llamamos el Clima.

Según la clasificación de KOOPEN⁽¹⁾, en Venezuela se presentan los siguientes grupos climáticos y tipos de clima, cuyas características de pluviosidad, radiación solar y temperatura, fijará el tipo de fuente preponderante de producción energética en determinado entorno geográfico que permitirá a futuro la sincronización del sistema de generación venezolano:

Tabla 7 TIPOS DE CLIMA EN VENEZUELA SEGÚN LA CLASIFICACIÓN DE KOPEN

Grupos Climáticos	Tipos de Clima
Lluviosos tropicales	<i>Selva amazónica (Afi)</i> <i>Bosque húmedo (Ami)</i> <i>Sabana (Awi)</i>
Secos Tropicales (B)	<i>Semiárido tropical (Bshi)</i> <i>Desértico tropical (BWhi)</i>
Tropicales de altura (G)	<i>Templado de altura hímeda (Gmi)</i> <i>Templado de altura con período seco (Gwi)</i>
Fríos de alta montaña tropical (Hi)	<i>Páramo(HT)</i> <i>Nieves perpetuas (HF)</i>

Fuente: Pardo Amelia. Tipos de Clima en Venezuela (2017).

Nuestro interés para la sincronización energética en Venezuela, se basará en estudiar los climas de la selva amazónica (Afi), bosque húmedo (Ami), el templado de altura húmedo (Gmi), el clima de sabana (Awi), el clima semiárido tropical (BShi) y el desértico tropical (BWHi), reconociéndolos como una fuente de oportunidades energéticas.

4.1.1 El Tipo de Clima de Selva Amazónica y Bosque Húmedo, Motor Hidroeléctrico Venezolano.

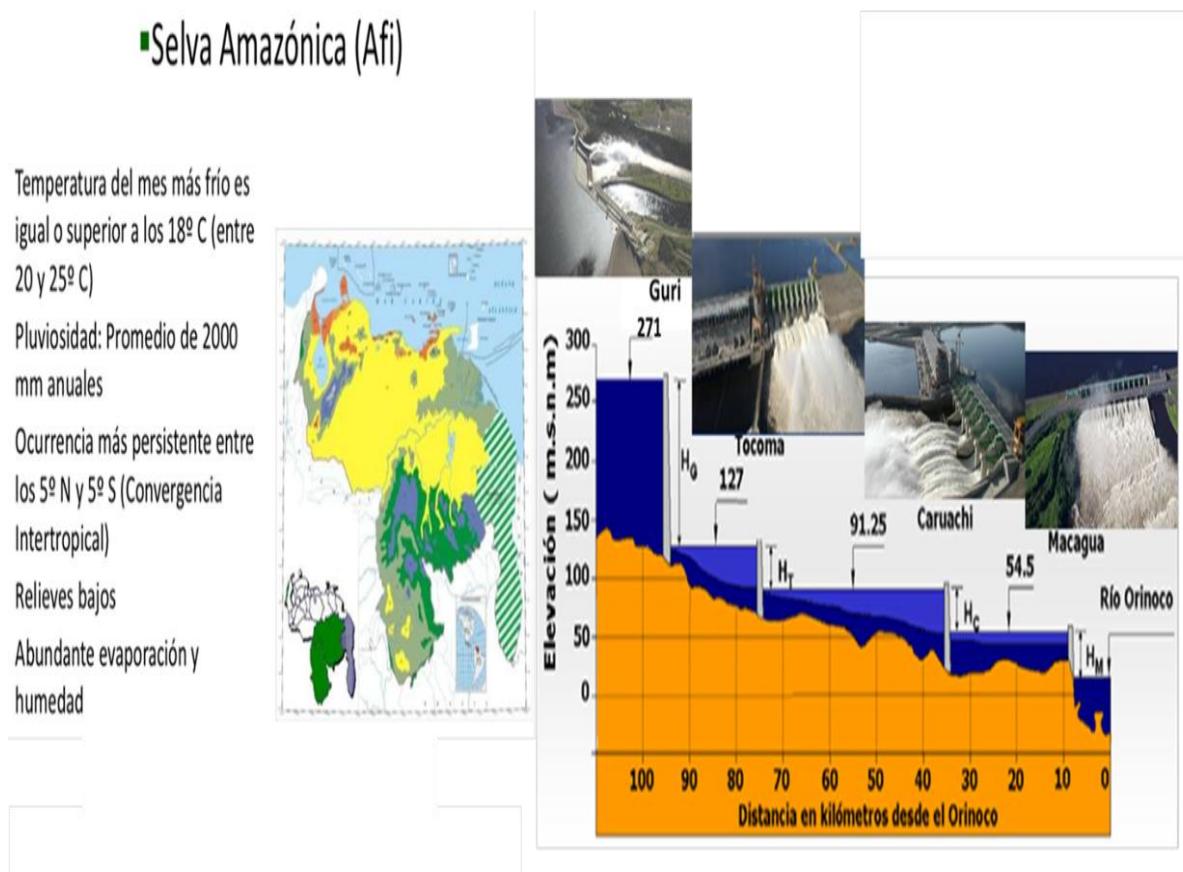
Es en el tipo de clima selva amazónica y bosque húmedo, donde se originan las lluvias que surten a los ríos que colman de las centrales hidroeléctricas de mayor potencia en el país. En especial, el clima de selva amazónica, provee el agua al río Caroní, donde se implantaron, en Venezuela, los embalses con mayor capacidad energética del Sistema Eléctrico Nacional. (Ver figura 18). Gracias a este tipo de clima, y tal como se comentó en el capítulo precedente, el caudal aliviado en la temporada de lluvias, puede alcanzar un rango entre 114% a 183% del caudal turbinado en la Central hidroeléctrica Simón Bolívar, 7 días al año. Es contar como mínimo, por una semana, con la capacidad total de generación de Guri, con el equipamiento adecuado.

En figura 18 se resalta la inmensa potencialidad energética que puede aprovecharse si la propuesta anteriormente señalada se escala aguas abajo de la Central Simón Bolívar. Además a la proyección estimada en el bajo Caroní de 17.744 MW en plantas, puede incrementarse esta potencia, si se aprovecha energéticamente el caudal aliviado en Guri y simultáneamente el que se establecería en las centrales hidroeléctricas de Tocoma, Caruachi y Macagua, si se pudiera turbinar parcialmente.

Luego, como el SEN, cubre prácticamente todo el territorio nacional, mediante el sistema eléctrico de potencia venezolano, tal como se aprecia en la figura 19, una fracción de la energía aprovechable de los alivios en el Caroní, puede impulsar el agua para la formación de acumuladores hídricos en los sitios adecuados para esto, hacia el embalse de cada central que se quiere fortalecer. Este tema se tocará en el estudio posterior, relacionado con los *Embalses Compensadores de Emisores de CO₂* de

Origen Termoeléctrico a nivel nacional y su asociación con las tecnologías vinculadas con las Centrales de Bombeo.

Figura 18 CARACTERÍSTICAS DEL TIPO DE CLIMA SELVA AMAZÓNICA (AFI) Y SU POTENCIAL ENERGÉTICO (ESQUEMA DE REPRESAS)



Fuente: Jaime Leonardí, Marcelo González, Alicia Pardo y José Rafael Córdova. Características del clima (2010)⁽²⁾.

En la Figura 20 se observa el área que establece la posibilidad de aprovechamiento energético dado el clima de altura húmedo (Gmi). Es el sitio de implantación de dos embalses importantes que proporcionan la energía primaria a importantes Centrales del Suroeste del país, tales como el embalse de Santo Domingo, en el Estado Mérida que es el reservorio de la Central José Antonio Páez y el embalse de la Honda, que es el reservorio de la Central Leonardo Ruiz Pineda ubicado en los límites de la población de Pregonero en el Estado Táchira.

Figura 19 MAPA DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN EN VENEZUELA



TRANSMISIÓN

NOTA: MAPA TOMADO DE CORPOELEC (2018). Página Web⁽³⁾

4.1.2 El Tipo de Clima Templado de Altura Húmedo y su Potencial Energético en Los Andes.

Tal como lo sugiere la figura 20, las precipitaciones constantes y la topografía de la zona, se convierten en un atractivo para iniciar los estudios conducentes a implantar los primeros embalses compensadores de CO₂ en Venezuela, aprovechando la energía eléctrica que puede producirse en la escalera de presas del Caroní con los excedentes de las lluvias en la región climática selva amazónica. Entre la central Leonardo Ruiz Pineda y la central Fabricio Ojeda, se encuentra el espacio geográfico que espera la implantación del embalse Las Coloradas, entre la zona alta de San José de Navay y La Fundación, Estado Táchira. Es la zona donde más llueve, en el eje de construcción del Complejo Uribante-Caparo y la construcción de por lo menos una

central en ese sitio permitirá generar con el agua turbinada de la central Leonardo Ruiz Pineda. Luego se turbinarían aguas abajo, en la central Fabricio Ojeda la cual nos referiremos más adelante.

Figura 20 CARACTERÍSTICAS DEL TIPO DE CLIMA TEMPLADO DE ALTURA HÚMEDO (Gmi) Y SU POTENCIAL ENERGETICO

■Templado de Altura Húmedo (Gmi)

La temperatura desciende con la altitud (0,65° cada 100 metros)
 Precipitación constante en forma de neblina y rocío
 La vegetación pasa de gramíneas a bosques adaptándose a las condiciones de la altura

Ejemplos

Colonia Tovar temp. media 16,4°C, altitud 2200 msnm, precipitaciones 1221 mm anuales

Mérida temp. Media 18,9°C, precipitaciones 1704 mm anuales, altitud 1600 msnm



NOTA: DATOS Y MAPA TOMADO DE A.PARDO. TIPOS DE CLIMA EN VENEZUELA (2017).

4.1.3 El Clima de Sabana y la Oportunidad de la Generación Hidrosolar.

En la figura 21, se muestra las características fundamentales del clima de sabana (Aw). Destaca el amplio espacio geográfico su ámbito de influencia, lo que favorece la implantación de la tecnología fotovoltaica en los centros urbanos localizados bajo este tipo de clima. Sólo habrá que obtener un equilibrio entre las condiciones de funcionamiento afectadas por temperaturas superiores a la norma, (EN61215, 25°C), que pudieran ser desfavorables a las condiciones estándar para el aprovechamiento óptimo de la energía solar fotovoltaica, y la excelente potencia de la radiación solar en esta área.

Sin embargo, al comparar las temperaturas medias del área geográfica donde está implantado la mayor planta fotovoltaica en el mundo, en Kurnool, India, 1000 MW, se puede observar que se presentan temperaturas promedio cálidas muy superiores a 25 °C, por el orden de 35°C⁽⁴⁾. Solo en los meses de enero y diciembre, las temperaturas altas fueron iguales o inferiores a la norma (24,8°C y 23,86°C), por lo demás meses, las temperaturas fueron superiores, (desde febrero, superior a: 27,52°C; hasta noviembre 25,66°C), tal como se puede consultar en el anexo 3. Esto puede interpretarse de dos maneras. La primera, que la temperatura promedio diaria, en un año de producción eléctrica, sea igual o menor a la temperatura de la norma. La segunda, es que India, ya maneje una tecnología que haya superado esta limitación.

Figura 21 CARACTERÍSTICAS DEL TIPO DE CLIMA SABANA (Awi) Y SU POTENCIAL ENERGÉTICO

Temperatura promedio anual por encima de los 25°C

Precipitaciones entre 800 y 1500 mm anuales

Dos estaciones Lluviosa y Seca



Masparro

Peña Larga

La Vuelta

NOTA: DATOS Y MAPA TOMADO DE A.PARDO. TIPOS DE CLIMA EN VENEZUELA (2017).

Como es sabido, la topografía de amplios territorios de los estados llaneros, no son aptas para la implantación de centrales hidroeléctricas, aunque en amplias zonas de del pie de monte andino, es conocido que reciben importantes aportes pluviométricos que han demostrado la factibilidad que hizo posible el desarrollo hidroeléctrico del río Masparro, así como la central Peña Larga y la central Fabricio

Ojeda, esta última ubicada en los límites entre los estados Táchira y Barinas y el sur del estado Mérida, además de posibilitar la implantación de nuevos embalses, como por ejemplo, el futuro proyecto del II Desarrollo del Uribante-Caparo.

No puede pasarse por desapercibido que la ubicación de las principales casas de máquinas del río Caroní, se encuentran geográficamente bajo este clima (Aw), aunque su provisión hídrica está en la zona selvática (Af).

Esto implica que puede aprovecharse doblemente la infraestructura de subestaciones y líneas de transmisión en las centrales hidroeléctricas de la zona de Guayana, para implantar tecnología solar, y proteger los embalses en la estación seca, reduciendo ampliamente la evaporación de los mismos en época de máxima radiación, creando un “techo” a las extensas áreas de los embalses implantados y a la vez aprovechar su potencial fotoeléctrico, tal como se muestra en la imagen de central fotovoltaica flotante de la figura 22.

Figura 22 CENTRAL HIDROSOLAR FLOTANTE EMBALSE YAMAKURA JAPÓN



NOTA: TOMADO DE KYOCERA TCL *FLOATING SOLAR POWER PLANT*.
(2017)⁽⁵⁾.

4.2 EL GRAN POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS EMBALSES HIDROSOLARES VENEZOLANOS. CASO DE ESTUDIO: EMBALSE DEL GURI.

Para comenzar a entender el inmenso potencial energético de este tipo de clima, se tomarán como datos de arranque, el área de inundación de los embalses pertenecientes a las centrales del río Caroní, en kilómetros cuadrados, indicados en la tabla anexa a la figura 16 del capítulo anterior.

Tal como señala esta tabla, al totalizar solo el área de inundación de cada embalse de la escalera de presas del río Caroní, se cuenta con una superficie de 4.600 km², (4.630 millones de m²), cuatro veces superior a la extensión del Estado Nueva Esparta. De acuerdo a este resultado, se cuenta con una amplia superficie preparada, “lista” para recibir proyectos fotovoltaicos con paneles flotantes, y con suficiente agua para limpiar los paneles.

Para determinar el potencial de producción, el primer paso, es conocer la potencia de la radiación solar disponible.

Tabla 8 AREA TOTAL DE LA MANCHA DE INUNDACIÓN OPERATIVA DE LAS CENTRALES DEL RIO CARONÍ Y SU COMPARACIÓN CON EL ÁREA DEL ESTADO NUEVA ESPARTA

Central	Area de	Area		Area del	
	Inundación	Total	Area total	Estado Nueva Esparta	
	(Ain)	(Ain _{total})	1 Km ² = 1.000.000 M ²	(A _{Nueva Esparta})	(Ain _{total})/(A _{Nueva Esparta})
	(Km ²)	(Km ²)	(M ²)	(Km ²)	
Guri	4250				
Tocoma	87				
Caruachi	250				
Macagua	47,5				
		4.634,50	4.634.500.000,00	1.150,00	4,03

En la el anexo 4, se puede observar los distintos niveles de radiación solar en Venezuela. Así mismo se puede observar, que, en la región norte del país, que alberga la mayor concentración poblacional, coincidencialmente se ubican excelentes potenciales de radiación solar, cuya calidad está en un rango desde “bueno” a “supremo”. Fácilmente también se puede determinar que, salvo el estado Amazonas y reducidas áreas del estado Bolívar, la calidad de la radiación solar se ubica en

Venezuela, entre la Clasificación “Bueno” y “Excelente”, lo que determina la factibilidad de su utilización y de esta manera sustituir con fotoelectricidad, la generación termoeléctrica fósil, por lo menos en el sector residencial venezolano, con posibilidad de evitar la reducción de los embalses hidroeléctricos en el período de sequía.

Para determinar el potencial de generación eléctrica que puede ser aprovechado en el área de los embalses instalados en la escalera de presas del río Caroní, se presentan de forma resumida, algunos aspectos asociados a la tecnología solar fotovoltaica, que son necesarios para apoyar los cálculos.

4.2.1 El Rendimiento de las Células Solares:

Tal como se puede apreciar en el gráfico 10, el rendimiento más alto comercialmente está en el orden del 25%. De las tecnologías comerciales, destaca la conformada por módulos solares de silicio cristalino (c-Si). Entre varias tecnologías alternativas de película delgada, (*thin film*), los módulos fotovoltaicos con “absorbedores” **CIGS** (**Cu (In, Ga) (Se, S)**) son muy efectivos para convertir la luz directamente en electricidad. Esta es la más avanzada y la más eficiente comercialmente. Estas células están muy bien posicionadas en el campo de las tecnologías fotovoltaicas, con rendimientos récord actuales para celdas pequeñas de 22.3% y módulos de tamaño de producción de 16.5%.

En el mencionado gráfico, el fabricante (*IW-CIGSTech, 2017*)⁽⁶⁾, indica el progreso reciente en el nivel rendimiento de algunos tipos comerciales de célula (triángulos negros), que allana el camino para el progreso en el nivel de mini módulos (cuadrados rojos), hasta llegar a las eficiencias de módulo de área total (puntos azules), por el orden del 18%. De acuerdo a la mencionada fuente, se espera que esto último se realice en el futuro cercano mediante la transferencia y adaptación de la tecnología en desarrollo en de laboratorios. En consecuencia, según la tecnología empleada para la fabricación de las células solares, la misma determinará el área del panel normalizado para una potencia a entregar.

En la tabla 9, con datos suministrados por INTELEC (2017)⁽⁷⁾, se muestra el área de panel normalizado por cada kW de potencia máxima o pico (kWp) requerido para el proyecto. De acuerdo a estos datos, se puede concluir que los paneles basados en tecnología de silicio monocristalino, son los que requieren de una menor área de instalación por kWp generado entre las tecnologías allí señaladas.

Tabla 9 SUPERFICIE REQUERIDA POR CADA kWp DE MODULO FOTO VOLTAICO

TECNOLOGÍA	SUPERFICIE (M2)
SILICIO MONOCRISTALINO	7-9
SILICIO POLICRISTALINO	8-11
DISELENIURO DE INDIO CÚPRICO (CIS)	11-13
TELURO DE CADMIO (CdTe)	14-18
SILICIO AMORFO	14-20

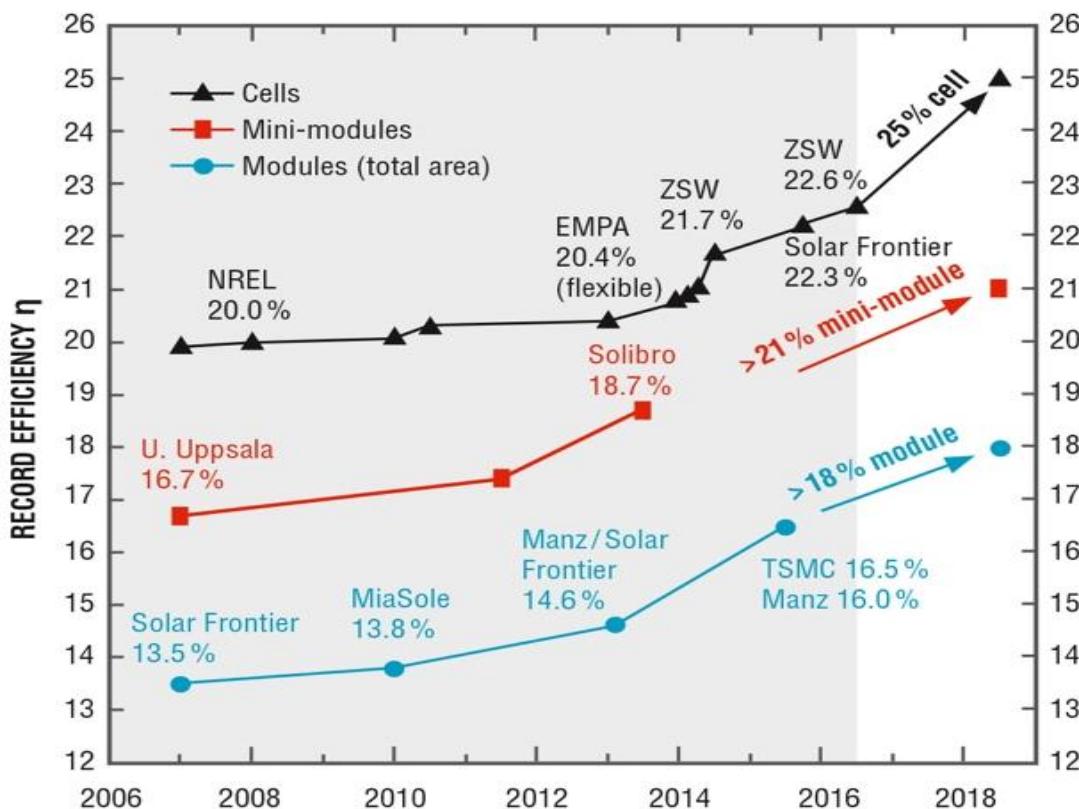
Para finalizar con este aspecto, en la literatura técnica se puede ubicar, que en la actualidad existen 4 generaciones de tecnologías de módulos solares fotovoltaicos. La primera generación, la más extendida a nivel comercial, se basa en tecnología de obleas de silicio cristalino (monocristalino y policristalino).

La segunda generación, que va ganando mercado, es la película delgada. Cabe mencionar el Silicio amorfo, el Teleruro de Cadmio, Seleniuro de Cobre e Indio (CIS), y una combinación de Cobre, Indio, Galio y Selenio (CIGS).

La tercera generación, que continúa en fase de investigación y desarrollo, la componen las células fotoelectroquímicas, las solares de polímeros, las solares de nanocristales, y las solares de tintas sensibilizadas.

La cuarta y última generación es de momento tan sólo un proyecto, y se basa en la unión de diferentes tecnologías capaces de abarcar el espectro de la luz casi por completo, añadiendo además una capa capaz de transformar el calor en energía utilizable.

Gráfico 10 EVOLUCIÓN DE LA EFICIENCIA DE LAS CÉLULAS SOLARES CON PROYECCIONES 2016-2019



NOTA: TOMADO DE *IW-CIGSTech*, (2017)

4.2.2 Factores que Afectan el Rendimiento de un Panel Solar.

Además del rendimiento propio de la tecnología de diseño y producción de la célula, un panel solar es afectado por distintos factores que hacen que no se aproveche un gran porcentaje de la irradiación solar disponible. La temperatura es uno de estos factores, por lo cual debe aclararse, que es la irradiación solar y no el calor, lo que permite la producción de electricidad del panel fotovoltaico. Además habrá que considerar las horas de sombras que pueden presentarse de acuerdo a la ubicación del panel y su entorno. Las pérdidas derivadas del uso de rectificadores DC/AC son muy elevadas, tal como se verá en los cálculos que se presentarán a continuación. La suciedad derivada de la contaminación y el polvo, sobre el panel solar, son relevantes, hacen que el panel se convierta en un espejo, devolviendo gran parte de la irradiación solar y estas pérdidas deberán ser consideradas.

La orientación del panel es fundamental, por lo que en los grandes sistemas fotovoltaicos conectados a red, (*SFCR*), se incluyen sistemas de seguimiento de la trayectoria solar, a fin de garantizar la captación de la mayor irradiación horizontal en la mayor cantidad de horas posible.

4.2.3 Disposición Geométrica

Además de las medidas del panel, otro aspecto a considerar es la distancia entre filas de módulos. La ingeniería de detalles definirá los espacios para acceso de mantenimiento y giro automatizado para el seguimiento de la trayectoria solar de acuerdo al tamaño del módulo a instalar.

Sin embargo, para contar con una referencia para realizar un cálculo preliminar, se tomará como base, el panel fabricado por SunPanel⁽⁸⁾. Para el espaciamiento, lo señalado por INTELEC, el cual recomienda tomar 2,03 veces el ancho del panel. Ver tabla 10.

Con estos valores, voy a proceder a mostrar el potencial de los embalses de nuestros complejos hidroeléctricos, tomando como ejemplo el embalse de Guri. El siguiente procedimiento toma como base, las fórmulas y criterios de E. Lorenzo (2017) de la Universidad Politécnica de Madrid⁽⁹⁾. En cuanto al importante tema del rendimiento de un sistema *SFCR*, seguiremos los estudios de este autor. En consecuencia, según la tecnología empleada para la fabricación de las células solares, la misma determinará el área del panel normalizado para una potencia a entregar. Así mismo el mencionado autor ha determinado, que las pérdidas energéticas denominadas *Perfomance Ratio*, (PR) pueden alcanzar hasta un 25%, y las mismas incluye las pérdidas de los convertidores DC/AC y las pérdidas de potencia del panel cuando está sometido a condiciones de temperatura no estándar, es decir, superiores a 25°C. Un tema especial, que debería ser tratado, está asociado con el cálculo del área de cubrimiento de un embalse. El presente Libro propone, estudiar a futuro, la definición de lo que se pueda denominar *Área de Cubrimiento Permanente Ecológicamente Aceptable, para centrales*

hidroSolares. Para nuestro estudio, el embalse de Guri, se tomará un valor asumido del 5 %, en el supuesto que esta magnitud no causaría un impacto ambiental significativo.

Tabla 10 ELECCIÓN DEL AREA REQUERIDA PARA INSTALACIÓN DE PANELES SOLARES POR 1 kW nominal DE GENERACIÓN

$$\text{Área} = 1,63 \text{ M}^2 \text{ Panel SunPower X22 360 W (1.559mm x 1.046mm)}$$

SCT	CARACTERÍSTICAS:
Rendimiento de la salida eléctrica, (Condiciones de Salida Estándar)	STC es un estándar de toda la industria para indicar el rendimiento de los módulos fotovoltaicos y especifica una temperatura de celda de 25 ° C y una irradiación de 1000 W / m² con un espectro de masa de aire 1.5 (AM1.5) . La mayoría de los paneles estándar tienen entre 230 y 275 vatios DC STC, mientras que SunPower fabrica equipos de alta eficiencia en el rango de 327 a 345 vatios. Una versión más reciente ofrece 360W.
Rendimiento	22,2%

Panel SunPower X22 360W en 2017, se lanzó al mercado el panel SunPower X22 360W y se convirtió en el panel solar más eficiente disponible comercialmente en el mundo con una eficiencia del panel de 22.2%.

Células Maxeon Gen III Monocristalino

Área de instalación para 1 kWnominal	$3 \times (360 \text{ W}) = 1080 \text{ W} > 1000 \text{ W}$. Área total de panel generador solar = $3 \times 1,63 \text{ m}^2 = 4,89 \text{ m}^2$ Espaciamiento = $2,03 \times \text{ancho del panel} = 2,03 \times 1,046 \text{ m} = 2,10 \text{ m}$ Longitud de instalación = $\text{Ancho del Panel} + \text{espaciamento} = 1,046 \text{ m} + 2,10 \text{ m} = 3,15 \text{ m}$ Área total mínima = Largo x Ancho = $3,146 \text{ m} \times 1,559 \text{ m} = 4,90 \text{ m}^2$
Área requerida de instalación seleccionada	$4,90 \text{ m}^2 < \text{Área de instalación} < 7,00 \text{ m}^2$ @ 1kWnominal estandar (25°C, 1000 W/M2, AM=1.5)

4.3 UN PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO PARA DETERMINAR LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA UNITARIA DEL PANEL: EAC/P* (kWh/kWp)

Inicio entonces, la secuencia de cálculo para mostrar el potencial de los embalses hidroeléctricos en Venezuela. Tomando como ejemplo el embalse de la central hidroeléctrica Simón Bolívar en Guri. Entonces:

4.3.1 Determinación de la longitud y latitud del embalse de Guri. Se puede utilizar el Google Maps. Ver anexo A-4.

Longitud: -62,83°; Latitud: 7,58°

4.3.2 Con la latitud y longitud del sitio, se determina la irradiación anual superficial horizontal (Ver tabla 11). Puede utilizar el enlace: <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETScreen/>

Tabla 11 RADIACIÓN SOLAR HORIZONTAL EN kWh/m²/día

Month	Air temperature °C	Relative humidity %	Daily solar radiation - horizontal kWh/m ² /d
January	23.7	75.6%	4.95
February	24.6	68.8%	5.32
March	25.8	62.8%	5.75
April	26.4	64.0%	5.71
May	25.6	73.9%	5.32
June	24.4	81.3%	5.27
July	24.1	81.9%	5.48
August	24.4	80.6%	5.70
September	24.5	79.5%	5.90
October	24.5	80.0%	5.60
November	24.3	81.0%	5.13
December	23.7	80.2%	4.88
Annual Measured at (m)	24.7	75.8%	5.42

Entonces, se asume que el valor de irradiación solar que recibirán los paneles es de 5420 Wh/m² al día. Como se puede observar, la tabla presenta valores cada mes, y estos se pueden determinar mediante la suma de sus valores diarios medidos, a los cuales se les determina el promedio de acuerdo al número de días de cada mes.

En efecto; $G_{a(0)} = 5420 \text{ Wh/m}^2/\text{día}$

4.3.3 Determinación del ángulo β de inclinación del panel, y α (azimut).

Dado que los paneles se instalarán sobre la superficie del embalse, el ángulo de elevación del panel sobre la horizontal es cero. Además se alinearán directamente hacia el norte, por ubicarse el embalse de Guri sobre el ecuador.

Entonces, $\beta = 0^\circ$ y $\alpha=0^\circ$

4.3.4 Determinación del ángulo β óptimo.

Es necesario que la radiación solar incida perpendicularmente sobre los paneles solares para así maximizar la generación de los paneles solares sobre el embalse. Por lo que se determinará, el ángulo β óptimo mediante la fórmula que se muestra y luego obtengo el factor ($\beta - \beta_{(\text{óptimo})}$). Este factor será necesario para obtener la irradiación efectiva sobre el panel.

:

$$\beta_{(\text{óptimo})} = 3,7 + 0,69 \phi$$

$$\beta_{(\text{óptimo})} = 3,7 + 0,69 (7,58^\circ)$$

$$\beta_{(\text{óptimo})} = 8,93^\circ ; \beta - \beta_{(\text{óptimo})} = -8,93^\circ$$

4.3.5 Determinación de la irradiación máxima que puede recibir los paneles solares:

$$G_{a(\beta \text{ óptimo})} = G_{a(0)} / [1 - (4,46 \times 10^{-4})(\beta_{\text{óptimo}}) - (1,19 \times 10^{-4})(\beta_{\text{óptimo}})^2]$$

$$G_{a(\beta \text{ óptimo})} = 5420 \text{ Wh/m}^2/\text{día} / [1 - (4,46 \times 10^{-4})(8,93^\circ) - (1,19 \times 10^{-4})(8,93^\circ)^2]$$

$$G_{a(\beta \text{ óptimo})} = 5474 \text{ Wh/m}^2/\text{día}$$

4.3.6 Cálculo de los coeficientes g_1 , g_2 y g_3 .

Estos coeficientes están vinculados al rendimiento del panel, debido a contaminación y polvo. La expresión para calcularlos es mediante la fórmula:

$$g_i = g_{i1}|a|^2 + g_{i2}|a| + g_{i3}, \text{ donde: } i=1,2,3$$

Los elementos g_{i1} , g_{i2} y g_{i3} , se obtienen de los elementos de la matriz 3×3 , indicados en la Tabla 12.

Tabla 12 COEFICIENTES PARA SUPERFICIES CON MEDIANO GRADO DE SUCIEDAD ASOCIADA A LA PERDIDA DE TRANSPARENCIA DEL 3% EN PANELES SOLARES

	i=1	i=2	i=3
gi1	8,0000E-09	3,8000E-07	-1,2180E-04
gi2	-4,2700E-07	8,2000E-06	2,8920E-04
gi3	-2,5000E-05	-1,0340E-04	0,9314

NOTA. DATOS TOMADOS DE E LORENZO (2017)

Entonces, con $\alpha=0$:

Cálculo de los $g_i = g_{i1} \alpha ^2 + g_{i2} \alpha + g_{i3}$ ($i=1,2,3$)			
$\alpha = 0$			
cálculo de g_1	cálculo de g_2	cálculo de g_3	
$g_{1,1} \alpha ^2 = 0,0000E+00$	$g_{2,1} \alpha ^2 = 0,0000E+00$	$g_{3,1} \alpha ^2 = 0,0000E+00$	

$g_{1,2} \alpha =$	0,0000E+00	$g_{2,2} \alpha =$	0,0000	$g_{3,2} \alpha =$	0,0000E+00
$g_{1,3}=$	-1,2180E-04	$g_{2,3}=$	2,89E-04	$g_{3,3}=$	0,9314
$g_1 =$		$g_2 =$	2,8920E-04	$g_3 =$	0,9314

4.3.7 Determinación de $G_{\text{effa}}(\beta, \alpha)/G_a(\beta \text{ óptimo})$

Hay que determinar la relación entre la energía de irradiación asumida en el paso 4.2.1 $G_{\text{effa}}(\beta=0, \alpha=0)$ y la irradiación a β óptimo, calculada en el paso 4.2.5, según se muestra a continuación. Los factores $(\beta - \beta_{\text{optimo}})$ fueron calculados en el paso 4.2.4:

$$G_{\text{effa}}(\beta, \alpha)/G_a(\beta \text{ óptimo}) = g_1(\beta - \beta_{\text{optimo}})^2 + g_2(\beta - \beta_{\text{optimo}}) + g_3$$

$$G_{\text{effa}}(\beta, \alpha)/G_a(\beta \text{ óptimo}) = -1,2180 \times 10^{-4} (-8,93^\circ)^2 + 2,8920 \times 10^{-4} (-8,93^\circ) + 0,9314$$

$$G_{\text{effa}}(\beta, \alpha)/G_a(\beta \text{ óptimo}) = 0,938508632$$

4.3.8 Cálculo de la radiación efectiva para el β y el α señalados.

La radiación efectiva que puede ser aprovechable por el panel, para la transformación en energía eléctrica, es entonces:

$$G_{\text{effa}}(\beta=0, \alpha=0) = 0,938508632 G_a(\beta \text{ óptimo})$$

$$G_{\text{effa}}(\beta=0, \alpha=0) = (0,938508632)(5474) \text{ Wh/m}^2/\text{día}$$

$$G_{\text{effa}}(\beta=0, \alpha=0) = 5137 \text{ Wh/m}^2/\text{día}$$

4.3.9 Cálculo de las pérdidas de la irradiación solar, sin sombra, sin contaminación o polvo en la superficie de los paneles en la trayectoria solar: $P_{\text{irradiación}}$.

$$P_{\text{irradiación}} = [1 - (5137/5474)] \times 100\%$$

$$P_{\text{irradiación}} = 6,15\%$$

4.3.10 Determinación del factor FS.

Es el factor debido a las pérdidas por sombreado. Según E. Lorenzo, el entorno geográfico puede arrojar sombras que generarán pérdidas aún mayores que se derivan de una pésima orientación. Se debe superponer el horizonte local, es decir, el perfil visto por un teodolito ubicado en el lugar de los paneles, a un mapa de trayectorias del sol, lo que permitirá determinar el tiempo en que el panel está a la sombra. El cálculo que precisa la traducción de este dato es muy laborioso y requiere el apoyo en software especializado. Para nuestro ejemplo se estima una pérdida de 6% anual.

$$FS = 1 - 0,06 = 0,94$$

4.3.11 Determinación el factor PR por las pérdidas por Performance Ratio, 25%.

$$FR = 1 - 0,25 = 0,75$$

4.3.12 Selección de un proveedor de panel solar.

Esto con el fin de conocer las principales características técnicas y determinar la potencia del panel generador a seleccionar P^* . Recuerde que la potencia ofrecida por el fabricante, viene dada en razón de iluminar el panel con una irradiación de 1000 W. Entonces, $G^*=1000$ W a temperatura de 25°C.

$P^* = 360 \text{ W@ 1000W, 25°C}$
Panel SunPower X22 360W Células Maxeon Gen III, silicio monocristalino.

4.3.13 Determinación la energía producida por el sistema fotovoltaico conectado a una red, SFCR.

La energía producida por el sistema fotovoltaico conectado a una red, SFCR, la cual puede ser expresada por la multiplicación de siguientes factores independientes:

$$\begin{aligned} E_{AC} &= P^*(G_{effa}(\beta=0, \alpha=0) / G^*) FS PR \\ E_{AC} &= 360 \text{ W} * (5137 \text{ Wh/m}^2/\text{día} / 1000\text{W}) (0,94) (0,75) \\ E_{AC} &= 1304 \text{ Wh/m}^2/\text{día} \end{aligned}$$

4.3.14 Determinación de la producción energética unitaria del generador solar, E_{AC}/P^* (kWh/kWp).

La producción energética unitaria del panel generador solar, que representa el número de horas que se entregará la máxima energía señalada nominalmente, es decir, $360\text{W}=0,360 \text{ kWp}$:

$$E_{AC}/P^* = 1,304 \text{ kWh/m}^2/\text{día} / 0,360\text{kWp}$$

$$E_{AC}/P^* = 3,62 \text{ kWh/kWp}$$

Es decir:

$$3,62 \text{ horas}$$

Este resultado muestra que, el optimismo derivado del dato de irradiación diaria de 5,42 kWh/m²/día obtenido como promedio diario en un año de mediciones, debe ser tomado con mucha precaución. La limpieza del panel generador solar es muy importante, la falta de ésta afecta de gran manera al generador solar. Igualmente la tecnología de rectificador, debe ser cuidadosamente seleccionada y el equipo correctamente dimensionado, para obtener la mejor eficiencia en la conversión DC/AC.

4.3.15 Los resultados se muestran tabulados Ver Tabla 13

Tabla 13 DATOS Y RESULTADOS TABULADOS PARA DETERMINAR EL POTENCIAL DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL 5% DE SUPERFICIE DEL EMBALSE DE GURI

Longitud	Latitud: ϕ	Predicción		azimut	inclinación					Pérdidas		Pérdidas	Pérdidas de	POTENCIA	Producción	Producción	Producción
		irradiación anual	inclinación	horizontal						por	por	Performance	estándar	Anual SFCR	energética	energética	
		sup horizontal	hacia el sur	del panel					Irradiación	sombreado	(DC/AC)	(@1000W, 25°C)	electricidad	unitaria	unitaria		
		ϕ	$G_a(0)$	α	β	β_{optimo}	$\beta - \beta_{\text{optimo}}$	$G_a(\beta \text{ optimo})$	$G_{\text{effa}}(\beta, \alpha)/G_a(\beta \text{ optimo})$	$G_{\text{effa}}(\beta, \alpha)$		6%	25%	P*	E_{AC}	E_{AC}/P^*	E_{AC}/P^*
		(°)	(W/m²)	(°)	(°)	(°)	(°)	(W/m²)	adimensional	kWh/m²/día	(%)	FS	PR	(kWp)	Wh/m²/día	(kWh/(kWp))	horas
-62,83	7,58	5400	0	0	8,93	-8,93	5474	0,938508632	5137	6%	0,94	0,75	0,36	1304	3,62	3,62	

4.3.16 Espacio requerido para la colocación de los generadores solares y potencial de generación.

.Para el caso de estudio del embalse de Guri, se tomará el 5% del área del embalse, tal como ya se señaló. Este valor pudiera representar el área de cubrimiento máxima, ecológicamente aceptable, que evitaría afectar el embalse por la reducción de la irradiación solar sobre su superficie, evitando una posible simulación de un proceso de eutrofización (favoreciendo el crecimiento de algas). Sin embargo, en la temporada de sequía o meses de mayor irradiación, puede agregarse mayor área de cubrimiento de paneles, de acuerdo como avancen los estudios sobre este tema, reduciendo posteriormente el área de generación fotovoltaica al regreso de la temporada de lluvias o en meses pronosticados como de menor irradiación, con la finalidad de proteger la biótica del embalse.

Tabla 14 POTENCIA MÁXIMA DE GENERACIÓN PARA UN CUBRIMIENTO ECOLÓGICAMENTE ACEPABLE DE 5% EN EL EMBALSE DE GURI CENTRAL SIMÓN BOLÍVAR, VENEZUELA

Potencia nominal Panel a 1000 W/m ² , 25°C, AM=2,5 (tabla 10)	360	W
Área de instalación a tecnología silicio monocristalino (tabla 9)	7	m ² /kWp
Total de paneles para 1 kWp @ 360W	3	Paneles/kWp
3 x 360 W = 1,080kWp @7m ² (tabla 10)		
Area del embalse de Guri en km ² (tabla 8)	4.250	Km ²
Area del embalse de Guri en m ²	4.250.000.000,00	m ²
Area ecológicamente aceptable (5%)	212.500.000,00	m ²
Potencia disponible sin pérdidas =212.500.000,00m ² /(7m ² /kWp)	30.357.142,86	kWp
Potencia considerando pérdidas (FS X PR) = 0,705 x kWp	21.401.785,71	kWp
Potencia en MW	21.401,79	MWp
Relación con la escalera de presas del Caroní (17.744 MW)	1,2	Veces

De acuerdo a los resultados obtenidos, con solo la utilización del 5% del área de inundación del embalse de Guri, se puede obtener una potencia similar a la potencia de toda la escalera de presas del río Caroní, de 17.744 MW, durante 3,6 horas al día, sin el gigantesco esfuerzo asociado a la construcción de la infraestructura civil similar, con sus operaciones de acarreo, disposición y utilización de ingentes cantidades de concreto, acero, maquinarias y equipos. Adicionalmente es importante resaltar que, de acuerdo a lo señalado por el PDSEN 2013-2019, el consumo total de energía en Venezuela, en el año 2013, fue de 130.617 GWh/año, con un pico de potencia máxima de 18.696 MW el 15 de mayo. Entonces, el uso del 5% del área del embalse de Guri, para la generación fotovoltaica, cubriría la potencia máxima nacional presentada ese día, (sin exceder este pico por más de 3,6 horas), quedando aún disponible todo el sistema de generación nacional.

Mediante la implementación de este tipo de centrales, se reducirían importantes lapsos de ejecución y el significativo esfuerzo que implicaría el manejo y control de un proyecto semejante asociado a la construcción de cuatro centrales hidroeléctricas de gran potencia de forma simultánea. Adicionalmente a lo anteriormente expuesto, siempre será menor, mucho menor, el costo por la operación de este tipo de central fotoeléctrica frente a una central termoeléctrica, dado que no hay costos por concepto de combustible. Se abre un mundo de posibilidades técnico científicas a las universidades venezolanas, *el mundo de la energía solar*, que involucrará la investigación, desarrollo, aplicación, ejecución y producción de materiales y componentes, sistemas, equipos, software y herramientas, asociadas a la energía solar, un negocio en plena expansión, a escala global y requerido urgentemente para garantizar el desarrollo nacional, en armonía con lo señalado en el pensamiento ambientalista del legislador de 1999.

Como proyecto energético, y con el fin de sincronizar el parque de generación eléctrico venezolano superar los efectos del fenómeno El Niño, propongo la conversión de las presas del río Caroní, en centrales *Hidro-Solares*, expandiendo su capacidad de producción, con la realidad de la geografía y el clima, con un esfuerzo muchísimo menor en comparación con las acciones inherentes asociadas a la construcción de un nuevo desarrollo hidroeléctrico del río Caroní. Los que hemos trabajado en esto sabemos lo que implica la construcción de una central hidroeléctrica. Por ejemplo, el plan de arranque del Proyecto TOCOMA, solicitó un cronograma mayor a 5000 líneas de trabajo a ejecutar. Esto representa un verdadero esfuerzo logístico y financiero.

Así mismo se puede ampliar esta propuesta hacia los embalses venezolanos orientados hacia el suministro de agua potable. Este sistema fotovoltaico bien puede garantizar a las empresas hidrológicas regionales la energía requerida para sus importantes operaciones de potabilización y bombeo. Así, puede desincorporarse un importante bloque de potencia del SEN, conectados a fuentes hidroeléctricas en la estacionalidad seca o desvincular este importante sector de las centrales termoeléctricas basadas en combustibles fósiles. En este sentido, existe un inmenso potencial que puede ser aprovechado, dado que Venezuela cuenta con más de 100 embalses gestionados por las empresas hidrológicas regionales, con vías de acceso

plenamente operativas. Este sector toma del sistema de potencia más del 5% de la generación nacional y su demanda estará siempre en crecimiento.

4.4. EL CLIMA SEMI ÁRIDO TROPICAL y DESÉRTICO TROPICAL, PORTAL DE BIENVENIDA A LA GENERACIÓN TERMOELÉCTRICA.

En la Figura 23, mostramos las características del tipo de clima semiárido tropical, cuya temperatura y condiciones excelentes de radiación solar, siguen la utilización permanente durante todo el año de tecnologías asociadas a la generación de grandes bloques de energía termosolar y fotoeléctrica, sin excluir la utilización de este tipo de tecnología para satisfacer la demanda desde las concentraciones urbanas ubicables en esta área de influencia. Entre las ventajas esperadas en consecuencia de generar bajo este tipo de clima, es la elevación del comportamiento estándar de los paneles solares, con la consecuente disminución del número de paneles por vivienda, gracias nuevamente, a las elevadas condiciones de radiación no inferiores a 4 kW/m^2 , que compensaría las pérdidas por elevación de temperatura superior a 25°C .

El clima semi-árido tropical, con su baja incidencia de lluvias y nubosidad, aumenta las posibilidades de aprovechamiento de paneles fotovoltaicos, pero en especial, la energía solar concentrada y así, entregar importantes cantidades de energía a la red de transmisión.

La topografía de baja altura, donde se hace presente este clima, favorece la instalación del tipo de centrales termosolares, que requieren grandes áreas expuestas para su explotación comercial. Ciudades como Puerto Cabello, Cumaná, Barquisimeto, Carora, Maracaibo, Cabimas, La Guaira y Porlamar, pueden ser abastecidas mediante con este tipo de tecnología energética, que se convertirían a futuro, en un disuasivo de origen ecológico para no emplear la termolectricidad de origen fósil.

Sin embargo, existen áreas geográficas cercanas a estas ciudades donde puede implementarse con mejor desempeño las centrales de potencia solar concentrada, dada las características de tipo superior en cuanto a la radiación solar se refiere, disponiendo del clima desértico tropical. Las áreas geográficas donde se establece este tipo de

clima, se ubican en Venezuela fundamentalmente en la zona costera occidental del estado Falcón, en los *Médanos de Coro*, así como el extremo más occidental de la península de Araya en el Estado Sucre y en las costas de Estado Aragua, tal como se puede apreciar en las Figuras 24 y 25. Es importante señalar que el alto grado de irradiación solar y las altas temperaturas que se presentan de forma permanente, hace atractiva la implementación de la instalación de plantas térmicas de tecnología solar concentrada, sin excluir la instalación de granjas fotovoltaicas, dependiendo esto último, del rendimiento del panel por efectos de superar la temperatura estándar.

Figura 23 CARACTERÍSTICAS DEL TIPO DE CLIMA SEMI ÁRIDO TROPICAL (Bsh) Y SU POTENCIAL ENERGÉTICO

■Clima Semiárido Tropical

- Clima transicional entre climas desérticos y climas de sabana
- Vegetación herbácea de ambiente xerófilo
- Altas temperaturas
- Precipitaciones entre 250 a 400 mm anuales



NOTA: DATOS Y MAPA TOMADO DE A.PARDO. TIPOS DE CLIMA EN VENEZUELA (2017).

La generación solar concentrada es una tecnología madura y en plena expansión. De acuerdo a la fuente *PV Demand Market Tracker*⁽¹⁰⁾, la nueva capacidad solar instalada mundialmente en el año 2016 alcanzó la cifra récord de 77GW, lo que representa una tasa de crecimiento anual del 34%, dos puntos por encima del aumento del 32% registrado en 2015, siendo los países líderes en instalación de esta tecnología, China, Estados Unidos e India, quienes duplicaron en el año 2016 su potencia instalada.

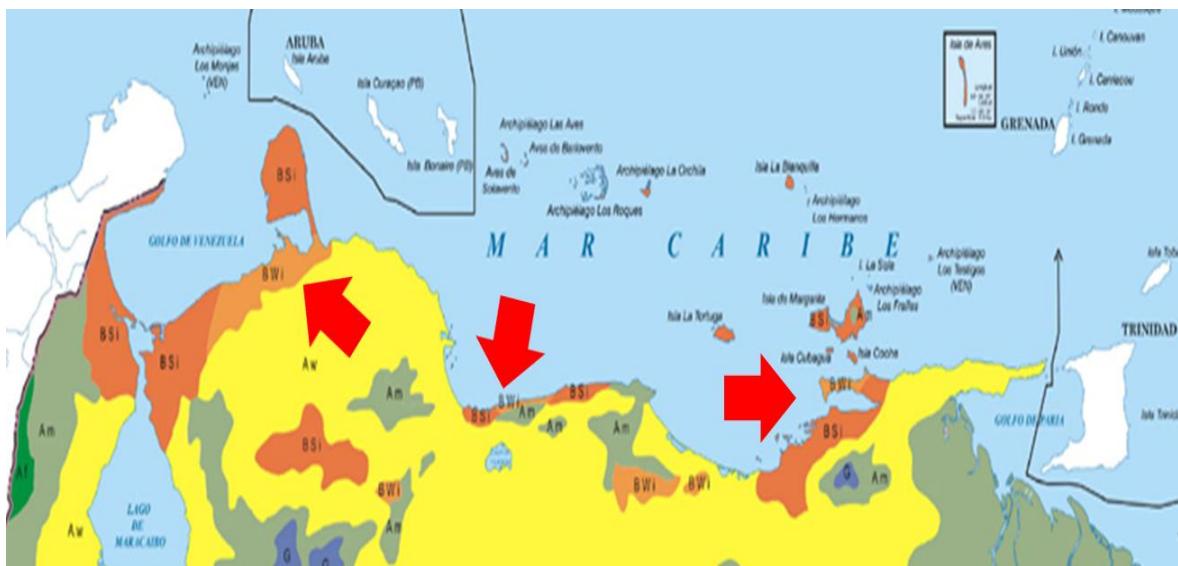
Figura 24 CARACTERÍSTICAS DEL TIPO DE CLIMA DESERTICO TROPICAL (Bwhi) Y SU POTENCIAL ENERGÉTICO

- Muy escasa pluviosidad menos de 100 mm al año
- Altas temperaturas
- Intensa insolación
- Bioma de desierto
- Se ubica principalmente en las penínsulas de Araya, Paraguaná, Guajira y en las Islas venezolanas



NOTA: DATOS Y MAPA TOMADO DE A.PARDO. TIPOS DE CLIMA EN VENEZUELA (2017).

Figura 25 UBICACIÓN DEL TIPO DE CLIMA DESERTICO TROPICAL



NOTA: DATOS Y MAPA TOMADO DE A.PARDO. TIPOS DE CLIMA EN VENEZUELA (2017).

En la Tabla 15, se puede apreciar que existen importantes desarrollos en el mundo, que han alcanzado los 1000 MW de potencia⁽¹¹⁾, lo que demuestra que la tecnología de generación fotovoltaica es una tecnología madura y en plena fase de expansión. Solo tres plantas de este tipo, pudieran satisfacer la carga del Estado Zulia en máxima demanda, o todo el parque de las industrias básicas de Guayana. Visto como negocio internacional, este importante bloque de energía, si se pudiera liberar del

SEN, puede aumentar 12 veces el equivalente al suministro que entrega nuestra interconexión a la ciudad de Boa Vista, frontera con Brasil.

Tabla 15 PRINCIPALES DESARROLLOS FOTOVOLTAICOS DEL MUNDO

PLANTA FOTOVOLTAICA	MW	PAÍS
<i>Kurnool Ultra Mega Solar Park.</i>	1000	India
<i>Quaid-e-Azam Solar Park.</i>	1000	Pakistán
<i>Longyangxia Hydro- Solar PV Station.</i>	850	China
<i>Planta fotovoltaica de Kamuthi</i>	648	India
<i>Solar Star Solar Farm I y II</i>	597	EUA
<i>Copper Mountain</i>	552	EUA
<i>Desert Sunlightg Solar Farm.</i>	550	EUA
<i>Topaz Solar Farm.</i>	550	EUA
<i>Mesquite Solar Project.</i>	400	EUA

NOTA: DATOS TOMADOS DE *EL PERIÓDICO DE LA ENERGÍA* (2017)

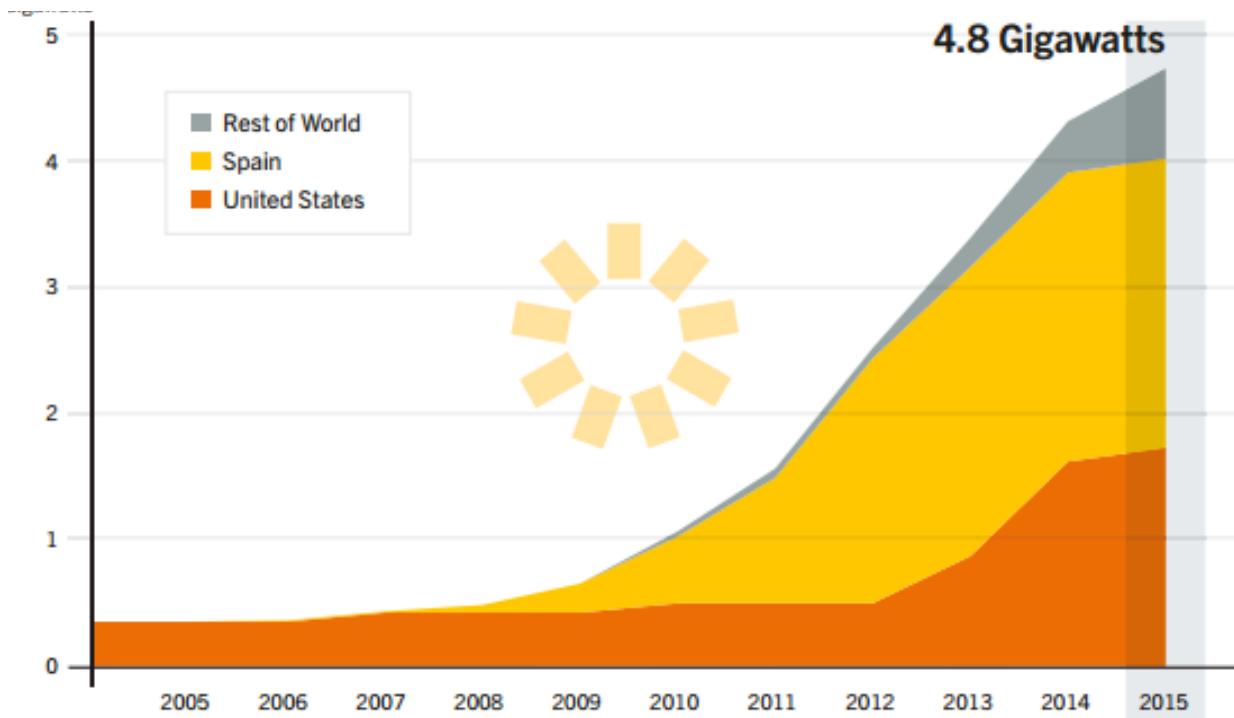
Adicionalmente, las regiones donde se presenta este clima pueden albergar plantas de energía termosolar de concentración, *CONCENTRATING SOLAR POWER*, (*CSP*), que hemos mencionado anteriormente. Son plantas térmicas, pero no emiten precursores del Calentamiento Global, ni desechos en su proceso productivo. Sin alcanzar el protagonismo que tiene la generación fotovoltaica, la generación solar concentrada cuenta con un importante parque instalado a nivel mundial.⁽¹²⁾

Un ejemplo de confianza en la implantación de la tecnología solar lo tenemos en el hermano país del Altiplano de Los Andes, Bolivia. Aunque no está desarrollada esta tecnología a la escala de implantación como en Chile; Bolivia, con inmensos recursos de hidrocarburos gaseosos, apostó por un proyecto fotovoltaico, el *Proyecto Planta Solar de Cobija*, con 5 MW de generación, inaugurada el año 2015. Su segunda fase, generará 7,5 MW por lo que el Estado Plurinacional de Bolivia se ahorrará 1,8 millones de dólares al año, por concepto de consumo de diesel subvencionado.

Respecto a la energía solar concentrada, la destacada publicación de la revista, *Renewable Energy Policy Network for the 21st Century*, REN21⁽¹³⁾, ha señalado que el área de negocios de plantas de generación termosolar, puede alcanzar hasta un 6% de la demanda mundial y un 12% en el año 2050, por lo que muestra una rápida expansión y la factibilidad de implantación.

Tal como se muestra en la figura 26, obtenida de la misma publicación, se puede apreciar que la expansión termosolar se ubicó a 0,5 GW instalados en el 2005, a casi 5 GW en el 2015, en los tres países que liderizan este tipo de instalaciones, lo que demuestra su madurez y rentabilidad económica. A continuación, en la Tabla 16, se muestra el listado de las plantas termosolares más grandes del mundo, según REN21.

Figura 26 CAPACIDAD MUNDIAL INSTALADA EN PLANTAS DE ENERGÍA SOLAR CONCENTRADA/PAÍSES LÍDERES



NOTA: TOMADO DE REN21. *RENEWABLES 2016 GLOBAL STATUS REPORT. MARKET AND INDUSTRIES TRENDS* (2016).

Tabla 16 PLANTAS TERMOSOLARES DE MAYOR POTENCIA EN EL MUNDO

PLANTA TERMOSOLAR	MW	PAÍS
<i>Ivanpah.</i>	392	EUA
<i>Sistemas de Generación de Energía Solar (SEGS).</i>	354	EUA
<i>Solana.</i>	280	EUA
<i>Mojave Solar.</i>	280	EUA
<i>Proyecto de Energía Solar Génesis</i>	250	EUA
<i>Plataforma Solar de Extremadura Solaben.</i>	200	ESPAÑA
<i>Noor I-Quarzazate</i>	160	MARRUECOS
<i>Planta de Energía Solar Andasol</i>	150	ESPAÑA
<i>Central de Energía Solar Solnova</i>	150	ESPAÑA

NOTA: DATOS TOMADOS DE REN21. *RENEWABLES 2016 GLOBAL STATUS REPORT. MARKET AND INDUSTRIES TRENDS* (2016).

Basado entonces en este favorable desarrollo tecnológico, en lo que respecta a la generación eléctrica de origen solar, y el importante potencial energético disponible en nuestro país, presento a continuación un primer elemento de aproximación para establecer una estrategia de sincronización del SEN al clima. Esta estrategia comienza con la asignación de bloques de demanda eléctrica a determinados tipos de generación.

4.5 UNA PRIMERA APROXIMACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE UNA ESTRATEGIA DE SINCRONIZACIÓN.

4.5.1 La migración de la demanda residencial a la tecnología fotovoltaica.

Para esto debemos retomar lo que en el primer capítulo se indicó, respecto al PDSEN 2013-2019, que estimó que el parque de generación venezolano se establecería en 39.082 MW, de los cuales 46% serán aportados por el sistema de centrales hidroeléctricas y el 54% por las centrales termoeléctricas con energía de origen fósil.

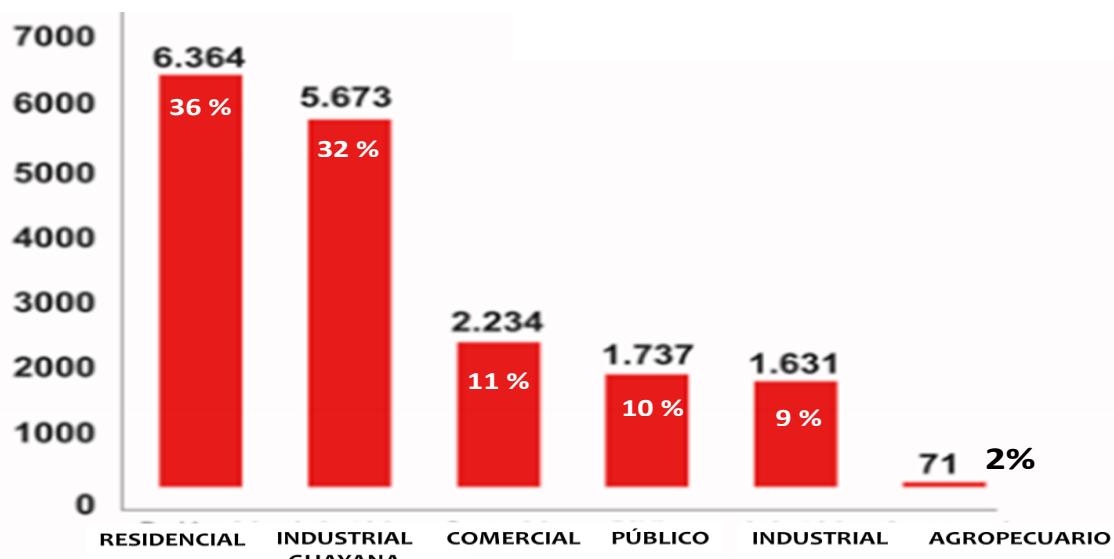
Hasta la fecha, no se han presentado cambios significativos en el desarrollo industrial, tecnológico y económico que hagan pensar un cambio en las condiciones que modifiquen el patrón de consumo eléctrico en Venezuela, desagregado como se muestra en el gráfico 11 elaborado por el MPPEE⁽¹⁴⁾. De ser así, y tomando como referencia los porcentajes de consumo presentados por los sectores indicados, en el mencionado gráfico, es posible delinear las bases para una estrategia de sincronización del sistema eléctrico nacional en la estación seca.

Observemos que el requerimiento de potencia instalada para el sector residencial es del 36%, que bien podemos considerar puede ser atendida mediante tecnología fotovoltaica. El clima preponderante en Venezuela es del tipo sabana (Aw), lo que favorece la implantación de esta tecnología, como ya se indicó.

Al enfocar nuestra atención en el consumo residencial, y redirigir este consumo hacia la energía solar, estamos desincorporando progresivamente, de la

termoeléctricidad fósil, una importante magnitud de la demanda nacional, es decir, un 36%. Si el estimado del PDSEN es implementar un 54% de potencia termoeléctrica fósil, ya resta solo cubrir un 18% con otros tipos de tecnología solar, para desincorporar ese porcentaje restante del mix fósil utilizado en el parque de generación venezolano, tema que trataremos más adelante.

Gráfico 11 DEMANDA PROMEDIO POR SECTOR MW



Nota: Fuente MPPEE. (2015). Tomado de albaciudad.org/2012/06/

Con la finalidad de evaluar la posibilidad de la sustitución de la energía fósil del consumo residencial, se presenta a continuación los resultados de la cantidad de paneles solares que requiere una casa con una demanda promedio de 2354,83 Wh-día, mediante del software CALCULATIONSOLAR⁽¹⁵⁾. Es importante resaltar, que el usuario de esta herramienta computacional debe introducir las coordenadas de la vivienda y determinar el consumo diario, los Wh/día de sus equipos eléctricos. En el anexo 2, se puede consultar el informe con los cálculos completos, y los detalles asociados con los equipos de la instalación para la potencia indicada.

4.5.2 Calculo del número de paneles solares requeridos para una casa,

Las coordenadas ingresadas necesarias para iniciar los cálculos, se obtienen de Google Maps y corresponden para una urbanización en la población de Ejido, estado Mérida.

Para los efectos del tema de este capítulo, nos ocupa determinar el número de paneles que se requiere para una vivienda y así cuantificar la oportunidad de expansión de esta tecnología en Venezuela, en el caso que el Sector decida reducir el consumo de combustibles fósiles sobre la demanda residencial.

La deducción de las fórmulas están en el alcance de este Libro, sin embargo, recomendamos ampliamente, iniciar este interesante campo de aplicación tecnológica, mediante la consulta sobre los métodos de cálculo impartido por el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT)⁽¹⁶⁾.

Un procedimiento que conduce al mismo resultado, de paneles solares requeridos, para una vivienda de potencia similar, puede ubicarse en un blog de *ELECTRICIDAD Y MATEMÁTICAS (2017)*⁽¹⁷⁾. En la figura 27, se muestra el interfaz de entrada de los datos. Con los datos ingresados, y tal como se puede consultar en el anexo 2, se determina el número de paneles solares, una vez que el usuario seleccione el tipo de panel y su potencia.

Figura 27 INTERFAZ DE ENTRADA SOFTWARE CALCULATIONSOLAR



NOTA: TOMADO DE SOFTWARE CALCULATIONSOLAR (2018).

En la figura 28, se muestra que, con 11 paneles se cubre la demanda o consumo diario, no quedando sobredimensionado, el generador fotovoltaico, por lo cual puede considerarse que la escogencia del tipo de panel y la potencia, resultó en un buen grado de optimización en función del consumo.

Figura 28 NUMERO DE PANELES REQUERIDOS.SOFTWARE CALCULATIOSOLAR



NOTA: TOMADO DE SOFTWARE CALCULATIONSOLAR (2018).

Al relacionar esta cantidad de paneles, con el 100% de las unidades de vivienda existentes en el país, establecido en 8.230.140, de acuerdo al Censo realizado en el año 2011, se tiene un potencial industrial de producción como mínimo de 90.531.540 paneles.

Esto significa, un mercado realmente en crecimiento, que espera la respuesta a tecnológica y económicamente a escala, en Venezuela. Entonces, desde el aprovechamiento solar, y considerando sólo el mercado energético residencial, se abre con la sincronización del SEN al clima, una oportunidad única de desarrollo tecnológico industrial masivo, dado que, se requerirá como mínimo la construcción de 90,5 millones de paneles solares y su reemplazo cada 20 a 25 años, que es el promedio de vida útil estándar ofrecido dependiendo del fabricante. El control de las minas y la tecnología de tierras raras es fundamental, y la República Popular China tiene mucha experiencia sobre eso. Ese país tiene el monopolio mundial de la producción y comercialización de este tipo de minerales estratégicos, fundamentales para la industria de fabricación de paneles solares y microcomponentes electrónicos, por lo que se puede explorar una alianza estratégica en el sentido científico, tecnológico y comercial.

Migrando a los consumidores residenciales a la tecnología fotovoltaica, se puede evitar el consumo energético originado por fuentes termoeléctricas, protegiendo la energía acumulada en los embalses, con la posibilidad que, el excedente energético que se presente en cada vivienda, pueda ser aportado a la interconexión, tal como progresivamente se está implementando en los países que desarrollan este tipo de política energética. Con solo acoplar climáticamente la demanda residencial al período de sequía, se abre un mundo de posibilidades relacionadas con la investigación y desarrollo de la energía solar en Venezuela.

4.5.3 Otro paso hacia la sincronización del SEN al clima: La implantación de tecnología solar concentrada.

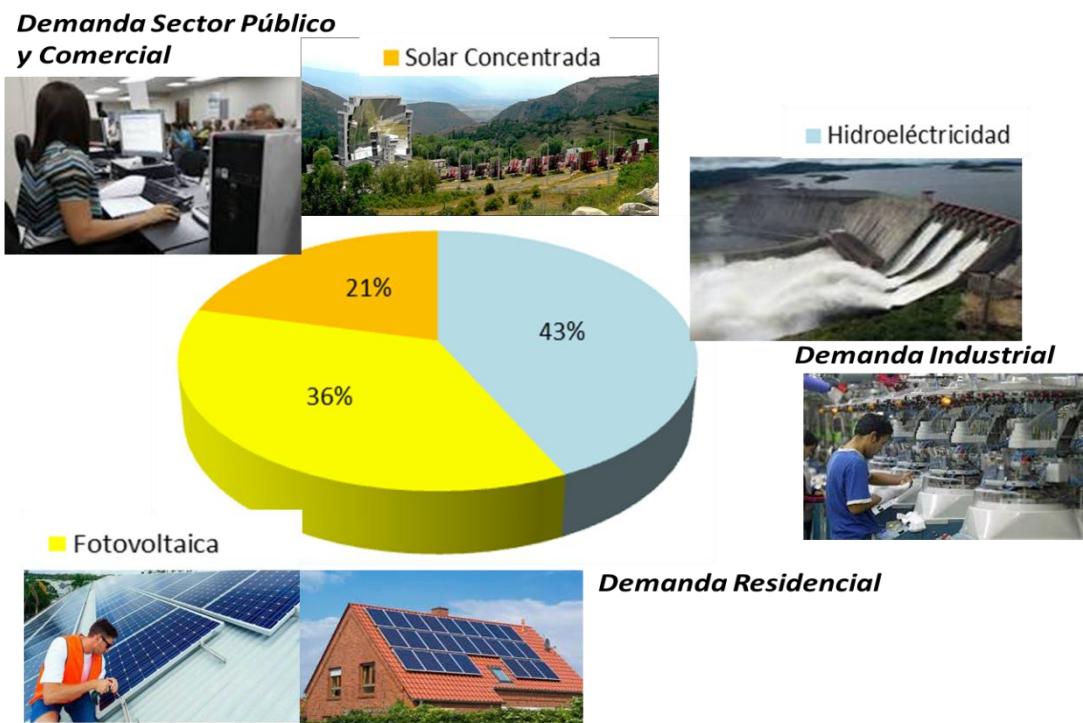
Pero se puede avanzar aún más. Otro elemento que contribuye con la posibilidad utilizar la radiación solar en Venezuela, es el hecho que existen áreas geográficas en nuestro país, que poseen la clasificación “Premium” y “Supremo” tal como se puede consultar en la figura anexo 4, que favorece a implantación de tecnologías relacionadas con la potencia solar concentrada, y generar importantes bloques de potencia eléctrica requerida para atender el resto de la demanda, como se vio anteriormente.

Entonces, seguido a la estrategia de la implementación de la energía fotovoltaica para desvincular el 36% de la demanda de las fuentes termoeléctricas de energía primaria fósil, se puede avanzar, colocando en el foco de la generación térmica solar concentrada, el consumo del sector público (10%) y comercial (11%), quedando solo la generación hidroeléctrica para suministrar energía al sector de industrias básicas de Guayana e industrias manufactureras del resto del país, incluyendo el sector agropecuario. Si totalizamos el consumo de los sectores residencial (36%), Público (10%) y Comercial (11%), y lo migramos a la tecnología solar, se estaría desincorporando el 57% de la generación que pudiera estar soportada por combustibles fósiles durante los períodos de sequía y en especial, durante el regreso de los efectos del fenómeno EL Niño.

Si tomamos en cuenta lo indicado por el PDSEN, según se mostró en la Tabla 1 del capítulo I, donde el Sector aspira aumentar la participación de la generación termoeléctrica en un 53% para el 2019, la energía solar bien puede cubrir la demanda de los sectores mencionados, en una combinación con la instalación de paneles solares flotantes sobre los embalses hidroeléctricos o no en Venezuela. La ausencia de variaciones climáticas importantes dentro de las áreas geográficas dominadas por el Clima semiárido *tropical* y *desértico tropical*, hacen posible la producción de la fotoelectricidad y termoelectricidad solar de forma continua durante todo el año, por lo cual puede reducirse aún más el porcentaje de participación hidroeléctrica en la temporada de sequías extremas.

A continuación se expone gráficamente una imagen objetivo de sustitución termoeléctrica fósil en la matriz energética venezolana, mediante la sincronización del sistema eléctrico nacional al clima, basado en la caracterización nacional de la demanda eléctrica nacional, tal como se puede apreciar en la representación que muestra la Figura N° 29.

Figura 29 SUSTITUCIÓN TERMOELÉCTRICA DE ORIGEN FÓSIL MEDIANTE LA CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA NACIONAL



Para concluir con lo anteriormente expuesto, podemos señalar que la generación hidroeléctrica solo atenderá desde el 43% al 47% de la demanda nacional en los lapsos de sequía, como política de protección de los embalses. La ausencia de variaciones climáticas importantes dentro de las áreas geográficas dominadas por el clima semiárido *tropical* y *desértico tropical*, hacen posible la producción de la fotoelectricidad y termoelectricidad solar de forma continua durante todo el año, por lo cual puede reducirse aún más el porcentaje de participación hidroeléctrica en las temporadas de sequía o los nuevos regresos indeseables de los efectos de El Niño.

Puede pensarse que la participación hidroeléctrica nacional irá disminuyendo a medida que las tecnologías de generación solar sean expandidas a nivel nacional. Sin embargo, la sincronización del sistema eléctrico al clima incluye la conformación de acumuladores hídricos, producto de considerar su extremo húmedo, implantados en las cercanías de las centrales hidroeléctricas existentes y así compensar cualquier intermitencia en la producción de estas fuentes.

Será determinante, para la entrada en el SEN de las tecnologías solares y de acumulación hidroeléctrica, la comparación de la curva de potencia en función de costos, para cada una de las futuras plantas con de las tecnologías propuestas, como fotovoltaica, la termosolar concentrada y la tecnología de acumulación energética masiva, (Centrales de Bombeo), lo que determinará en principio, cuál de estas tecnologías se impondrá en cada región climática del país, bajo los criterios técnica de despacho económico de carga.

Se deberá incluir en los futuros análisis, otras variables, tales como, la variable medioambiental y la necesidad de acumular agua, la mitigación de la lluvia ácida para la continuidad de la vida y la producción de alimentos, y una actitud firme para cumplir los acuerdos y pactos internacionales referentes a la amenaza que significa el Cambio Climático.

CAPÍTULO V: HITOS PARA LA SINCRONIZACIÓN CLIMÁTICA DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL

"A menudo, quienes vacilan en hacer planes es porque dudan también en su capacidad de cumplirlos".

MICHAEL LEVINE

5.1 SINCRONIZANDO EL SEN PARA EL REGRESO DE LOS EFECTOS DE "EL NIÑO".

La ventaja inmediata que puede ofrecer la sincronización del sistema eléctrico al clima, es la de afrontar con éxito el regreso de los efectos del fenómeno El Niño sobre el parque de generación venezolano. Pero a su vez, se puede implementar una estrategia con el objetivo de desincorporar progresivamente, del SEN, las plantas termoeléctricas instaladas en Venezuela, región por región, utilizando el gran potencial solar, donde geográficamente se puedan ubicar dichas plantas. Los estudios de ingeniería básica determinarán, cual tipo de planta solar será la más óptima para implementarla, sea solar concentrada o solar fotovoltaica, de acuerdo a la evaluación detallada de los datos en cada zona geográfica.

Si se tiene en cuenta que, por efectos del fenómeno El Niño, fue racionada la generación eléctrica nacional en 2000 MW, durante 40 días, de forma rotativa, para todos los estados del país durante las graves sequías, se puede concluir que, con dos plantas de 1000 MW, se podrá detener el descenso del embalse de Guri y demás embalses hidroeléctricos del río Caroní y del Sur Occidente del país y evitar el colapso eléctrico nacional frente a un próximo evento similar. En la figura 30, se presenta un esquema de algunas opciones que pueden ser seleccionadas para mitigar con éxito los efectos de este importante fenómeno climático, solo basado en energía solar. Para darnos una idea de lo que significa la magnitud del déficit de generación de 2000 MW, (que no pudo ser solucionado aún con la gran capacidad instalada termoeléctrica venezolana, tal como se mostró en la Tabla 1, del primer capítulo de este Libro, 2000 MW equivale a contar con una potencia eléctrica similar a una gran central hidroeléctrica como Caruachi de 2160 MW, con el agravante que, un proyecto de esta magnitud, requiere un tiempo considerable para su ejecución. Por ejemplo, el cronograma preliminar presentado en la reunión del año 2003, en el Banco

Interamericano de Desarrollo (BID), consideró para este proyecto, 13 años de ejecución⁽¹⁾. Por esto, la propuesta para afrontar con éxito el regreso de los efectos del fenómeno El Niño en este Libro, se basa en la sincronización del SEN al tiempo climático específico, comenzando por la energía solar.

Resalta que, con solo dos plantas de energía solar, de 1000 MW cada una, enfrentaremos los efectos de un nuevo fenómeno El Niño, *fuerte a muy fuerte*, que por su intensidad en el 2016, fue denominado “*EL NIÑO GODZILLA*”. Y solo con energía solar, y con las ventajas inherentes que tiene la simplicidad del proceso constructivo de estas plantas frente a la construcción de centrales hidroeléctricas, tal como hemos señalado. Así mismo, las plantas fotoeléctricas tienen a favor, su bajo costo de operación y mantenimiento frente a las plantas térmicas asociadas con la energía fósil.

Con base a lo indicado en el gráfico 4 del capítulo III, “*COMPORTAMIENTO BINARIO DEL CLIMA EXTREMO FENÓMENOS EL NIÑO Y LA NIÑA*”, se puede observar los ciclos de regreso de este fenómeno extremo: De la sequía de 1998, al nuevo evento en el 2003, pasarían 5 años. Luego otra gran sequía en el año 2010, lo que implica un regreso 7 años, para mostrarse en el 2013, con 3 años de retorno. Es público y comunicacional que los efectos del fenómeno El Niño, se presentaron en su característica *fuerte a muy fuerte*, en el año 2016, rompiendo el anterior record 1997-1998⁽²⁾, es decir 3 años nuevamente.

Una cuenta rápida nos dará un promedio de retorno de temporada muy seca entre (4) cuatro a cinco (5), años, sin embargo, hay fuentes como A.N. STRAHLER, (2005)⁽³⁾, que especifican que regreso del *EL NIÑO* se da en un período de tres a cuatro años (niños normales o canónicos) a ocho años (fuertes a muy fuertes). Si se toma el lapso de retorno más desfavorable en años, se establece que el Sector deberá esperar el regreso de *EL NIÑO* cada 3 a 4 años, es decir, a partir del año 2020, iniciando la cuenta regresiva a partir del 2016. Pero si se toma un regreso de 8 años, enfocados en su característica *fuerte a muy fuerte*, de este fenómeno extremo, se presentará en el año 2024, muy próximo al año estimado en el modelo presentado por la Universidad de Noruega, es decir, el año 2025.

Sucede entonces, que al comenzar a construir la primera planta solar en el año 2018, cumpliendo con los hitos que se proponen en el esquema indicado en la figura 5.1, se iniciará la posibilidad de sincronizar el SEN al clima, con la posibilidad que el Sector esté preparado ante los efectos de un fenómeno EL NIÑO.

5.2 UNA PROPUESTA PARA LA DESINCORPORACIÓN DE LA TERMOELECTRICIDAD EN VENEZUELA, BASADA EN ENERGÍA SOLAR.

Adicionalmente a lo anteriormente expuesto, Venezuela se ha caracterizado por requerir 1000 MW adicionales de potencia instalada cada año, dadas algunas condiciones que favorecen el consumo y la amplia penetración de la electricidad en todo el país, que satisface 98% de la población. Lamentablemente, no hay planta hidroeléctrica ni termoeléctrica con esa capacidad que pueda ser construida en un año.

No hay que olvidar, que todas las centrales requieren paradas para ejecutar el mantenimiento preventivo o correctivo. Paradas más largas se harán necesarias, a medida que avance el tiempo de servicio y los inherentes problemas vinculados a la obsolescencia, lo cual requerirán de más tiempo de intervención para efectuar la sustitución tecnológica requerida mediante la ejecución de planes de rehabilitación o modernización. Esto requiere de una capacidad instalada extra, por encima del consumo, disponible a nivel nacional.

En consecuencia, en la figura 30 se muestra algunos ejemplos de cómo Venezuela puede implementar la sincronización completa del sistema eléctrico nacional al tiempo climático, mediante la utilización de la energía solar, en su naturaleza fotovoltaica o solar concentrada. Con un total de 3000 MW en plantas del tipo termosolar concentrada o fotovoltaica, se desplazaría hacia la descarbonización, la producción de todas las plantas termoeléctricas del Estado Zulia. Esta cifra incluye el pico de demanda por efectos de El Niño. En este escenario, la instalación de este tipo de plantas puede convertir al Zulia, en un exportador neto de energía eléctrica, siendo este logro un hito extraordinario en el caso de ser concretado por el SEN.

En el caso de lograrse la implantación de estos proyectos energéticos solares, se logrará la preservación de los embalses regionales y nacionales durante la estacionalidad seca. También se puede redirigir la producción solar, que se genera en las regiones semiáridas, hacia el mercado internacional durante la estacionalidad lluviosa en Venezuela, para cubrir el déficit energético de zonas fronterizas, mediante las interconexiones ya existentes. Por ejemplo tenemos las interconexiones hacia Boa Vista en Brasil o hacia Colombia por Cuestecitas, y aquellas interconexiones presentes por el sur occidente venezolano hacia Colombia para Tibú o San Mateo. Así mismo con una sola de estas plantas se evitaría cargar al SEN, en períodos de sequía, una demanda similar a la demanda del Estado Falcón, 745 MW, y otra planta, de este tipo, puede cubrir simultáneamente los requerimientos de la demanda eléctrica del Estado Sucre, 357 MW, Trujillo, 400 MW y Cojedes, 200 MW.

Figura 30 SINCRONIZACION DEL SISTEMA ELECTRICO NACIONAL MITIGACION DEL NIÑO-OSCILACION SUR (ENOS)

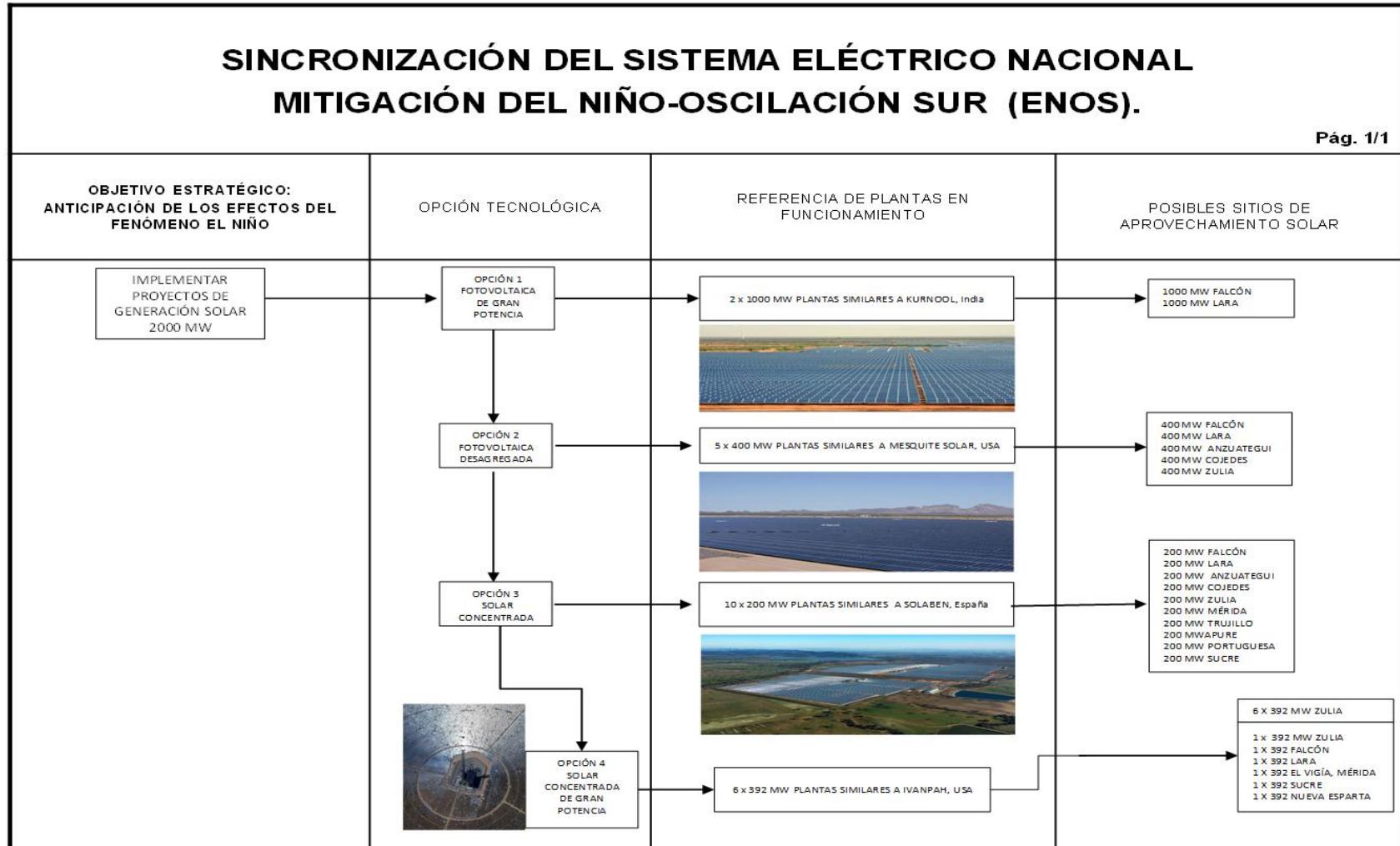
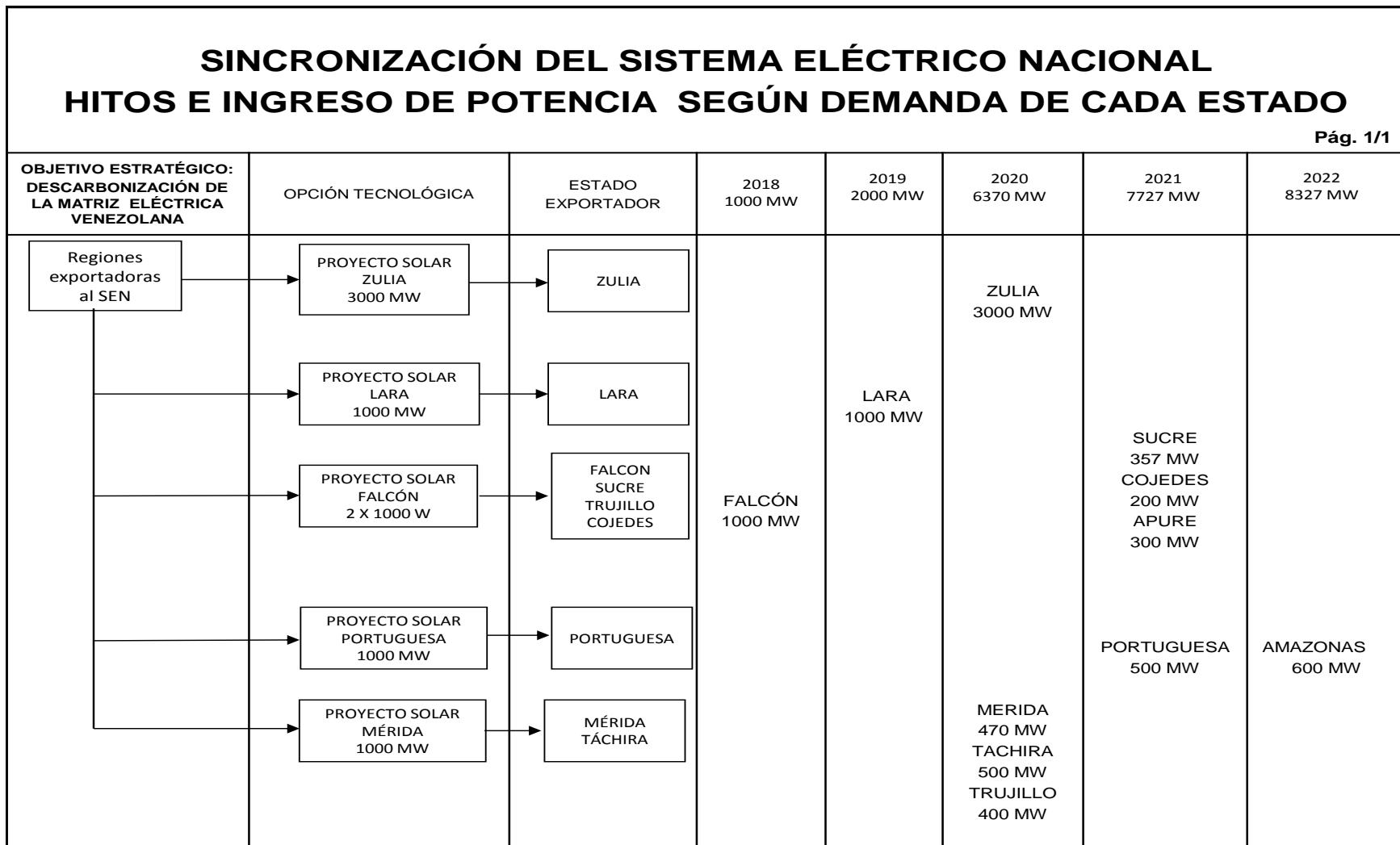


Figura 31 SINCRONIZACION DEL SISTEMA ELECTRICO NACIONA HITOS E INGRESO DE POTENCIA SEDUN DEMANDA DE CADA ESTADO



Los hitos en la figura 31, representan una aproximación para la elaboración de un plan y para mostrar el inmenso potencial de ordenamiento que el Sector puede desarrollar mediante la sincronización del SEN al clima, con pocas líneas de ejecución, con las consecuencias ambientales favorables que despliega su implementación.

Es importante aclarar que el sentido de prioridad y avance en el cumplimiento de estos hitos, toma en cuenta la lejanía al mayor centro de generación eléctrico venezolano, la central hidroeléctrica Simón Bolívar, la vulnerabilidad en cuanto al suministro de agua por efectos del fenómeno EL NIÑO y la cercanía al mayor centro poblacional y consumidor energético después del Distrito Capital, es decir, la región zuliana. Cada proyecto puede desarrollarse en fases, planificando hitos intermedios de acuerdo a la evaluación de distintos escenarios financieros y tecnológicos.

Así mismo, los hitos presentados implica la conexión de más de 8327 MW en seis (6) años, superando las necesidades de conexión interanual de la demanda, con el crecimiento histórico más alto en Venezuela, a razón de 1000 MW al año. Los tiempos de construcción establecidos para la instalación de las centrales Planta Solar Falcón, 1000 MW y Planta Solar Lara 1000 MW permite al Sector disponer anticipadamente de 2000 MW, que equivale a la potencia administrada por el MPPEE, tal como ya se ha señalado, lo que servirá para la protección del Guri y evitar el colapso eléctrico nacional. Pero en este momento, debo retomar el tema de las plantas hidrosolares, en especial, recordando los resultados mostrados en la Tabla 14 del capítulo IV. En esa tabla, se destacó el hecho que se puede obtener a través de tecnología hidrosolar, 21.401 MW de potencia; es decir, 1,2 veces la potencia conectada del SEN debido a la escalera de presas del río Caroní. Al comparar 21.401 MW hidrosolares, con 20.816 MW de origen térmico, (Tabla 1); que es la aspiración del PDSEN en el 2019 para “*no depender de la hidrología*”, se tiene que la tecnología hidrosolar cubriría completamente toda esa demanda, al menos 3,6 horas a plena potencia.

Con base a la sincronización del SEN al gran motor del Clima, el Sector puede establecer una estrategia basada en la combinación de las tecnologías hidrosolar, solar fotovoltaica y solar concentrada para la generación en el extremo cálido del clima. Con los resultados obtenidos en el capítulo 3, especialmente los resultados de la Tabla 6,

(que trata la posibilidad energética del extremo húmedo del clima), el Sector pudiera conducir a una solución definitiva del uso de la termoelectricidad con combustibles fósiles.

A continuación, en la Tabla 5.1-A, se presentan los porcentajes en generación, que bastarían para satisfacer la demanda de algunos estados, mediante un proyecto hidrosolar, en el embalse de Guri, con 5% de ocupación. Se agrupan los estados del occidente del país. Adicionalmente se incluye el estado Sucre. La Tabla 17, también puede entenderse, como los porcentajes de avance que debe tener el proyecto hidrosolar de Guri y los objetivos que solucionará en corto y mediano plazo. Por ejemplo cuando el proyecto hidrosolar alcance la meta del 0,93% de su potencia total de generación, se puede considerar que el estado Cojedes, con una demanda de 200 MW, puede considerarse desincorporado de la termoelectricidad fósil o protegido de los efectos del fenómeno El Niño.

Tabla 17 METAS DE CONEXIÓN DE POTENCIA AL SEN PROYECTO HIDROSOLAR GURI 21.401MW, 5% Y CARGA REGIONAL DESINCORPORADA DE LA TERMOELECTRICIDAD 3,6 HORAS/DÍA

Región	COJEDES	APURE	SUCRE	TRUJILLO	MERIDA	TACHIRA	PORTUGUESA	AMAZONAS	FALCÓN	LARA	ZULIA
MW	200	300	357	400	470	500	500	600	745	800	3000
% Project HydroSolar	0,93%	1,40%	1,67%	1,87%	2,20%	2,34%	2,34%	2,80%	3,48%	3,74%	14,02%
% Acumulado	0,93%	2,34%	4,00%	5,87%	8,07%	10,41%	12,74%	15,55%	19,03%	22,77%	36,78%

En la Tabla 18, se muestra este mismo porcentaje, en referencia al déficit de generación por efecto El Niño, y el valor del total de potencia del parque termoeléctrico venezolano para el 2019, según el PDSEN 2013-2019.

Tabla 18 METAS DE CONEXIÓN DE POTENCIA AL SEN PROYECTO HIDROSOLAR GURI-5% PROTECCIÓN DEL SEN Y DESINCORPORACIÓN DEL PARQUE TERMOELECTRICO 3,6 HORAS/DÍA

	EL NIÑO	PARQUE TÉRMICO VENEZOLANO
	(MW)	(MW)
MW	2.000	20.816
% Project HydroSolar	9,35%	97,27%

Los resultados de la tabla nos señala que con el 9,5% de la potencia instalada del proyecto hidrosolar, ya estaría protegido el SEN frente a un nuevo regreso del Niño, en su versión *fuerte a muy fuerte*, durante 3,6 horas/día a máxima potencia. Para el caso de resguardar la producción del SEN ante el regreso de este fenómeno nuevamente, en un tiempo mayor mayor a 3,6 horas/día, a máxima potencia, por ejemplo, 7 horas, se requerirá el doble del área de paneles fotovoltaicos, con la finalidad de mantener la misma potencia máxima pico por área. (Ver tabla 4.4: *Total de paneles para 1 kWp @ 360W, 3 x 360 W = 1,080kWp @7m²*). En este sentido, se presenta la Tabla 19, donde se muestra las metas de conexión del proyecto hidrosolar en Guri, para 3,6 horas/día y 7 horas/día de generación y su equivalente en potencia termoeléctrica desincorporada por región.

Tabla 19 METAS DE CONEXIÓN DE POTENCIA AL SEN PROYECTO HIDROSOLAR GURI 21.401MW, 5% Y CARGA REGIONAL DESINCORPORADA DE LA TERMOELECTRICIDAD 3,6 HORAS/DÍA Y 7 HORAS/DÍA

Región	COJEDES	APURE	SUCRE	TRUJILLO	MERIDA	TACHIRA	PORTUGUESA	AMAZONAS	FALCÓN	LARA	ZULIA
MW	200	300	357	400	470	500	500	600	745	800	3000
% Project HydroSolar 3,6 horas	0,93%	1,40%	1,67%	1,87%	2,20%	2,34%	2,34%	2,80%	3,48%	3,74%	14,02%
% Project HydroSolar 7 horas	1,87%	2,80%	3,34%	3,74%	4,39%	4,67%	4,67%	5,61%	6,96%	7,48%	28,04%
% Acumulado (7 horas/día)	1,87%	4,67%	8,01%	11,75%	16,14%	20,81%	25,48%	31,09%	38,05%	45,53%	73,57%

Puedo comenzar el análisis de estos resultados, indicando que, con un estimado de 7 horas de luz al día, la carga del estado Cojedes tomará el 1,87% de la potencia del proyecto hidrosolar. Ampliando esta línea de análisis, con solo 7 horas de luz al día, todos los estados señalados, en la Tabla 19, incluyendo la región zuliana, estarán tomando prácticamente el 74% de la potencia del proyecto hidrosolar de Guri. El 26% restante puede destinarse a reserva para mantenimiento o exportar al SEN, una cantidad de potencia eléctrica similar a la suma de la potencia requerida por los estados Cojedes, Apure, Sucre, Trujillo, Mérida, Táchira y Portuguesa, es decir, 2.727 MW. Esto significa asegurar, el consumo la Gran Caracas, 2.480 MW, por 7 horas. En este mismo sentido, la protección del SEN ante el regreso de un evento Niño, tomará solo el 19% de la capacidad de este proyecto. Para sustituir todo el parque de generación termoeléctrico, durante 7 horas de se requerirá duplicar de ocupación, llevarlo hasta un 10% de cubrimiento fotoeléctrico. Sin embargo, quedan otras alternativas, considerando

sólo energía fotovoltaica mediante paneles flotantes, y más cercano a centros de importantes de carga, por ejemplo, el Lago de Maracaibo y el Lago de Valencia.

5.3 LA RECONVERSIÓN DE LOS LAGOS Y EMBALSES EN GENERADORES SOLARES. EJEMPLOS: EL LAGO DE MARACAIBO Y EL LAGO DE VALENCIA.

Con la propuesta de la sincronización del SEN al clima, puede darse la oportunidad de reconvertir el Lago de Maracaibo y el Lago de Valencia en exportadores netos de energía limpia, en especial la de origen fotovoltaico, si replicamos allí lo que hemos propuesto para el embalse de Guri, es decir, implementar celdas fotoeléctricas flotantes. Las coordenadas utilizadas para la ubicación del Lago de Maracaibo fueron: Latitud: 9,862383 y Longitud: -71.547906.

La radiación promedio en esta área geográfica es de 5,38 kWh/m²/día, tal como se puede consultar en la figura anexo 7. Así mismo, en la figura anexo 8, se puede ubicar las coordenadas utilizadas para determinar la irradiación solar del Lago de Valencia. A continuación se muestra la Tabla 20, los valores de la potencia de radiación sobre los tres lagos más grandes del país, para su comparación y análisis.

Tabla 20 IRRADIACIÓN EN kWh/m²/día PARA EL LAGO DE MARACAIBO Y LAGO DE VALENCIA. PORCENTAJE RESPECTO A LA IRRADIACIÓN DE GURI

GURI	L. MARACAIBO	L. de VALENCIA
5,42	5,38	5,46
% Respecto a Guri	99%	101%

Tal como se puede observar, el nivel de irradiación solar de estos importantes lagos del país, su diferencia no supera el 1% del nivel de la potencia de irradiación indicado para Guri, por lo que, al utilizar paneles solares de la misma potencia seleccionados para el proyecto hidrosolar de Guri, 360W, los valores de potencia máxima se podrán determinar con el mismo procedimiento del capítulo 4, ajustando el valor de la magnitud del área de cubrimiento ecológicamente aceptable al valor de superficie de cada lago en particular, tal como se indica en las tablas 21 y 22. Dado que estos lagos actualmente no son aprovechables hidroeléctricamente, se tomará una

superficie de cubrimiento fotovoltaico menor, siendo 1,3% para el Lago de Maracaibo y 3% para el Lago de Valencia, en consideración a evitar impactos en las actividades socio económicas que allí se realizan. El otro aspecto que es importante resaltar, relacionado con la posible producción energética del Lago de Valencia, es que hemos realizado la comparación de su producción, con la capacidad instalada operativa de la central con la mayor capacidad termoeléctrica de Venezuela, la Central Termoeléctrica Planta Centro, que igual que el Lago de Valencia, se encuentra en el estado Carabobo. Tal como se puede apreciar en las tablas, con el 1,3% de ocupación de la superficie del Lago de Maracaibo, significa llevar al norte de Venezuela, el equivalente de producción de la escalera de presas del río Caroní, 17.744 MW, por 3,6 horas de luz, mediante la tecnología de paneles fotovoltaicos flotantes. Con el 3% de ocupación del Lago de Valencia, se desincorporaría por 3,6 horas, el 100% de la generación de la planta termoeléctrica más grande de Venezuela, Planta Centro, con una capacidad instalada operativa de 1000 MW.

Los resultados son favorables para la implementación en Venezuela de la tecnología solar, lo que abriría un mundo de posibilidades técnicas para resolver nuestra contradicción ontológica en cuanto a la visión de impulsar la generación termoeléctrica con el fin de “equilibrar” la matriz de generación termoeléctrica. Por ejemplo, se puede utilizar tecnología fotovoltaica producida en las regiones bajo el clima semi árido y desierto tropical, para extraer agua del Lago de Valencia, impulsando el agua hacia las elevaciones montañosas contiguas, pudiendo almacenar importantes volúmenes de agua, para su disposición en la agricultura y mitigar un problema crónico de las urbanizaciones y poblaciones vecinas, en las temporadas de lluvias. Puedo pensar en la utilización de la caída geodésica para generación hidroeléctrica, pero este punto se definirá mediante cálculos específicos de naturaleza técnica y estudios ambientales, aunado a los resultados de factibilidad económica.

Concluimos este Capítulo con los siguientes elementos de convicción que nos proveen la base para proponer la viabilidad técnica de la sincronización del SEN, con el extremo seco del Clima:

Tabla 21 POTENCIA MÁXIMA DE GENERACIÓN PARA UN CUBRIMIENTO ECOLÓGICAMENTE ACEPABLE DE 1,3 % PARA EL LAGO DE MARACAIBO

Potencia nominal Panel a 1000 W/m ² , 25°C, AM=2,5 (tabla 4.4)	360	W
Área de instalación a tecnología silicio monocristalino (tabla 4.3)	7	m ² /kWp
Total de paneles para 1 kWp @ 360W 3 x 360 W = 1,080kWp @7m ² (tabla 4.4)	3	Paneles/kWp
Area del Lago de Maracaibo en km ²	13.800	Km ²
Area del Lago de Maracaibo en m ²	13.800.000.000,00	m ²
Area ecológicamente aceptable (1,3%)	179.400.000,00	m ²
Potencia disponible sin pérdidas =138.000.000,00m ² /(7m ² /kWp)	25.628.571,43	kWp
Potencia considerando pérdidas (FS X PR) = 0,705 x kWp	18.068.142,86	KWp
Potencia en MW (Potencial generador L. de Maracaibo)	18.068	MWp
Relación con la escalera de presas del Caroní (17.744 MW)	1,02	Veces

1. Venezuela cuenta con una variada geografía con Climas muy favorables para la producción permanente de importantes bloques de potencia eléctrica, y en especial, la explotación de la energía fotovoltaica y termosolar concentrada. En este sentido, en las áreas geográficas bajo el *Clima Semiárido Tropical* y el *Clima Desértico Tropical*, se presentan valores superiores a 5,1 kW/m² hasta 7,7 kW/m² de radiación solar, lo que muestra un potencial aprovechable en el 20% del territorio nacional.
2. En el caso de presentarse los efectos del extremo climático *EL NIÑO*, con su consecuente reducción de precipitaciones o ausencia de las mismas, el Sector puede aprovechar las tecnologías fotovoltaicas y solares térmicas concentradas para no agotar los embalses hidroeléctricos.
3. Aún sin presentarse este fenómeno extremo, la energía solar en nuestro país es una excelente opción para desincorporar progresivamente el parque termoeléctrico alimentado con combustibles de origen fósil.
4. Mi propuesta de sincronización del SEN al clima, incluye aprovechar el potencial energético solar de importantes áreas que cubre la mancha de inundación de los embalses de captación de agua potable del país, incluyendo la posibilidad de una reconversión energética *post petrolera* del Lago de Maracaibo. Se puede extender esta propuesta de estudio, para convertir el Lago de Valencia en una

fuente energética *hidrosolar*, y que a su vez, pueda mitigar las inundaciones en las urbanizaciones vecinas, superando un problema social.

5. Con la instalación de paneles solares flotantes, se reduce las pérdidas energéticas de los embalses por efecto de evaporación, especialmente en los meses de mayor insolación.
6. Los tiempos requeridos para la construcción de estas centrales fotovoltaicas son mucho más reducidos en comparación con las centrales termoeléctricas o hidroeléctricas de potencia igual o superior a 1000 MW, lo que garantiza la viabilidad de este tipo de proyectos para responder a tiempo el regreso de los efectos del fenómeno EL Niño, en especial su ciclo *fuerte a muy fuerte*.
7. La energía solar abre una extraordinaria oportunidad para las Universidades del país, que permitiría abrir institutos de investigación, y desarrollo sobre sus tecnologías asociadas, dado el inmenso potencial de aplicación del país y a escala regional y mundial.

Tabla 22 POTENCIA MÁXIMA DE GENERACIÓN PARA UN CUBRIMIENTO ECOLÓGICAMENTE ACEPABLE DE 3 % PARA EL LAGO DE VALENCIA COMPARACIÓN CON LA CAPACIDAD OPERATIVA DE CENTRAL TÉRMICA PLANTA CENTRO, EDO CARABOBO

Potencia nominal Panel a 1000 W/m ² , 25°C, AM=2,5 (tabla 4.4)	360	W
Área de instalación a tecnología silicio monocristalino (tabla 4.3)	7	m ² /kWp
Total de paneles para 1 kWp @ 360W 3 x 360 W = 1,080kWp @7m ² (tabla 4.4)	3	Paneles/kWp
Area del Lago de Valencia en km ²	350	Km ²
Area del Lago de Maracaibo en m ²	350 000.000,00	m ²
Area ecológicamente aceptable (3%)	10.500.000,00	m ²
Potencia disponible sin pérdidas =10.500.000,00m ² /(7m ² /kWp)	1.500.000,00	kWp
Potencia considerando pérdidas (FS X PR) = 0,705 x kWp	1.057.500,00	kWp
Potencia en MW (Potencial generador L. de Maracaibo) Relación con Planta Centro, Estado Carabobo (1000 MW)	1057,5	MWp
	1,05	Veces

CONCLUSIONES

*"La vida sólo se puede entender mirando hacia atrás,
pero sólo se puede vivir mirando hacia delante"*
Soren Kierkegaard

En este libro se ha demostrado la innegable contradicción ontológica cuando se intenta resolver el déficit de generación con las causas que lo produce. Pero esta contradicción va mucho más allá del hecho energético, dado que contradice el espíritu del legislador del 1999 y la esencia ambientalista del Libertador plasmada en el Decreto de Chuquisaca de 1827. Lamentablemente tenemos que reconocer, que al momento de cumplirse lo planificado en el PDSEN 2013-2019, la matriz energética eléctrica venezolana regresará a los indicadores de 1984, donde la participación de la termoelectricidad se ubicó en 53%, superando a la hidroelectricidad. Luego entraremos en una estructura lógica que argumentará cada vez más el ingreso de nuevas plantas térmicas al SEN: *Más térmicas, más precursores del Cambio Climático, menos agua, menos hidroelectricidad, más térmicas....* Justificado este ciclo cada vez más con mayor amplitud y profundidad, con la progresiva disminución de precipitaciones y prolongación de períodos de sequías o ambos sucesos a la vez.

Aunque no son comparables las cifras netas de nuestra producción de precursores de Cambio Climático, originado por el parque termoeléctrico venezolano, en comparación con el mundo industrializado, seguimos la misma lógica de éste, cuando en la búsqueda de un supuesto desarrollo, se asocia de inmediato la producción de CO₂ por cada kW solicitado en nuestra economía. En otras palabras nuestra economía y nuestra energía están carbonizadas. A medida que se da el crecimiento de un país, este está vinculado automáticamente con el crecimiento de la demanda eléctrica, por lo cual, ante el escenario finito de la hidroelectricidad, se hará más necesaria la introducción de más y más, plantas termoeléctricas si no se establecen políticas robustas para la implantación de energías eco sustentables. En el caso de Venezuela, dado nuestro perfil de productor histórico de hidrocarburos líquidos y gaseosos, se avanzará cada vez más hacia la implantación de plantas operadas con energías primarias de origen fósil, dada las inmensas reservas comprobables existentes.

Puede entonces entenderse este Libro como un paso para la descarbonización de la matriz eléctrica venezolana. Es necesario que sea así, ya que se tiene planificado en el PDSEN, aumentar en un 60% la solicitud de consumo de combustible fósil al compararlo con las cifras del año 2012. Por esto, frente a lo establecido en la CRBV, estamos en una contradicción ontológica: Nada puede ser y no ser al mismo tiempo.

En este Libro se quiere recalcar que la producción termoeléctrica, además de poseer un potencial generador de precursores del cambio climático, está asociada a una importante capacidad extractiva de agua, que se convierte en un verdadero “boomerang” energético, obrando contra nosotros mismos, dado que, a futuro, toda generación de electricidad termoeléctrica conduce hacia el calentamiento global y a su vez será afectada por el mismo. La extracción de agua debe ser tratada cuidadosamente en aquellas ciudades alejadas del mar y específicamente, en aquellas poblaciones con climas donde este recurso sea limitado y puedan establecerse relaciones de competencia para este recurso. Se a señalado que el avance de la generación térmica en Venezuela está estructurado sobre la vulnerabilidad del sector hidroeléctrico al cambio climático y en especial a los efectos del fenómeno *El Niño*, lo que implicará el consumo energético de 388 mil barriles/día de petróleo equivalente, tal como lo expresa el PDSEN 2013-2019. Si el Sector inicia un plan para redirigir este importante flujo energético hacia el mercado externo, puede obtenerse una progresiva fuente de recursos para lograr la descarbonización de nuestra matriz eléctrica hasta de 19 MM USD/día, ***lo que representa la financiación diez proyectos hidroeléctricos diarios, con una potencia de 2000 MW***, por seis años, como se demostró en el capítulo1, sección 1-3. Entonces, podemos decir que es posible desde la misma sustitución termoeléctrica, contar con la base financiera para romper el ciclo que se impondrá por el justificativo de independizar el SEN de los efectos de las sequías prolongadas. Desde el punto de vista de ingeniería, la estrategia técnica que presento es la *sincronización del parque de generación eléctrica venezolano*, al gran motor del clima, valiéndonos de nuestra privilegiada ubicación geográfica que favorece tanto la producción de precipitaciones, como la alta calidad de la radiación solar recibida por unidad de área en un año. Propongo entonces, sincronizar el Sistema Eléctrico Nacional, comenzando trabajar sobre el extremo húmedo del clima, aprovechando el excedente energético que se presenta en los tiempos climáticos muy húmedos, y en

especial la presencia de *La Niña*. Ante la realidad de la estacionalidad seca, en su extremo, *El Niño*, estudiar a profundidad las bondades energéticas de los potenciales solares ubicados en la geografía venezolana.

...."Imagino un balancín donde en un extremo se sentó La Niña y en el otro El Niño. El parque donde juegan estos niños, es el parque de generación venezolano, sincronizado en un biorritmo donde los meses húmedos y secos se acoplen tecnológicamente para nuestro desarrollo...."

Ya sea que se cumpla en un año el modelo de la Universidad de Noruega (afectación de la generación mundial por sequías extremas) o el modelo del Instituto de Tecnología de California, (por subestimación de las precipitaciones), debemos estar preparados. Los resultados del aprovechamiento del comportamiento binario del clima puede significar hasta 2 veces el caudal turbinado anual de la Central hidroeléctrica Simón Bolívar en Guri, 7 días al año, lo que constituye una fuente para la conformación de acumuladores hídricos, en las cercanías de las centrales hidroeléctricas actualmente implantadas en Venezuela considerando los sitios con precipitaciones favorables. En presencia de la estacionalidad seca, la implantación de centrales solares protegerá los embalses hidroeléctricos. Dado que en el territorio nacional existen áreas geográficas con excelentes condiciones de radiación solar, la incorporación de plantas solares bien puede representar la base para una estrategia de desincorporación del combustible fósil de la matriz eléctrica venezolana. A continuación emitimos las siguientes alertas que en un futuro muy cercano, nos pueden impactar tecnológicamente, económicamente y socialmente:

1. Las empresas petroleras SHELL, ARAMCO, BP, PEMEX, STATOIL, REPSOL, entre otras, crearon un fondo de un billón de dólares para impulsar tecnologías orientadas a la descarbonización de la energía, (*Oil and Gas Climate Initiative-OGCI*). En otras palabras, están en un proceso de captura masiva de las patentes relacionadas con la generación ecosustentable.
2. Hoy día hay un claro camino hacia la masificación del transporte eléctrico. Están totalmente disponibles en el mercado, como opción comercial, la compra y venta de automóviles eléctricos. Las acciones de TESLA, tienen mayor valor que las de BMW, lo que obligó a esta empresa crear su BMWi-3.

3. Además de Tesla, fabrican carros eléctricos las empresas Mitsubishi, Renault, Volkswagen, Nissan, Opel, Ford, Peugeot, Mercedes-Benz, Hyundai, etc. Es una apuesta masiva para usar electricidad en el sector transporte. Ya se expuso el primer camión eléctrico con autonomía de 800 kms. Esto implica que en algún momento entre el año 2025 y 2050, se retirará totalmente la energía fósil usado en este sector, lo que significa retirar el 30% de la producción mundial de petróleo. Las grandes transnacionales lo saben.
4. Los dueños de las tecnologías de generación eléctrica ecosustentable, obligarán, a los países consumidores y productores de energía fósil, el desmantelamiento de su infraestructura carbonizada de generación, transporte e industrial, con la excusa del Cambio Climático, mediante progresivos impuestos al comercio y transacciones financieras. Hay instituciones que recuerdan lo planteado por el Ministro de Ciencia y Tecnología del Brasil, en 1990, José Goldemberg, de exigir 1 dólar por barril de petróleo producido y 6 dólares por tonelada de carbón, para financiar los programas y medidas necesarias para la descarbonización.
5. Hoy, el reconocido economista Gilbert Melcaft ,de *Tufts University*, mantiene la tesis de colocarle un precio a las emisiones de CO₂, que en el caso de ser aplicado de forma obligatoria en el comercio mundial energético, podemos decir que en Venezuela, será desastroso su resultado, dada la alta relación de emisiones que aportamos por cada dólar equivalente que genera nuestro aparato económico, una de las tasas más altas de *intensividad energética* en Latinoamérica..
6. Hagamos lo necesario, sincronizando nuestro parque generador al gran motor del clima. Hagamos lo posible, involucrando a las Universidades Territoriales Politécnicas en el tema de las energías solares y otras energías sustentables. De esta forma, nos encontraremos mañana haciendo lo que hoy es impensable: Que todas las Universidades venezolanas cuenten con un gran acuerdo tecnológico entre sí, donde cada una de ellas tome una parte de la investigación, desarrollo, implementación y producción de saber tecnológico, orientado a despejar esta amenaza energética: El cambio climático y su secuela de efectos sobre la naturaleza y las relaciones sociales, económicas y políticas a nivel *civilizatorio*.

ANEXO 1

ANEXO 1 PORCENTAJE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA E HIDRAÚLICA AÑOS 1963-2003.

ANEXO 2 UBICACIÓN DE LAS FUENTES DE AGUA DE LA CIUDAD DE CARACAS.

ANEXO 3 TEMPERATURAS PROMEDIO DE LA MAYOR PLANTA FOTOVOLTAICA DEL MUNDO KURNOOL INDIA.

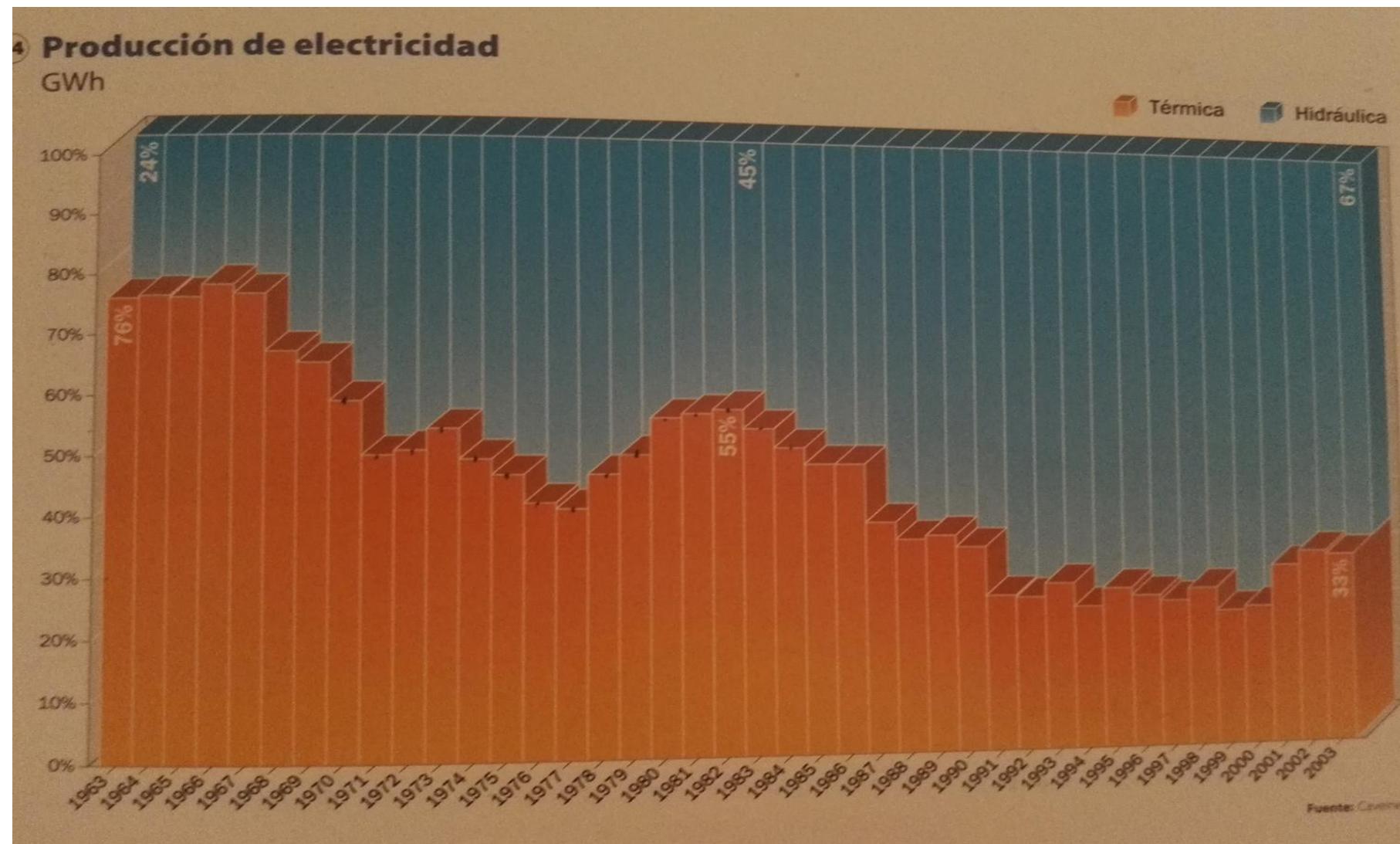
ANEXO 4 POTENCIAL ENERGÉTICO SOLAR VENEZOLANO EN kW/m²

ANEXO 5 UBICACIÓN DE LAS COORDENADAS DEL EMBALSE DE GURI MEDIANTE GOOGLE MAPS.

ANEXO 6 RADIACIÓN PROMEDIO DIARIA AL MES UTILIZANDO RETScreen de NASA

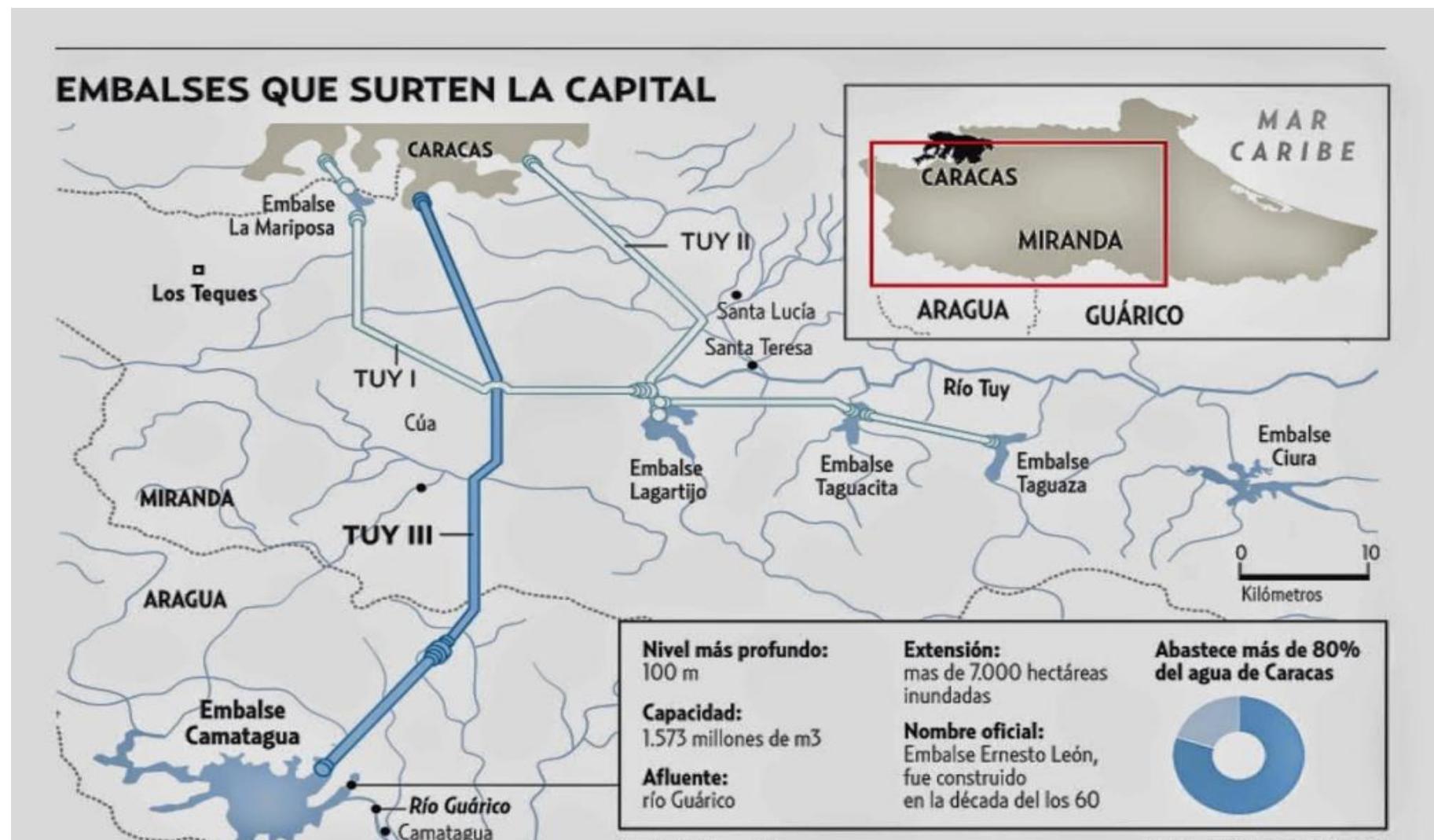
ANEXO 7 ESQUEMA DE INGRESO DE POTENCIA FOTOVOLTAICA PARA LA SINCRONIZACIÓN DEL SEN.

ANEXO 1 PORCENTAJE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA E HIDRAÚLICA AÑO 1963-2003.



NOTA: TOMADO DE LOS NÚMEROS CUENTAN SU HISTORIA. CVG EDELCA (2004).Caracas.

ANEXO 2 UBICACIÓN DE LAS FUENTES DE AGUA DE LA CIUDAD DE CARACAS

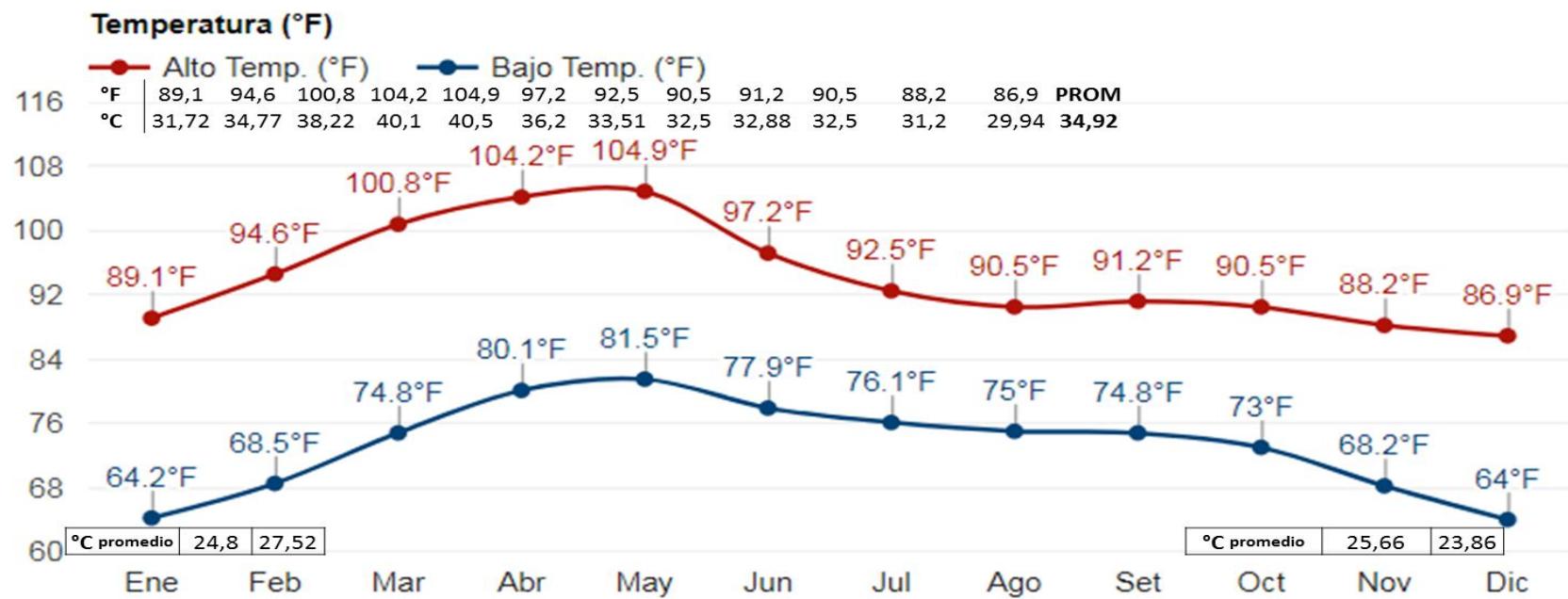


NOTA: INFOGRAFÍA DE EL UNIVERSAL, TOMADO DE PABELLÓN CAPITALINO (2015).

ANEXO 3 TEMPERATURAS PROMEDIO DE LA MAYOR PLANTA FOTOVOLTAICA DEL MUNDO KURNOOL INDIA

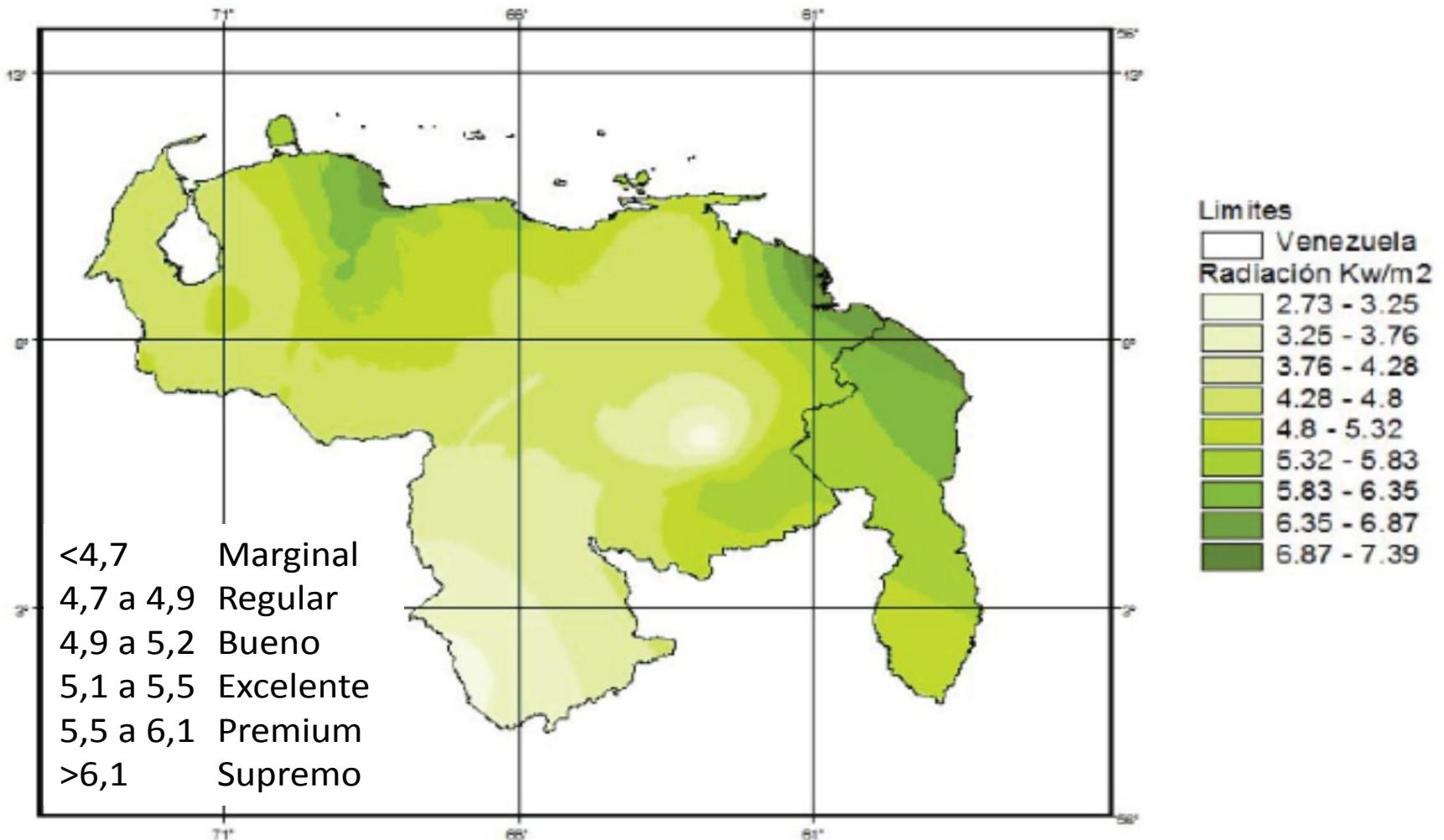
Temperatura media Kurnool, India

[Los recursos]

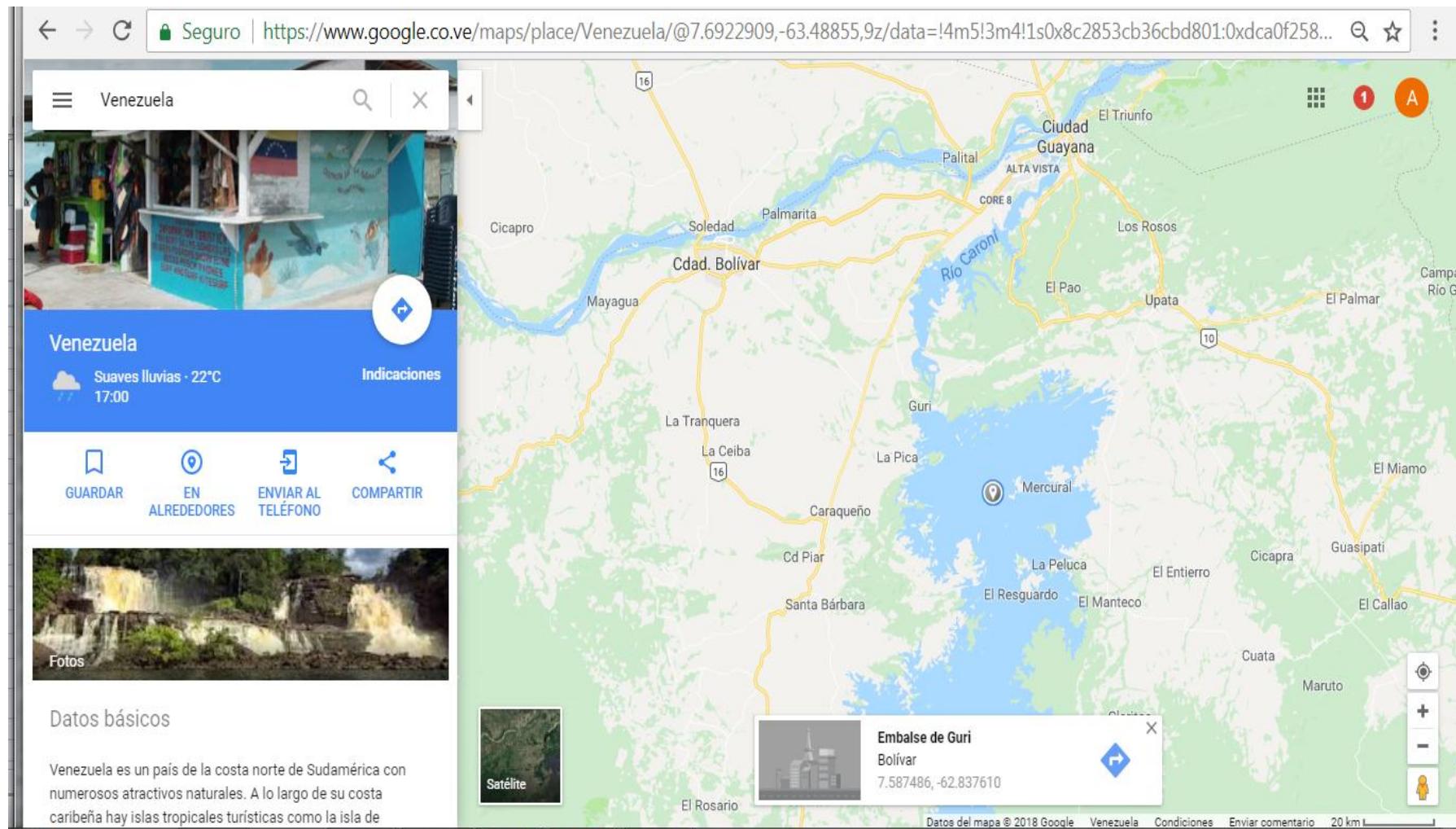


El promedio de las temperaturas cálida y fría, en los extremos de la curva, demuestran que sólo en Enero y Diciembre, son inferiores a 25°C.

NOTA: TOMADO DE <https://es.climate-data.org/location/4985/>

ANEXO 4 POTENCIAL ENERGÉTICO SOLAR VENEZOLANO en kW/m²

NOTA: TOMADO DE LA REVISTA GEOGRÁFICA VENEZOLANA, VOL55(1) (2014)

ANEXO 5 UBICACIÓN DE LAS COORDENADAS DEL EMBALSE DE GURI MEDIANTE GOOGLE MAPS

ANEXO 6 EMBALSE DE GURI RADIACIÓN PROMEDIO DIARIA AL MES UTILIZANDO

SSE Homepage	Find A Different Location	Accuracy	Methodology	Parameters (Units & Definitions)
				
NASA Surface meteorology and Solar Energy: RETScreen Data				
Latitude 7.587 / Longitude -62.838 was chosen.				
Latitude		Unit °N	Climate data location 7.587	
Longitude		°E	-62.838	
Elevation		m	342	
Heating design temperature		°C	19.09	
Cooling design temperature		°C	30.61	
Earth temperature amplitude		°C	8.96	
Frost days at site		day	0	
Month	Air temperature °C	Relative humidity %	Daily solar radiation - horizontal kWh/m ² /d	Atmospheric pressure kPa
January	23.7	75.6%	4.95	97.4
February	24.6	68.8%	5.32	97.4
March	25.8	62.8%	5.75	97.3
April	26.4	64.0%	5.71	97.3
May	25.6	73.9%	5.32	97.3
June	24.4	81.3%	5.27	97.5
July	24.1	81.9%	5.48	97.5
August	24.4	80.6%	5.70	97.4
September	24.5	79.5%	5.90	97.3
October	24.5	80.0%	5.60	97.2
November	24.3	81.0%	5.13	97.2
December	23.7	80.2%	4.88	97.3
Annual	24.7	75.8%	5.42	97.3
Measured at (m)				2.3
				10.0
				0.0



[Back to SSE Data Set Home Page](#)

Responsible > Data: Paul W. Stockhouse, Jr., Ph.D.
 Officials > Archive: John M. Kustner
 Site Administration/Help: NASA Langley [ASDC User Services](#) ([Contact Us](#))
[\[Privacy Policy and Important Notices\]](#)
 Document generated on Mon May 21 17:48:06 EDT 2018

RETScreen de NASA

ANEXO 7 LAGO DE MARACAIBO RADIACIÓN PROMEDIO DIARIA AL MES UTILIZANDO RETScreen de NASA

SSE
Homepage

Find A Different Location

Accuracy

Methodology

Parameters
(Units & Definitions)

 NASA

NASA Surface meteorology and Solar Energy - Available Tables

Latitude **9.862** / Longitude **-71.548** was chosen.

Geometry Information

Elevation: 537 meters
taken from the
NASA GEOS-4
model elevation

	Northern boundary	Center	Eastern boundary
Western boundary	-72	Latitude 9.5 Longitude -71.5	-71
Southern boundary	9		

Parameters for Sizing and Pointing of Solar Panels and for Solar Thermal Applications:

Monthly Averaged Insolation Incident On A Horizontal Surface (kWh/m²/day)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
Lat 9.862 Lon -71.548	5.15	5.50	5.79	5.50	5.35	5.46	5.72	5.89	5.61	5.16	4.78	4.73	5.38
22-year Average													

Minimum And Maximum Difference From Monthly Averaged Insolation (%)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Lat 9.862 Lon -71.548	-10	-18	-20	-11	-13	-10	-9	-10	-11	-12	-8	-20
Minimum	12	14	8	12	16	11	8	11	10	12	10	16
Maximum												



[Back to SSE Data Set Home Page](#)

Responsible > Data: Paul W. Stockhouse, Jr., Ph.D.
 Officials > Archive: John M. Kusterer
 Site Administration/Help: NASA Langley [ASDC User Services](#) ([Contact Us](#))
[\[Privacy Policy and Important Notices\]](#)
 Document generated on Sat May 26 20:42:13 EDT 2018

ANEXO 8 LAGO DE VALENCIA RADIACIÓN PROMEDIO DIARIA AL MES UTILIZANDO RETScreen de NASA

SSE
Homepage [Find A Different Location](#) [Accuracy](#) [Methodology](#) [Parameters
\(Unit & Definitions\)](#)

NASA Surface meteorology and Solar Energy - Available Tables

Latitude **10.171** / Longitude **-67.74** was chosen.

Elevation: 250 meters
taken from the
NASA GEOS-4
model elevation

Geometry Information

Northern boundary 11 Western boundary -68 Center Latitude 10.5 Longitude -67.5 Eastern boundary -67 Southern boundary 10
--

Parameters for Sizing and Pointing of Solar Panels and for Solar Thermal Applications:

Monthly Averaged Insolation Incident On A Horizontal Surface (kWh/m²/day)

Lat 10.171 Lon -67.74	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
22-year Average	5.37	5.60	5.96	5.58	5.33	5.36	5.67	5.79	5.75	5.30	4.93	4.92	5.46

Minimum And Maximum Difference From Monthly Averaged Insolation (%)

Lat 10.171 Lon -67.74	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Minimum	-12	-12	-12	-13	-8	-10	-10	-11	-13	-10	-9	-16
Maximum	9	14	9	13	11	6	7	8	12	11	9	15

[Parameter Definition](#)



[Back to SSE Data Set Home Page](#)

Responsible > Data: Paul W. Stockhouse, Jr., Ph.D.
[Officials](#) > Archive: John M. Kusterer
 Site Administration/Help: NASA Langley [ASDC User Services](#) ([Contact Us](#))
[Privacy Policy and Important Notices](#)
 Document generated on Sat May 26 21:09:43 EDT 2018

ANEXO 2

ANEXO 2 1 1. EJEMPLO DE DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE PANELES PARA UNA CASA FAMILIAR MEDIANTE SOFTWARE CALCULATIONSOLAR. INFORME COMPLETO.

Cálculo instalación solar fotovoltaica aislada

Se realiza un informe de una instalación solar fotovoltaica aislada de la red a partir de los datos de entrada introduciendo considerando los consumos estimados según las necesidades y el uso de los mismos y la radiación solar en función de la ubicación, orientación e inclinación de la instalación.

DATOS DE UBICACION Y ORIENTACIÓN

La instalación esta situada :

En las coordenadas :8,556934, -71,237342

El campo fotovoltaico estará dispuesto con las siguientes características:

- Inclinación :45 °
- Desorientación respecto al Sur :0 °

Usara un sistema de corriente alterna con un voltaje de 230 V

El sistema dispone de generador auxiliar

CONSUMOS.

Se calcula el consumo a partir del uso de los electrodomésticos y la iluminación por día. A continuación se muestra tablas de elementos existentes y sus consumos:

Consumo electrodomésticos (día)				
Aparato	Horas	Energía	Total	
Televisor	3	70 W	210 Wh	
Televisor	3	70 W	210 Wh	
Computadora	3	300 W	900 Wh	
Computadora	3	300 W	900 Wh	
Computadora	3	300 W	900 Wh	
Otros	2.83	1 W	2.83 Wh	
Frigorífico	8	195 W	1560 Wh	
Plancha	0.322	1000 W	322 Wh	
Lavadora	0.65	500 W	0 Wh	
Microondas	0.25	800 W	200 Wh	
		TOTAL	5204.83 Wh/d	

Consumo por Iluminación (día)				
Tipo	Nº	Horas	Energía	Total
Lámpara fluorescente	10	5	11 W	550 Wh
Lámpara incandescente	2	5	60 W	600 Wh
				TOTAL 1150 Wh/d

TOTAL ENERGIA TEORICA DIARIA 6354.83 WH/DIA

CXXVII

Para el calculo del rendimiento (Performance Ratio) se han utilizado los siguientes parametros:

Coeficiente perdidas en batería	5 %
Coeficiente autodescarga batería	0.5 %
Profundidad de descarga batería	60 %
Coeficiente perdidas conversión DC/AC	6 %
Coeficiente perdidas cableado	5 %
Autonomía del sistema	3 d
Rendimiento General	81.9 %

Lo que nos proporciona los siguientes resultados de energía.

TOTAL ENERGIA REAL DIARIA (WH/DIA): 7759.26

Se trata de una (vivienda de Uso habitual con los siguientes consumos distribuidos por meses a lo largo del año.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
% mes	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Consumos (W)	7759	7759	7759	7759	7759	7759	7759	7759	7759	7759	7759	7759

HORAS SOL PICO

Para el calculo de las hora son pico, se ha utilizado la base de datos NREL-NASA, contemplando la inclinación y orientación elegidas, así como los datos de localización del lugar.

La declinación solar se ha calculado con la siguiente formula:

$$[1] \delta = 23,45 \cdot \operatorname{sen} \left(360 \cdot \frac{284 + \delta_n}{365} \right) \quad \begin{array}{l} \delta: \text{declinación (grados)} \\ \delta_n: \text{día del año (1...365, tomado} \\ \text{1 para el día de enero)} \end{array}$$

Se ha elegido un día de cada mes, que viene a coincidir con un día a mediados de mes.

Para el calculo de la elevación solar se han tomado los valores:

- $(90^\circ - \phi - \delta)$ en el solsticio de invierno
 - $(90^\circ - \phi + \delta)$ en el solsticio de verano
- siendo ϕ la latitud del lugar y δ la declinación.

Para determinar la inclinación optima se han utilizado las siguientes premisas:

- $\beta = \phi - \delta$ en el solsticio de verano
 - $\beta = \phi + \delta$ en el solsticio de invierno
- pasando por el valor $\beta = \phi$ en los equinoccios
- siendo ϕ la latitud del lugar y δ la declinación.

Para la estimación del parametro rad_glo_op, se ha usado la siguiente fórmula:

$$G_a(\beta_{\text{opt}}) = \frac{G_a(0)}{1 - 4,46 \cdot 10^{-4} \cdot \beta_{\text{opt}} - 1,19 \cdot 10^{-4} \cdot \beta_{\text{opt}}^2}$$

Ga(β_{opt}): valor medio anual de la irradiación global sobre superficie con inclinación óptima ($\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$)
Ga(0°): media anual de la irradiación global horizontal ($\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$)
 β_{opt} : inclinación óptima de la superficie ($^\circ$)

Para la obtención del factor de irradiancia (FI) se han utilizado las siguientes expresiones:

$$FI = 1 - [1,2 \times 10^{-4} (\beta - \beta_{\text{opt}})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \alpha^2] \quad \begin{array}{l} \text{FI: Factor de radiación(sin unidades)} \\ \text{para } 15^\circ < \beta < 90^\circ \end{array}$$
$$FI = 1 - [1,2 \times 10^{-4} (\beta - \beta_{\text{opt}})^2] \quad \begin{array}{l} \beta: \text{Inclinación real de la superficie } (^\circ) \\ \text{para } \beta \leq 15^\circ \end{array}$$

β_{opt} : inclinación óptima de la superficie ($^\circ$)
 α : acimut de la superficie ($^\circ$)

Finalmente las horas sol pico (HSP) es el resultado de multiplicar la radiación global óptima (Ga(β_{opt})) por el factor de irradiación (FI).

CXXVIII

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Días mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Declinación	-21.27°	-13.62°	-2.02°	9.78°	19.26°	23.39°	21.18°	13.12°	1.81°	-10.33°	-19.6°	-23.4°
Nº día/año	15	45	76	106	137	168	198	229	259	290	321	351
Elevación solar	60.73°	68.38°	79.98°	91.78°	101.26°	105.39°	103.18°	95.12°	83.81°	71.67°	62.4°	58.6°
Inclinación optima	29.27°	21.62°	10.02°	1.78°	11.26°	15.39°	13.18°	5.12°	6.19°	18.33°	27.6°	31.4°
rad_glo_hor	4.66	4.7	4.66	4.31	4.27	4.37	4.51	4.56	4.71	4.5	4.29	4.36
rad_glo_op	5.27	5.03	4.74	4.32	4.36	4.53	4.63	4.58	4.74	4.73	4.78	5.02
FI	0.97	0.93	0.85	0.78	0.86	0.89	0.88	0.81	0.82	0.91	0.96	0.98
HSP/dia	5.11	4.68	4.03	3.37	3.75	4.03	4.08	3.71	3.89	4.3	4.59	4.92
HSP/mes	158.41	131.04	124.93	101.1	116.25	120.9	126.48	115.01	116.7	133.3	137.7	152.52
Temp dia max	27.06°	28.47°	29.07°	27.42°	26.47°	25.97°	26.1°	26.83°	26.98°	26.46°	25.97°	25.86°
Consu/HSP día	1518.45	1657.96	1925.37	2302.45	2069.14	1925.37	1901.78	2091.44	1994.67	1804.48	1690.47	1577.09

CALCULOS DE MODULOS

Para el calculo del campo fotovoltaico se ha tenido en cuenta la inclinación y orientación elegidas, las HSP, el ratio de aprovechamiento del regulador de carga y las temperaturas medias mensuales diurnas del lugar elegido. Dando los siguientes valores:

- * El mes más desfavorable según consumos: Abril
- * Inclinación optima anual: 9.22°
- * Inclinacion optima anual por consumos: 15.93°
- * Inclinación elegida:45°
- * Azimut módulos : 0°
- * Temperatura media mensual máxima diaria (3 meses): 27.65°
- * Horas Sol Pico en meses más desfavorables: 3.37 HSP
- * Energía Real Diaria desde módulos: 7759.26 Wh/d
- * Ratio de aprovechamiento regulador: 1
- * Potencia pico módulos calculada: 3113 Wp

La elección del módulo, tiene en cuenta los distintos parametros electricos, que determinan el rendimiento, las unidades necesarias y su acoplamiento con el regulador y bateria.A continuación se observan los detalles del modulo y los calculos elegidos.

CANADIAN SOLAR CS6X-300P POLICRISTALINO			
Voltaje a circuito abierto (voc):	44.6 V	Voltaje a potencia máxima (vmp):	36.1 V
Corriente de cortocircuito (isc):	8.87 A	Corriente a potencia máxima (imp):	8.3 A
Potencia máxima:	300 W	Coeficiente de temperatura de Pmax:	-0.44 %/°C
Potencia real a Temperatura media max :	298.834 Wp	Nº de módulos serie:	1
Potencia pico módulos total :	3300 Wp	Nº de series paralelo:	11
Optimización instalación/necesidades mes mas desfavorable :	1.06	Total modulos :	11
El grado de optimización elección equipo/necesidades reales es de			106 %

CALCULOS REGULADORES

Para la elección del regulador se tienen en cuenta los valores de tensión del sistema, los parametros de los módulos fotovoltaicos, lo que nos aporta un determinado grado de optimización. Ver a continuación:

- * Tensión sistema: 24 V
- * Tensión modulos Circuito abierto: 44.6 V
- * Tensión modulos maxima potencia : 36.1 V
- * Corriente de cortocircuito modulo: 8.87 A
- * Corriente a potencia máxima modulo: 8.3 A
- * Nº de módulos serie instalar: 1
- * Nº de módulos paralelo instalar: 11
- * Total modulos instalar: 11
- * Intensidad modulo a tensión sistema (abierto): 8.87 A
- * Intensidad modulo a tensión sistema (cerrado) : 8.3 A
- * Intensidad total sistema (abierto) : 98 A

La elección del regulador ha sido la siguiente:

STECA TAROM 235 PWM			
Tensión:	12-24 V	Voltaje máximo:	48 V
Potencia nominal:	0 Wp	Consumo propio:	14 mA
Capacidad de carga:	35 A	Ratio aprovechamiento :	0.74
El grado de optimización elección equipo/necesidades reales es de	107 %	Nº Reguladores :	3

CALCULOS BATERIAS

Para el calculo de la bateria, se ha tenido en cuenta, la energía necesaria, la tensión del sistema, así como la profundidad de descarga y la autonomía de dicho sistema en días.

- * Tensión nominal de baterías: 24 V
- * Profundidad de descarga de baterías: 60 %
- * Autonomía del sistema: 3 días
- * Energía Real Diaria: 7759 Wh/día
- * Capacidad útil baterías calculada: 970 Ah
- * Capacidad real baterías calculada: 1617 Ah

De lo que se desprende, que, adaptándonos al fabricante, utilizaremos una batería con 12 vasos en serie de 1 series en paralelo de 1808 Ah en C100 , por serie, dando un total de 1808 Ah en C100 y 24 V. Con esta acumulación se tendría la capacidad de almacenamiento de 3 días, con los consumos teóricos.

CXXX

ECOSAFE TYS-12 TUBULAR-PLATE

Capacidades de carga en función a sus horas de descarga:

C 10:	1314 Ah	C 20:	1483 Ah	C 40:	1754 Ah	C 100:	1808 Ah	C 120:	1830 Ah
Tensión:			2 V		Nº de elementos serie :			12	
Capacidad nominal acumulador :			1808 Ah		Nº de series paralelo :			1	
Tensión nominal acumulador :			24 V		Total elementos :			12	
El grado de optimización elección equipo/necesidades reales es de								112 %	

INVERSOR-CARGADOR

Para el dimensionado del inversor-cargador se han utilizado los siguientes datos:

- * Tensión sistema DC: 24 V
- * Tensión salida AC: 230 V
- * Potencia máxima: 3766 W
- * Coeficiente Simultaneidad: 0.7
- * Potencia mínima necesaria: 2636 W
- * Factor de seguridad: 0.8
- * Potencia de calculo : 3295 W

La elección del inversor-cargador ha sido la siguiente:

VICTRON MULTIPLUS C24/5000/120-50

Tensión:	24 V	Potencia nominal:	5000 W
Potencia continua:	4500 W	Potencia instantánea:	10000 W
Consumo en vacío :	25 W	Eficiencia :	94 %
Ratio aprovechamiento :	73 %	Nº inversores :	1
El grado de optimización elección equipo/necesidades reales es de			137 %

RESUMEN

Resumen de los elementos resultantes del cálculo

Unidades	Elementos
11	Modulo tipo -CANADIAN SOLAR CS6X-300P POLICRISTALINO
3	Regulador tipo - STECA TAROM 235 PWM
12	Bateria tipo - ECOSAFE TYS-12 TUBULAR-PLATE
1	Inversor tipo -VICTRON MULTIPLUS C24/5000/120-50

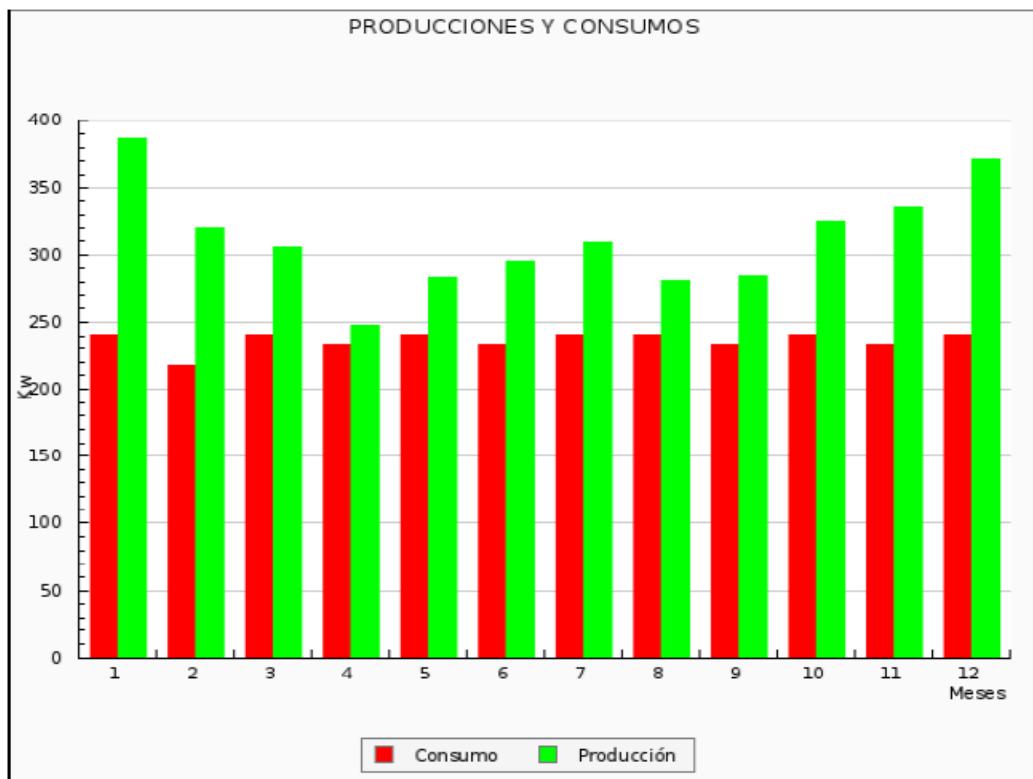
Con los elementos de consumos seleccionados y los componentes de las instalación calculados, obtenemos la siguiente comparativa de consumos y producción estimados a lo largo del año

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Consumo	241	217	241	233	241	233	241	241	233	241	233	241
Producción	387	320	305	247	284	295	309	281	285	325	336	372

Consumo total al año: 2836 Kw

Producción total al año: 3746 Kw

Total kg/año CO2 evitados: 2030



CAPÍTULO I

- 1 Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica (MPPEE). Despacho del Viceministerio del Servicio Eléctrico (2013). PDSEN 2013-2019, pag. 40 y 41.[Documento en Línea]. Disponible en: <http://www.mppee.gob.ve/planes/> [Consulta: 2 mayo de 2017]
- 2 CVG EDELCA.(2004).Dirección de Planificación. Los Números Cuentan su Historia. Caracas.
- 3 Comisión para la Cooperación Ambiental (CAC) de América del Norte. (2011). [Documento en Línea]. Disponible en: <http://www3.cec.org/.../10236-north-american-power-plant-air-emissio/> [Consulta:2 de mayo 2017]
- 4 Venezuela.justia.com. [Página web en Línea]. Disponible en: <http://venezuela.justia.com/federales/constitucion-de-la-republica-bolivariana/.../capitulo-ix/> [Consulta:2017, Mayo 2017 2]
- 5 Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica (MPPEE). [Página web en Línea]. Disponible en: <http://albaciudad.org/2012/06/> [mayo 2017]
- 6 TELESUR.net. [Página web en Línea]. Disponible en: <https://www.telesurtv.net/.../Trump-EE.UU.-se-retira-del-acuerdo-sobre-cambio-climatico/.../> [Consulta:7 de mayo 2017]
- 7 TELESUR.net. [Página web en Línea]. Disponible en: <https://actualidad.rt.com/actualidad/243377-hawking-trump-llover-acido-sulfurico-tierra/> [Consulta: 7 de mayo 2017]
- 8 Posso F., González J., Guerra F., Gómez H. (2014). Estimación del potencial de energía solar en Venezuela utilizando información geográfica. *Revista Geográfica de Venezuela* [Revista en Línea]. Disponible en: [prof.usb.ve/jaller/PPI_papers/CAPITULO_ACFIMAN.pdf](http://www.saber.ula.ve/.../Revista_Geografica_Venezolana - 055(1)[Consulta:10 de mayo 2017]
9 Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales (ACFIMAN), Academia Nacional de Ingeniería y el Hábitat (ANIH). Investigadores de la USB.[Documento en Línea],Disponible en: <a href=) [Consulta: 11 de mayo 2017].
- 10 Eduversia noticias. [Página web en Línea]. Disponible en: <http://noticias.universia.edu.ve/ciencia-nn-11/noticia/2010/11/18/687603/energia-nuclear/> [Consulta:11 de mayo 2017]
- 11 ONU. Objetivos de Desarrollo Sustentable. [Página web en Línea]. Disponible en <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/> [Consulta: 12 de Mayo 2017]
- 12 Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica (MPPEE). Despacho del Viceministerio del Servicio Eléctrico (2013). PDSEN 2013-2019, pag. 40 y 41.[Documento en Línea]. Disponible en: <http://www.mppee.gob.ve/planes/> [Consulta: 2 mayo de 2017]
- 13 Organization of the Petroleum Exporting Countries (OPEC). [OPEC Special Bulletin 3-18. [Página web en Línea]. Disponible en http://www.opec.org/opec_web/en/76.htm [Consulta: 03 mayo de 2018]
- 14 Banco Interamericano de Desarrollo (BID).[Página web en Línea]. Disponible en: <https://www.iadb.org/es/project/VE-L1003> [Consulta: 03 mayo de 2018]
- 15 GoldCore. Mark O'Byrne [Página web en Línea]. Disponible en <https://news.goldcore.com/us/gold-blog/must-see-charts-gold-hedges-usd-devaluation-rise-oil-food-cost-living-since-nixon-ended-gold-standard/> [Consulta: 03 mayo de 2018]

CAPÍTULO II:

- 1 López, A. Comité de Afectados por Apagones]. Disponible en: <http://globovision.com/article/comite-de-afectados-por-apagones-2017-tuvo-mas-de-18-mil-221-apagones-en-el-pais/>[Consulta:11 de enero, 2017]
- 2 Anuncio de suspensión del Racionamiento Nacional año 2018. Vicepresidencia de la República de Venezuela. Disponible en:[http://www.vicepresidencia.gob.ve/index.php/2018/04/12/suspendido-plan-de-administracion-de-carga-en-seis-estados-suoccidentales//](http://www.vicepresidencia.gob.ve/index.php/2018/04/12/suspendido-plan-de-administracion-de-carga-en-seis-estados-suoccidentales/)
- 3 La Guía de Filosofía. [Documento en Línea]. Disponible en: <https://filosofia.laguia2000.com/ciencia-y-filosofia/la-navaja-de-ockham/> [Consulta:5 de junio, 2017].
- 4 Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica (MPPEE). Despacho del Viceministerio del Servicio Eléctrico (2013). PDSEN 2013-2019, pag. 15.[Documento en Línea]. Disponible en: <http://www.mppee.gob.ve/planes/> [Consulta: 2 mayo de 2017]
- 5 UNESCO. WWDR Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2014. *Resumen Ejecutivo* (2014). [Documento en Línea]. Disponible en: www.unesco.org/new/es/natural-sciences/.../water/.../wwdr/2014-water-and-energy/ [Consulta:1 de junio 2017]
- 6 UNESCO. WWDR AGUA Y ENERGÍA DATOS Y ESTADÍSTICAS (2014). Informe de las Naciones Unidas [Documento en Línea]. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/> [Consulta:2 de junio 2017]

CXXXIII

- 7 Fernandez, A. Robles. Universidad de Cantabria. Centrales de Generación de Energía.(2015) [Documento en Línea]. Disponible en: <https://ocw.unican.es/.../Centrales-de-Generación-de-Energía-Eléctrica/> [Consulta:2de junio 2017]
- 8 Instituto Nacional de Estadística (INE). Censo de Población y Vivienda (2014).[Documento en Línea]. Disponible en: www.ine.gov.ve/documentos/Demografia/CensodePoblacionyVivienda/.../merida.pdf[Consulta:2 de junio 2017]
- 9 C|NET. How many gallons of water do you need to power a lightbulb?(2017).[Documento en Línea]. Disponible en: <https://www.fannmexico.net/> [Consulta: 3 de junio, 2017]
- 10 Humududu B., Killingtveit A.(2014). Assessing Climate Change Impacts on Global Hidropower(2012). *Revista energies* [Revista en Línea]. Disponible en: www.mdpi.com/journal/energies [Consulta:5 de junio 2017]
- 11 Hernandez, Nelson (2017). Que es el Costo Nivelado (LCOE). Documento en Línea. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos105/que-es-costo-nivelado-electrico-lcoe/que-es-costo-nivelado-electrico-lcoe.shtml>
- 12 Hugh Rudnick, Daniel Charlín, Federico Heisig, Andrea Mohr (2016). *Costo de abatimiento de nueva energía (lace) y costo de desarrollo de la energía (lcoe): la nueva forma de determinar la entrada de nuevas tecnologías al sistema.* Documento en Línea. Disponible en: <http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno16/abatim/Entrega%20final%20LCOE%20LACE.htm>
- 13 IRENA, International Renewable Energy Agency (2017). Informe Power Cost [Documento en Línea]. Disponible en:http://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Jan/IRENA_2017_Power_Costs_2018.pdf [Consulta:27de abril 2017]

CAPÍTULO III:

- 1 Campos J., Bravo Lelys. USB. Presentación. *Eventos Catastróficos por Inundaciones y Deslaves en Venezuela* (2011). Disponible en: http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/comir/documentos/l1_EVENTOS_CATASTROFICOS_JM_CAMPOS_USB.pdf [Consulta:7 de junio 2017]
- 2 Páez-Pumar E. Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. Presentación. *El Fenómeno El Niño y su influencia sobre la problemática Eléctrica en Venezuela* (2014). Disponible en: <http://www.innovaven.org/quepasa/ecoana62.pdf> [7 de junio 2017]
- 3 Diario Panorama. Inundaciones en Bolívar, Amazonas y Delta Amacuro dejaron 4.500 familias afectadas. (07/08/2017). Disponible en: <http://www.panorama.com.ve/ciudad/Inundaciones-en-Bolívar-Amazonas-y-Delta-Amacuro-dejaron-4500-familias-afectadas-20170807-0080.html>. [Consulta:10 de agosto 2017]
- 4 CLIMATE-DATA.(2017) [Página web] Disponible en: <https://es.climate-data.org/country/99/> [Consulta:7 de junio , 2017]
- 5 EDELCA. DIVISIÓN DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE TRANSMISIÓN. Presentación. *Situación Actual del Sistema Eléctrico Nacional* (2009). Disponible en: <https://es.slideshare.net/energia/venezuela-situacion-actual-del-sistema-electrico-nacional> [Consulta:2017, Mayo 2]
- 6 González, M., Leonardi, J., Córdova, J.R.(2014). CVE EDELCA, USB. *ESTIMACIÓN DEL HIDROGRAMA DE LA CRECIDA MAXIMA PROBABLE EN LA CUENCA DEL RÍO CARONÍ HASTA EL EMBALSE GURI*. XXIV CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA (2010). Revista Research Gate[Revista en Línea]. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Jose_Cordova5/publication/279448298/ [Consulta:12 de junio, 2017]
- 7 Hernández N. Presentación Entendamos el Coloso del Caroní. (2016). Disponible en: <https://es.slideshare.net/plumacandente/entendamos-al-coloso-del-caroni-quri> [Consulta:31 de mayo, 2017]
- 8 NATURE COMMUNICATIONS 8. *TIGHTENING OF TROPICAL ASCENT AND HIGH CLOUDS KEY TO PRECIPITATION CHANGE IN A WARMER CLIMATE*(2017). [Revista en Línea]. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/ncomms15771> [Consulta:10 de julio 2017]
- 9 NASA. Hui Su, Jonathan H., Neelin J., Shen J. y otros. *Changes of the Hadley Circulation Under Global Warming and Their Linkage with Climate Sensitivity and Hydrological Sensitivity*(2016). [Documento en Línea]. Disponible en: https://wec.gsfc.nasa.gov/sites/default/files/Su_AGU_2016.pdf [Consulta:10 de julio 2017]
- 10 Centro Nacional de Gestión del Sistema Eléctrico. Informe Anual 2008. [Documento en Línea]. Disponible en: https://urru.org/papers/2009_varios/Opsis2008.pdf[Consulta:13 de julio 2017]

CAPITULO IV

- 1 Pardo Amelia. *Tipos de Clima en Venezuela* (2017). [Presentación en Línea]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/amppp/tipos-de-clima-en-venezuela-segn-kppen-3296021.pdf> [Consulta:12 de julio 2017]
- 2 González, M., Leonardi, J., Córdova, J.R.(2014). CVE EDELCA, USB. *ESTIMACIÓN DEL HIDROGRAMA DE LA CRECIDA MAXIMA PROBABLE EN LA CUENCA DEL RÍO CARONÍ HASTA EL EMBALSE GURI*. XXIV CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA (2010). Revista Research Gate[Revista en Línea]. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Jose_Cordova5/publication/279448298/ [Consulta:12 de junio, 2017]

CXXXIV

- 3 CORPORACIÓN ELÉCTRICA DE VENEZUELA, CORPOELEC. Página web. Disponible en :
<http://www.corpoelec.gob.ve/procesos-medulares>. [Consulta:12 de marzo, 2018]
- 4 WEATER ATLAS. Disponible en: <https://www.weather-atlas.com/es/india/kurnool-clima>
- 5 KYOCERA TCL Solar Begins Construction on 13.7MW Floating Solar Power Plant. (2017). Disponible en: https://global.kyocera.com/news/2016/0102_knds.html. [Consulta:12 de julio 2017]
- 6 CIGS- FV(2017). Revista tecnológica en línea. Disponible en: <http://cigs-pv.net/why-invest-in-cigs-thin-film-technology> [Consulta:12 de marzo, 2018]
- 7 INTELEC INGENIERÍA. SEMINARIO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A LA RES. Disponible en: <http://docplayer.es/5621026-Dimensionado-de-sfcf-conceptos-basicos.html>
- 8 SunPanel. Página web del fabricante. Disponible en:
<https://www.sfe-solar.com/wp-content/uploads/2018/05/SPR-X21-X22-345-360-RES>
- 9 E. Lorenzo. Instituto de Energía Solar. Universidad Politécnica de Madrid. Documento en Línea. Disponible en <http://www.fotovoltaica.com/laenered.pdf>
- 10 Revista energía (2016). [Documento en Línea]. Disponible en: <https://www.revistaenergia.cl/?tag=pv-demand-market-tracker> [Consulta:12 de julio 2017]
- 11 Roca, José, El periódico de la energía.com(2017). Tomado de PV Demand Market Tracker de la consultora IHS Markit [Documento en Línea]. Disponible en: <http://elperiodicodeelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/> [Consulta:12 de julio 2017]
- 12 REN21.RENEWABLES 2016 GLOBAL STAUS REPORT. MARKET AND INDUSTRIES TRENDS (2016) [Revista en Línea]. Disponible en: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/05/GSR_2016_Full_Report_lowres.pdf [agosto 2017].
- 13 REN21.RENEWABLES 2016 GLOBAL STAUS REPORT. MARKET AND INDUSTRIES TRENDS (2016). [Documento en Línea]. Disponible en: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR_2016_Figure_18.jpg
- 14 Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica (MPPEE). [Página web en Línea]. Disponible en: <http://albacuidad.org/2012/06/> [mayo 2017]
- 15 Calculadora Solar en línea. Disponible en:
<http://calculationsolar.com/es/calcular.php#>
- 16 Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT). <http://www.ciemat.es/>
- 17 Tutorial de Cálculo de Número de Paneles de una Vivienda.
- 18 Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=oAmo6NKF1rs>

CAPITULO V

- 1 Ana María Rojas Rincón. Evaluación Económica del Proyecto Hidroeléctrico Tocoma vs Un Proyecto Termoeléctrico. Informe Parcial como requisito de Grado como Especialista en Finanzas de la Empresan (pag 70).Universidad Simón Bolívar, USB(2003). Documento en Línea. Disponible en: <http://159.90.80.55/tesis/000135677.pdf>
- 2 Noticias Univisión. Información (2015). Noticia disponible en Línea en: <https://www.univision.com/noticias/el-nino/fenomeno-el-nino-el-mas-fuerte-registrado-hasta-ahora>
- 3 Arthur N. Strahler (2005). Geografía física. Barcelona: Ediciones Omega, 3.^a edición, 7.^a reimpresión. Mencionado por wikipedia.org . [Documento en Línea]. Disponible en [https://es.wikipedia.org/wiki/El_N%C3%BAo_\(fen%C3%BCmeno\)](https://es.wikipedia.org/wiki/El_N%C3%BAo_(fen%C3%BCmeno)) [Consulta: Mayo 2018]

DEFINICIONES.

Tomadas directamente o de apoyo para su elaboración. Por orden de aparición:

- 1 https://es.wikipedia.org/wiki/Acuerdo_de_París
- 2 www.solucionespracticas.org.pe/que-es-un-aliviadero
- 3 <http://www.monografias.com/trabajos102/sistema-electrico-de-potencia/sistema-electrico-de-potencia.shtml>
- 4 https://es.wikipedia.org/wiki/Barril_equivalente_de_petr%C3%B3leo
- 5 <https://www.mapama.gob.es/.../cambio-climatico/.../que-es-el-cambio-climatico>
- 6 <https://www.itaipu.gov.py/es/energia/casa-de-maquinas>
- 7 diccionario.raing.es/es/lema/caudal-turbinado
- 8 <https://www.gasnaturalfenosa.es/es/conocenos/compromiso+y+sostenibilidad/cambio+climatico/energias+responables>
- 9 <http://www.unesa.es/sector-electrico/funcionamiento-de-las-centrales-electricas/1343-central-ciclo-combinado>
- 10 <https://jmirez.wordpress.com/2011/02/16/193-diagrama-esquematico-de-generacion-de-vapor-saturado-y-electricidad-por-ciclo-combinado/>
- 11 https://es.wikipedia.org/wiki/Central_hidroel%C3%A9ctrica
- 12 <https://journals.worldnomads.com/ligia-richard/photo/14722/413793/Brazil/Overview-of-the-Itaip-dam>
- 13 <https://journals.worldnomads.com/ligia-richard/photo/14722/413794/Brazil/The-control-centre>
- 14 <https://www.google.co.ve/search?q=imagenes+embalse+de+la+vuelta+santa&tbo=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwj-vMDzxqbbAhWNtlMKHVhIBu0QsAQIJQ>
- 15 https://www.google.co.ve/search?q=imagenes+central+simon+bolivar+guri&tbo=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwi_r9elx6bbAhUJoVMKHpypDsYQ7AkIPw
- 16 <https://www.google.co.ve/search?q=imagenes+de+la+central+de+caruachi&tbo=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwiD95rEyKbbAhWMvFMKHeB7B9oQsAQIJQ>
- 17 <https://www.google.co.ve/search?q=imagenes+del+embalse+de+santo+domingo+merida+venezuela&tbo=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwiTrsHmyKbbAhXGuVMKHdweAQqQsAQIJQ>
- 18 <https://www.google.co.ve/search?q=imagen+de+la+central+san+agaton&tbo=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwilnduByabbAhXR2FMKHYZeC9sQsAQIJQ>
- 19 <http://www.unesa.es/sector-electrico/funcionamiento-de-las-centrales-electricas/1347-central-hidroelectrica>
- 20 [central de bombeo de Okinawa Yanbaru.](http://www.unesa.es/sector-electrico/funcionamiento-de-las-centrales-electricas/1347-central-hidroelectrica)
- 21 [Cortes-La Muela, la mayor central de bombeo de Europa
https://www.energias-renovables.com/hidraulica/cortes-la-muela-la-mayor-central-de-bombeo-20131015](https://www.energias-renovables.com/hidraulica/cortes-la-muela-la-mayor-central-de-bombeo-20131015)
- 22 <http://energystoragesense.com/pumped-hydroelectric-storage-phs/>
- 23 <http://www.unesa.es/sector-electrico/funcionamiento-de-las-centrales-electricas/1345-central-fotovoltaica>
- 24 <http://cathology.info/block-diagram-of-solar-energy>
- 25 <http://www.areatecnologia.com/electricidad/centrales-termicas.html>
- 26 <http://yhqfdmuor.net/thermal-power-plant-block-diagram-6706-wiring-block.html>
- 27 http://www.tiempohoy.es/nc/es/home/tiempo/noticias-del-tiempo/noticias-del-tiempo/article/circulacion_general_las_tres_celulas
- 28 https://www.windows2universe.org/earth/Atmosphere/hadley_cell.html&lang=sp
- 29 <http://es.thefreedictionary.com/compensar>
- 30 https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_termsolar_de_concentraci%C3%B3n
- 31 <http://www.unesa.es/sector-electrico/funcionamiento-de-las-centrales-electricas/1350-central-solartermica>

CXXXVI

- 32 <https://www.google.co.ve/search?q=imagenes+de+centrales+termosolares&tbo=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwjjjT7-abbAhVEiMKHeqECNwQsAQIJQ>
- 33 http://www.opex-energy.com/ciclos/optimizacion_del_rendimiento_CTCC.html
- 34 https://sie.energia.gob.mx/docs/glosario_elec_es.pdf
- 35 https://sie.energia.gob.mx/docs/glosario_elec_es.pdf
- 36 <https://catedras.facet.unt.edu.ar/centraleselectricas/wp-content/uploads/sites/19/2014/10/Curvas-de-Carga-y-Generaci%C3%B3n.pdf>
- 37 <https://es.wikipedia.org/wiki/Eficiencia>
- 38 www.ing.unlp.edu.ar/catedras/H0505/descargar.php?doc...EmbalsesCompensadores...
- 39 <https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADA>
- 40 <https://diccionario.raing.es/es/lema/energ%C3%ADa-firme-0>
- 41 tallerecologista.org.ar/menu/archivos/glosario_energia.pdf
- 40 https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_gravitatoria
- 41 tallerecologista.org.ar/menu/archivos/glosario_energia.pdf
- 42 tallerecologista.org.ar/menu/archivos/glosario_energia.pdf
- 43 [https://es.wikipedia.org/wiki/El_Ni%C3%B1o_\(fen%C3%BDmeno\)](https://es.wikipedia.org/wiki/El_Ni%C3%B1o_(fen%C3%BDmeno))
- 44 [https://es.wikipedia.org/wiki/La_Ni%C3%B1a_\(clima\)](https://es.wikipedia.org/wiki/La_Ni%C3%B1a_(clima))
- 45 <https://definicion.de/gas-natural/>
- 46 https://es.wikipedia.org/wiki/Gas_de_efecto_invernadero
- 47 <https://es.wikipedia.org/wiki/Gas%C3%BDleo>
- 48 https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyEfficiencyVespagnol_epdf.pdf
- 49 https://www.wikilengua.org/index.php/mix_energ%C3%A9tico
- 50 <https://ceims.mppre.gob.ve/index.php?option=com...view...mision-arbol...misiones>
- 51 https://www.wikilengua.org/index.php/mix_energ%C3%A9tico
- 52 [www.exploradores.org.pe/pdf2.php?url=pdf/750/Informe...Potencia-instalada...](http://exploradores.org.pe/pdf2.php?url=pdf/750/Informe...Potencia-instalada...)
- 53 [www.exploradores.org.pe/pdf2.php?url=pdf/750/Informe...Potencia-instalada...](http://exploradores.org.pe/pdf2.php?url=pdf/750/Informe...Potencia-instalada...)
- 54 https://es.wikipedia.org/wiki/Central_hidroel%C3%A9ctrica
- 55 [www.exploradores.org.pe/pdf2.php?url=pdf/750/Informe...Potencia-instalada...](http://exploradores.org.pe/pdf2.php?url=pdf/750/Informe...Potencia-instalada...)
- 56 <https://www.asturias.es/portal/site/.../menuitem>
- 57 https://es.wikipedia.org/wiki/Gas_de_efecto_invernadero
- 58 https://es.wikipedia.org/wiki/Principio_de_no_contradicci%C3%B3n
- 59 newton.cnice.mec.es/newton2/Newton_pre/escenas/trabajo_energia/rendimiento.php
- 60 <http://www.corpoelec.gob.ve/sites/default/files/LeyOrganica de Servicio Electrico.pdf>
- 61 https://sie.energia.gob.mx/docs/glosario_elec_es.pdf
- 62 https://sie.energia.gob.mx/docs/glosario_elec_es.pdf
- 63 https://sie.energia.gob.mx/docs/glosario_elec_es.pdf