

LA ENERGÍA GEOTÉRMICA COMO FUENTE DE REDUCCIÓN DE GASES EFECTO INVERNADERO.

***Hernández C, Cadenas R, Bonales J.**

***Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Francisco J. Mújica s/n Col. Villa Universidad.
CP. 58060. Morelia, Michoacán, México Tel: 52 (443) 3165131 Ext. 1
claudia.hernandez04@hotmail.com**

**Comisión Federal de Electricidad. Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos.
Alejandro Volta #630 - Col Electricistas. C.P. 58290. Morelia, Michoacán, México.
Tel: 52 (443) 3227000 - roberto.cadenas@cfe.gob.mx**

**Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales.
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo - Francisco J. Mújica s/n Col. Villa Universidad.
CP. 58060. Morelia, Michoacán, México. Tel: 52 (442) 3165131 Ext. 5
jbionales@gmail.com**

Este documento muestra cómo la Comisión Federal de Electricidad (CFE), principal productor de energía eléctrica en México, y de igual manera, uno de los más importantes generadores de Gases Efecto Invernadero (GEI) del país, puede participar en la mitigación del riesgo que representa el Calentamiento Global a través del uso de energía geotérmica. El Campo Geotérmico Los Azufres, Michoacán, el segundo productor geotérmico en México, busca a través del proyecto denominado Azufres III, la sustitución de 7 centrales con más de 20 años de operación y baja producción, con 2 centrales de 50 MW y 25 MW respectivamente, de alta eficiencia productiva. Este proyecto logra una reducción equivalente a 164, 262 tCO₂, condición que lo ubica como un excelente prototipo generador de electricidad a través de procesos alternativos, contribuyendo con la reducción de GEI a la atmosfera que representa uno de los más importantes riesgos no solo para la economía sino para la permanencia de todas las especies en el planeta.

INTRODUCCIÓN

La Geotermia es una de las formas de producción eléctrica más limpias que existen. Países como Estados Unidos, Filipinas, Indonesia, Italia, Japón, Nueva Zelanda, Islandia, Costa Rica y El Salvador, cuenta ya con la producción eléctrica a través de este proceso y en total se genera a nivel global 10,717 MW instalados⁶⁴, en donde México ocupa el cuarto lugar global con una instalación de 958 MW. Sin embargo, dependiendo de la infraestructura, tiempo de vida de los equipos, y eficiencia productiva, el proceso productivo emite GEI aunque en menor medida comparado con los descargados por los combustibles fósiles.

El Campo Geotérmico Los Azufres (CGLA) produce anualmente 14 millones de toneladas de vapor endógeno, de los cuales aproximadamente el 3% (420,000 tCO₂) son desechados a la atmósfera. Si a través de la optimización de alguna etapa de su proceso productivo, se lograra la reducción de las emisiones actuales; además de mejorar la eficiencia de su producción, se evitaría la emisión de GEI causantes del Calentamiento Global, y se consolidaría como una empresa ambiental y socialmente comprometida con su comunidad.

1. La Geotermia en México

La energía geotérmica es aquella en donde energía calorífica proveniente del núcleo de la Tierra, se desplaza hacia arriba en el magma que fluye a través de fisuras en rocas y que alcanza niveles cercanos a la superficie. Este tipo de yacimiento está asociado a fenómenos volcánicos y sísmicos, cuyo origen común son los movimientos profundos que ocurren continuamente entre los límites de las placas litosféricas en las que se divide la porción sólida más externa del planeta (www.cfe.gob.mx). La composición del fluido geotérmico varía dependiendo del tipo de yacimiento que se trate.

Una de las grandes ventajas por la que la energía geotérmica se considera como una fuente "limpia", se debe a que la producción de electricidad a través de esta tecnología genera aproximadamente un sexto del CO₂ que producen las plantas que queman gas natural y prácticamente no producen óxidos de nitrógeno o de azufre. De acuerdo con información del Instituto de Investigaciones Eléctricas por cada 1,000 MWe generados con geotermia, se evita la emisión anual a la atmósfera de aproximadamente 3.5 millones de toneladas de CO₂ y 860 toneladas de diversas partículas contaminantes de las plantas que queman gas.

⁶⁴ Dato obtenido de la página www.geotermia.org.mx/geotermia/ en marzo de 2011.

Sin embargo, aunque las emisiones se reducen en gran volumen, el problema no está resuelto. Ya que las emisiones remanentes continúan descargándose directamente a la atmósfera y contribuyendo al cambio climático.

1.1. Campos Geotérmicos en México

Existen cuatro campos geotérmicos en funcionamiento: Cerro Prieto, Los Azufres, Los Humeros y Las Tres Vírgenes (Ver Fig. 1). Estos en conjunto producen 70.22 millones de toneladas de vapor endógeno al año⁶⁵, lo que significa que si tomáramos como base ejemplificativa que el 3% se descarga como gas de desecho a la atmósfera, estaríamos hablando de 2.10 millones de toneladas de emisiones por año, lo cual multiplicado por un precio 7 euros (precio del CER pactado para la Venta II, Oaxaca, México) equivaldría a casi 15 millones de euros, beneficio que se están dejando de ganar, ya que ninguno de los cuatro campos ha inscrito algún tipo de proyecto ante los organismos internacionales de participación en el Mercado de Carbono.



Fig. 1.

Campos Geotérmicos en México

Fuente: Instituto de Investigaciones Eléctricas. 2008

1.2. Campo Geotérmico Los Azufres

El Campo Geotérmico de Los Azufres (CGLA) se localiza en la Sierra de San Andrés, en el límite oriental del Estado de Michoacán, a 80 km al Oriente de la ciudad de Morelia y 250 km de la ciudad de México. Cuenta con dos caminos de acceso, construidos y preservados por la Comisión Federal de Electricidad (CFE): uno al norte, entronca con la carretera federal No.12 Morelia-México, y el segundo, al sur, entronca con la carretera federal No.15 Morelia-Ciudad Hidalgo. Está enclavado en un complejo volcánico a una elevación promedio de 2800 metros sobre el nivel del mar. La zona es boscosa, considerada desde 1979 como una "Zona de Protección Forestal". El sector estudiado comprende un área de 56 km², con las siguientes coordenadas UTM: norte: 2'194,000; sur: 2'187,000; este: 328,000; oeste: 320,000 (Torres, 2007) (Fig. 2).

En 1982 inició la explotación comercial del campo, con la instalación y puesta en servicio las primeras 5 unidades turbogeneradoras a contrapresión, de 5 MW cada una, y se fue incrementando en forma gradual hasta el 2003, cuando fueron puestas en servicio 4 unidades de 25 MW.

Actualmente, la capacidad instalada es de 188 MW, constituido por 14 unidades distribuidas: cinco en la zona sur alimentadas por el vapor de un grupo de 18 pozos productores, dos unidades de ciclo binario utilizando la salmuera residual y siete unidades en la zona norte alimentadas por el vapor de 22 pozos.

Para mantener operando las unidades se produce anualmente 14 millones de toneladas de vapor endógeno, en promedio, y 6,9 millones de toneladas de salmuera que son inyectadas en el yacimiento a través de 6 pozos inyectoras, con la finalidad de recargar el mismo y además evitar impactos negativos en el medio ambiente. A la fecha se han perforado 80 pozos con una profundidad de 600 a 3500 m de los cuales se tienen en su mayoría productores, inyectoras, de monitoreo, entre otros (Ver tabla 1).

⁶⁵ Información obtenida del Área de Ingeniería de Yacimientos de la Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos de la CFE. 2008

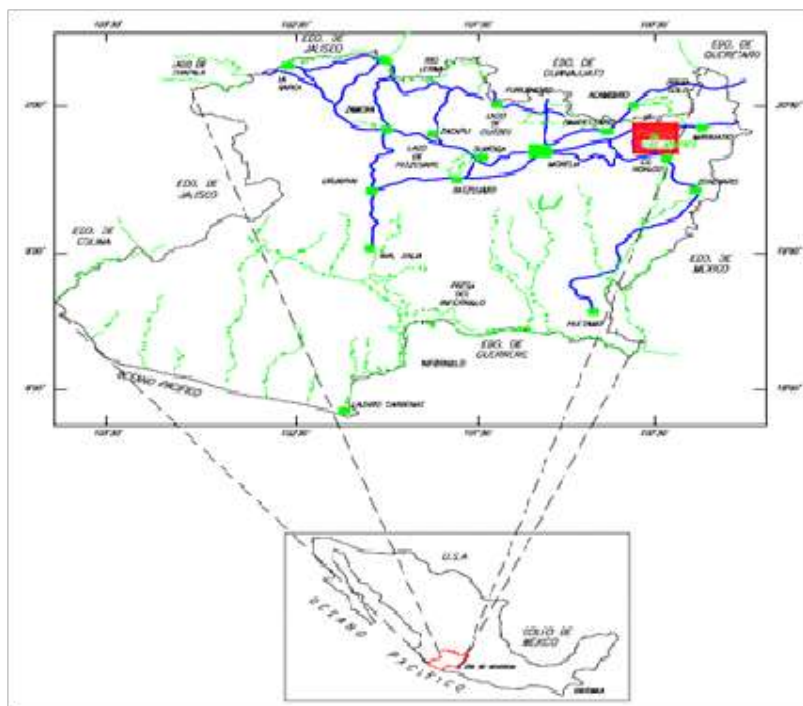


Fig. 2.

Localización del Campo Geotérmico Los Azufres, Michoacán

Fuente: Proyecto Azufres III, GPG, 2007.

Tabla 1. Pozos construidos en Los Azufres

<i>Productores integrados</i>	<i>Inyectores Integrados</i>	<i>No productores</i>	<i>Monitoreo</i>	<i>Exploratorios</i>	<i>Abandonados</i>
42	6	21	4	2	5

Fuente: Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos. 2007

Tomando en cuenta el equivalente a 420,000 t/año de las emisiones derivadas de los gases emitidos por el vapor geotérmico en este campo, la composición se conforma de la siguiente manera:

Tabla 2. Composición de gases incondensables del vapor endógeno

Gas	%	Cantidad (t/año)	GEI
Bióxido de Carbono (CO ₂)	97	407,000	Si
Acido Sulfhídrico (H ₂ S)	2.5	10.5	No
Amonio	1.3	5.5	No
Otros	1.2	5.0	No

Fuente: Elaboración propia con datos de GPG de la CFE. 2009

Este dato implica que el CGLA emite más de 400, 000 toneladas de bióxido de carbono que actualmente están contribuyendo a la contaminación ambiental y que son potencialmente reductibles.

2.1 Proyecto Los Azufres III

La Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos (GPG), entidad encargada de explorar y explotar el recurso geotérmico de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), realiza en el año 2007 un estudio (Torres, 2007), en donde se busca incrementar la eficiencia de producción del CGLA sin tener la necesidad de perforar nuevos pozos, ya que por razones presupuestales, no se contaría con el recurso, para lo cual se elaboró un proyecto denominado Azufres III.

En este proyecto, la GPG plantea el reemplazo de equipo obsoleto que lleva en operación desde el año 1982, 86, 90 y 92 (ver Tabla 3), lo cual representa a la fecha 27, 23, 19 y 17 años respectivamente en servicio continuo y a punto de cumplir su ciclo de vida útil, además, en todos los casos, éstas presentan un alto consumo específico de vapor endógeno para la generación de un MW, en comparación con equipos actualizados capaces de racionalizar la operación de los pozos y darle un uso más eficiente del vapor, y así, asegurar que el yacimiento suministre del vapor necesario por un tiempo de vida de 30 años más.

Es así como en este documento, se plantea la sustitución de un total de 7 unidades de 5MW a contrapresión de alto consumo específico (13.7 t/MW), por 2 unidades a condensación de 50 MW y 25 MW respectivamente, de bajo consumo específico (7.2 t/MW). De esta manera, en la zona norte se sustituirán 4 unidades de 5 MW por una de 50 MW; mientras que en la zona sur se sustituirán 3 unidades de 5 MW por una de 25 MW. Esta acción reducirá el consumo específico de 13.7 a 7.2 t/h-MW, lo cual significa una reducción en la cantidad de vapor endógeno usado en la generación eléctrica en 47.4%, y un aumento en la generación eléctrica de 35 MW a 75 MW en la entrega al Sistema Interconectado Nacional (SIN).

Tabla 3. Fecha de entrada en operación de las unidades del CGLA

UNIDAD	POTENCIA (MW)	CONSUMO DE VAPOR (t/h)	ENTRADA EN OPERACION	TIEMPO DE OPERACIÓN COMERCIAL
U-2	5	68	4-Ago-1982	27
U-3	5	65	10-Ago-1982	27
U-4	5	63	17-Ago-1982	27
U-5	5	68	26-Ago-1982	27
U-6	5	75	23-Dic-1986	23
U-7	50	440	12-Nov-1988	21
U-9	5	76	24-Abr-1990	19
U-10	5	75	14-Oct-1992	17
U-11	1.5	*	03-Jul-1993	16
U-12	1.5	*	7-Oct-1993	16
U-13	25	180	30-Ene-2003	6
U-14	25	180	7-Feb-2003	6
U-15	25	180	10-May-2003	6
U-16	25	180	2-Jul-2003	6

Fuente: Torres, 2007.

III CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE CAMBIO CLIMATICO Y DESARROLLO SUSTE

De esta manera se evita el gasto generado por la perforación de nuevos pozos (Torres, 2007) para la alimentación de dichas plantas, cumpliendo con la demanda requerida.

Basados en el hecho de la intención de la GPG por mejorar la eficiencia de la generación eléctrica en este campo, esta operación puede utilizarse de igual manera para se puede establecer el potencial de reducciones emitidas a la atmosfera de GEI y en específico del bióxido de carbono (CO₂), situación no contemplada en el proyecto Azufres III.

A continuación se realiza todo el desarrollo de medición y cálculos para la estimación del número de emisiones reducidas potenciales que el CGLA tiene la posibilidad de establecer a través de seguir la metodología aceptada por la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático.

2. Medición y Cálculo de resultados para el CGLA

Para poder realizar la estimación de la Reducción de Emisiones GEI, es necesario conocer la composición de los gases del yacimiento:

Zona	%w gases incondensables (promedio)	% CO ₂	% otros (H ₂ S, NH ₃)
Norte	2.7	97	3
Sur	10	97	3

Fuente: Elaboración propia con datos de la GPG. 2009

2.1 Determinación de las Emisiones Reducidas en el CGLA

Para determinar las ER, se propone calcular el potencial de ER de tCO₂ en base a la puesta en marcha de proyecto Azufres III. Para ello, y de acuerdo con los estatutos del Comité ejecutivo de la Convención Marco para el Cambio Climático (CMNUCC), deben realizarse dicho cálculo en base a una metodología consolidada y aprobada por dicha institución, a partir de una línea base de emisiones.

2.2 Metodología de la línea base

La metodología que se ajusta a las necesidades y objetivos del proyecto Los Azufres III y aprobada por la UNFCCC es la "Metodología consolidada de línea base para redes conectadas de generación de fuentes renovables, en su versión 9 (ACM0002). La cual se complementa con dos instrumentos denominados: "Herramienta para el cálculo del factor de emisiones para un sistema eléctrico" (EB 35/Anexo 12/V01.1); instrumento metodológico que determina el factor de la emisión del CO₂ para el desplazamiento de la electricidad generada por las centrales eléctricas en un sistema de la electricidad, calculando el margen de operación (OM) y margen de estructura (BM), así como el margen combinado. (CM); y la "Herramienta para calcular emisiones de CO₂ de salida del proyecto de la combustión de combustibles fósiles" (EB 41/Anexo 11/V2), instrumento que proporciona los procedimientos para calcular el proyecto y/o emisiones salida de CO₂ de la combustión de combustibles fósiles. Esto puede ser usado en casos donde las emisiones de CO₂ de la combustión de combustible fósil son calculadas basadas en la cantidad de combustible quemado y sus propiedades, en donde se determina las Emisiones de CO₂ de combustibles fósiles para un proceso "j", los cuales son calculados en base a la cantidad de combustible quemado y al coeficiente de emisión de CO₂ de ese combustible.

2.2.1 Identificación del escenario de la línea base

De acuerdo con la metodología (ACM0002) encontrada para desarrollar e identificar la línea base de la red nacional eléctrica, se deduce que de los tres escenarios que presenta dicha metodología, este corresponde a que:

- La actividad de proyecto es el reemplazo de una(s) central/unidad(es) de energía renovable ya existente, en el sitio del proyecto;

El reemplazo consiste en el hecho de reemplazar una o varias unidades existentes de la central eléctrica existente por una(s) nueva(s) central/unidad(es) de energía. La nueva de central/unidad de energía, tienen la misma o una capacidad superior de generación instalada de la central o unidad que fue reemplazada.

2.2.2. Límites del proyecto

La extensión espacial de los límites del proyecto incluye el proyecto de la central de energía y de todas las centrales de energía que están conectadas físicamente al sistema eléctrico al cual la planta de energía del proyecto MDL esté conectada. En otras palabras, para efectos de cálculo de línea base, el conjunto de elementos de referencia sobre el cual se realizarán las observaciones, será la red eléctrica nacional o el sistema interconectado nacional (SIN), ya que será el directamente afectado por efectos de las modificaciones que se realizarán en la central/unidad(es) de generación del campo geotérmico Los Azufres.

Las fuentes de emisiones se establecen de la siguiente manera:

- a) *Fuentes incluidas para la línea base:* El CO₂ como principal fuente de emisión de la red eléctrica nacional;
- b) *Fuentes incluidas de las actividades del proyecto:* las emisiones fugitivas de CO₂ como fuente principal de emisiones; y Las emisiones de CO₂ de la quema de combustibles fósiles para la generación de electricidad en centrales geotérmicas.

2.2.3. Factores de emisión

Un factor de emisión es una relación entre la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera y una unidad de actividad. Siendo que el tipo de factores que se buscan son para un proyecto geotermoeléctrico, éstos se consideran pertenecientes al grupo de “procesos energéticos”, en la rama de generación eléctrica a través de una fuente geotérmica, donde el factor de emisión, estará representado por la cantidad de CO₂ que se genera por MWh de electricidad generada para la red eléctrica. El factor de emisión de línea base es calculado a través de un margen combinado (CM), derivado de la combinación del margen de operación (OM) y el margen de construcción (BM). Es por ello, que a continuación se realiza la selección y cálculo de cada uno de ellos.

2.2.3.1. Margen de operación (OM)

Para este caso en particular el método escogido es el OM simple en la opción ex –ante, ya que se cuenta con la información necesaria, y la carga base está conformada por menos del 50 % de la generación total de la SIN.

La ecuación de cálculo para el factor Simple OM ex – ante es:

$$EF_{OMsimple} = \frac{\sum_{i,j} EG_{i,j,y} * COEF_{i,j}}{\sum_j EG_{j,y}} \quad (1)$$

Donde:

- EF_{OMsimple}, = Factor de emisión de CO₂ de margen de operación simple en el año y (tCO₂/MWh)
- EG_{m,y} = Generación neta liberada a la red por la energía de la central m en el año y (MWh)
- m = Todas las unidades de energía que sirven a la red eléctrica en el año y excepto las que conformen la carga base (low-cost / must-run)
- y = Los tres años más recientes en los que se tenga la información disponible al tiempo de remitir el MDL-PDD, en la opción ex – ante, ex – post).

III CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE CAMBIO CLIMATICO Y DESARROLLO SUSTE

Las eficiencias de conversión de las centrales de energía fueron tomadas de los reportes internos oficiales de la CFE. Información con la cual fue obtenido el promedio pesado de las eficiencias netas para cada combustible. La siguiente tabla muestra un extracto de la original obtenido del PDD del OM calculado para la Venta II, habiendo tomado este dato justificado por que los limites del proyecto fueron exactamente los mismos que para el tomado para este caso del CGLA; es decir se trata de misma red eléctrica nacional y el periodo para el cual fue calculado no se consideran cambios importantes respecto a la generación entregada.

Tabla 4. Factor OM Simple ex-ante

	Fuente de energía	MWh 2005-2003	NEC (%)	tCO ₂ e
15%	Carbón	29,664,595	33.05	29,960,588
31%	Ciclo combinado de gas natural	60,513,582	45.85	25,134,510
0%	Aire	4,957	0.00	
1%	Geotermia	1,503,031	0.00	
12%	Hidro	24,146,988	0.00	
5%	Nuclear	10,166,783	0.00	
5%	Ciclo simple de Gas Natural	9,651,782	28.96	6,346,893
1%	Diesel	1,783,210	26.10	1,803,753
30%	Aceite residual combustible	58,554,996	33.00	48,930,938
	Total	195,989,924		
	Bajo costo/arranque obligado	35,821,759		
	Total Bajo costo/arranque obligado	160,168,165		112,176,682
	Importaciones	7427.2		
	OM=	0.700368154		

Fuente: PDD de La Venta II: <http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/AENOR1168204945.7/>

2.2.3.2. Factor de emisión de margen estructural (BM).

Es el factor de emisión del promedio pesado de generación (tCO₂/MWh) de todas las centrales o unidades de energía m durante el año más reciente y para lo cual los datos de la energía generada están disponibles, y están calculados como se muestra a continuación:

$$EF_{gridBM,y} = \frac{\sum EG_{m,y} EF_{EL,m,y}}{\sum_m EG_{m,y}} \quad (2)$$

Donde:

$$EF_{grid,BM,y} = \text{Factor de emisión de CO}_2 \text{ del margen de construcción en el año y (tCO}_2\text{/MWh)}$$

$$EG_{m,y} = \text{Cantidad neta de electricidad generada y liberada a la red por la central de generación m en el año y (MWh)}$$

$$EF_{EL,m,y} = \text{Factor de emisión de CO}_2 \text{ de la central de energía m en el año y (tCO}_2\text{/MWh)}$$

De esta manera a continuación se muestra el resultado del factor estructural BM para el primer periodo crediticio.

Tabla 5. Factor de Operación BM ex-ante.

	Fuente de energía	MWh 2005-2003	NEC (%)	tCO ₂ e
0%	Carbón	-	33.05	
95%	Ciclo combinado de gas natural	40,963,715.00	45.85	17,014,410
0%	Aire	-	0.00	
2%	Geotermia	932,226.00	0.00	
2%	Hidro	717,068.00	0.00	
0%	Nuclear	-	0.00	
1%	Ciclo simple de Gas Natural	401,218.00	28.96	263,836
0%	Diesel	11,431.00	26.10	11,562
0%	Importaciones	143.94	0.00	
0%	Aceite residual combustible	-	33.00	
	Total	43,025,801.94		17,289,808
	BM=	0.401847432		

Fuente: DDP de La Venta II: <http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/AENOR1168204945.7/>

2.2.3.3. Factor de emisión del margen combinado (CM)

La ecuación para el cálculo del factor de emisión del margen combinado (CM) se muestra a continuación:

$$EF_{grid,CM,y} = (EF_{OM,y} * W_{OM}) + (EF_{BM,y} * W_{BM}) \quad (3)$$

Donde:

EF _{grid,BM,y}	=	Factor de emisión de CO ₂ de BM en el año y (tCO ₂ /MWh)
EF _{grid,OM,y}	=	Factor de emisión de CO ₂ de OM en el año y (tCO ₂ /MWh)
W _{OM}	=	Factor pesado de emisión del margen de operación (%)
W _{BM}	=	Factor pesado de emisión del margen de estructural (%)

La metodología establece valores por defecto para ser usados para W_{OM} y W_{BM}, los cuales para el caso específico de las características del proyecto presente proyecto le corresponden para el caso de W_{OM}=0.5 y W_{BM}=0.5 para el primer periodo crediticio.

De esta manera, la ecuación para el factor de emisión del factor combinado queda:

$$CM_y = (0.70036 * 0.5) + (0.41085 * 0.5)$$

CM y	=	0.5556 tCO₂/MWh
-------------	----------	-----------------------------------

Es así como habiendo obtenido el dato del factor de emisión CM de CO₂, el resultado se interpreta como que *por cada megawatt generado en la red eléctrica mexicana, se producirá una emisión de 0.5556 tCO₂*. Dato que podría servir como base para el cálculo de próximos trabajos de MDL en la REN (Red Eléctrica Nacional). Ya que además se trata de un valor conservador tomando en cuenta que se tomaron los valores por defecto en base a la metodología aprobada por la UNFCCC.

Para la realización del resto de los cálculos, los datos del CGLA fueron divididos en dos zonas: norte y sur; situación motivada por las diferencias en las propiedades fisicoquímicas de cada una de las zonas. Sin

III CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE CAMBIO CLIMATICO Y DESARROLLO SUSTE

embargo, habiendo ya obtenido los datos de las RE, se conjuntarán para realizar las estimaciones del beneficio financiero.

Recordando las acciones del proyecto Azufres III, el principal objetivo de este, consiste en la sustitución de 4 unidades en la *zona norte* y otras 3 unidades en la *zona sur*. De esta manera, los cálculos se realizarán en el siguiente orden:

1. Cálculo de la línea base de las emisiones de CO₂ derivadas del proyecto;
2. Cálculo las emisiones actuales y desplazadas de la red debido a las actividades del proyecto;
3. Cálculo las Emisiones Reducidas totales (ER).

Para estimar los anteriores cálculos es necesario conocer las características de las plantas de generación eléctrica tanto de las nuevas centrales, como de las que actualmente se encuentran en operación. Por lo que a continuación se muestran dichas características en las siguientes tablas:

Tabla 6. Características de equipo para el proyecto Azufres III

CONCEPTO	Zona Norte	Zona Sur
Capacidad neta del proy Los Azufres III, MW	50	25
Capacidad actual de las unidades a contrapresion, MW	20	15
Incremento en la capacidad, MW	30	10
Incremento en el consumo de vapor, ton/h	106	4
Consumo total de vapor, ton/h	380	210
Factor de capacidad	0.85	0.85
Contenido de gases de yacimiento, %w	3	10
Composicion del gas de yacimiento:		
CO ₂ , %w	97	97
H ₂ S, %w	2	2
NH ₃ , %w	1	1

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la GPG de la CFE. 2009

Tabla 7. Características de unidades en operación del CGLA

CONCEPTO	Zona Norte	Zona Sur
Generación Neta actual por unidad, MW	5	5
Numero de unidades de generación	4	3
Capacidad específica de unidad de generación t/MWh	13.7	13.7
Consumo de vapor por unidad de generacion t/h	274	20.5.5
Despacho horario anual h/año	8760	8760
Contenido de gases de yacimiento, %w	3	10
Composicion del gas de yacimiento:		
CO ₂ , %w	97	97
H ₂ S, %w	2	2
NH ₃ , %w	1	1

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la GPG de la CFE. 2009

2.2.4. Cálculo de las emisiones CO₂ derivadas del proyecto Los Azufres III.

Para el cálculo de las emisiones de CO₂ generadas a partir del proyecto del Azufres III, se tomarán en cuenta las emisiones fugitivas de CO₂ descargadas en el silenciador, correspondiente a de los gases no condensables del vapor producido; por lo que partimos de la siguiente ecuación:

$$PE_y = PES_y \tag{4}$$

$$PES_y = WCO_2 * M_{S,y} \tag{5}$$

Por lo que la ecuación queda:

$$PE_y = WCO_2 * M_{s,y} \tag{6}$$

Donde:

PE_y = Emisiones del proyecto en el año y (tCO₂/año)

PES_y = Emisiones de CO₂ del proyecto de los gases no condensables del vapor producido en el año y (tCO₂/año)

WCO₂ = Fracción másica promedio de CO₂ en el vapor producido (adimensional)

M_{s,y} = Cantidad de vapor producido durante el año y (toneladas)

a) Emisiones fugitivas actuales

Zona norte

$$PE_n = (380 * 8760 * 0.03 * 0.97)$$

PE _{n,III} =	96,868 tCO₂/año
-----------------------	-----------------------------------

De igual manera para la *zona sur*, tenemos:

$$PE_s = (210 * 8760 * 0.10 * 0.97)$$

PE _{s,III} =	178,441 tCO₂/año
-----------------------	------------------------------------

Dado que el proyecto consiste en el reemplazo de 7 unidades de generación que actualmente se encuentran operando en el campo, es importante contabilizar estas emisiones actuales y restarlas a las anteriormente calculadas del proyecto, para de esta manera obtener el valor real de emisiones reducidas totales. Por lo tanto a continuación de calculan las emisiones fugitivas del equipo que actualmente se encuentra en operación.

b) Emisiones fugitivas del proyecto

Zona norte

$$PE_{nCGLA} = (274 * 8760 * 0.03 * 0.97)$$

PE _{nCGLA} =	69,847 tCO₂/año
-----------------------	-----------------------------------

Zona sur:

$$PE_{sCGLA} = (206 * 8760 * 0.10 * 0.97)$$

PE _{sCGLA} =	175,042 tCO₂/año
-----------------------	------------------------------------

III CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE CAMBIO CLIMATICO Y DESARROLLO SUSTE

Por lo que el verdadero valor de las emisiones del proyecto se estimará mediante la siguiente fórmula:

$$PEy = PEy_{AIII} - PEy_{CGLA} \quad (7)$$

Donde:

PEy	=	Emisiones totales del proyecto Azufres III (tCO ₂ /año)
PEy _{AIII}	=	Emisiones fugitivas del proyecto Azufres III (tCO ₂ /año)
PEy _{CGLA}	=	Emisiones fugitivas de generación actual (tCO ₂ /año)

c) Emisiones totales del proyecto Azufres III

Zona norte

$$PEy = 96,868 - 69,847$$

PEyn=	27,021 tCO₂/año
-------	-----------------------------------

Zona sur

$$PEy = 178,441 - 175,042$$

PEys =	3399 tCO₂/año
--------	---------------------------------

Esta información muestra que actualmente existe una importante cantidad de emisiones de CO₂ que se están descargando actualmente a la atmósfera, razón por la cual el número de emisiones del proyecto se reducen drásticamente quedando en el 28% de lo que el proyecto presentaba originalmente para la zona norte y casi el 2% para la zona sur. Esta situación se muestra en mayor medida en la zona sur que en la zona norte, ya que el porcentaje de gases incondensables en el fluido geotérmico es muy alto en la segunda (10%), por ello, de las 178, 441 emisiones que emite el proyecto Azufres III, al final después de sustraer las emisiones actuales quedan solo 3399, lo que representa el casi 2% de las emisiones originales, situación que muestra que esta zona al menos para el primer periodo crediticio y hasta esta etapa, representa un excelente prospecto MDL, lo cual se confirmará con el resultado de las emisiones reducidas para esta zona.

2.2.5. Cálculo de la línea base de emisiones de CO₂ desplazadas por las actividades del proyecto Los Azufres III.

Las emisiones de línea de base incluyen sólo emisiones de CO₂ de la generación de electricidad en las centrales eléctricas operadas con combustible fósil y que serán desplazadas debido a la actividad de proyecto de la red nacional. La metodología asume que toda la generación de electricidad de proyecto encima de niveles de línea base podrían haber sido generada por la existencia de centrales eléctricas conectadas a la red eléctrica y la adición de nuevas centrales eléctricas. La línea base es calculada de acuerdo al siguiente procedimiento:

$$BE_y = EG_{PJ,y} * CM \quad (8)$$

Además EG_{PJ,y} es calculado como sigue:

$$EG_{PJ,y} = EG * Dha \quad (9)$$

Por tanto el valor de la línea base de las emisiones del proyecto anuales se estimarán de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$BE_y = EG * Dha * CM \quad (10)$$

III CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE CAMBIO CLIMATICO Y DESARROLLO SUSTE

Donde:

- BE_y = Emisiones de línea base en el año “y” (tCO₂/año)
- EG_{PJ,y} = Cantidad de generación neta de electricidad que es producida y alimentada a la red como resultado de la implementación de las actividades del proyecto en el año “y” (MWh/año).
- Dha = Despacho horario anual (horas/año)
- CM = Factor de emisión de CO₂ del margen combinado para red conectada de generación de energía en el año “y” (tCO₂/MWh)

Para el caso de la zona norte, hay que considerar 30 MW como generación neta de electricidad producida y alimentada a la red como resultado de la implementación de las actividades del proyecto Los Azufres III al año, debido a que de los 50 MW que se entregaran a la REN con la nueva unidad de generación, deben restarse los 20 MW (considerando las 4 unidades de 5 MW que se sustituirán) que actualmente se están entregando a la REN. De esta forma, tenemos:

a) Emisiones línea base

Zona norte

$$BE_y = (30 \text{ MW/h}) * (8760 \text{ h/año}) * (0.5556)$$

BE_n =	146,012 tCO₂/año
-------------------------	------------------------------------

De igual manera que en la zona norte, para la zona sur hay que considerar 10 MW como generación neta de electricidad producida y alimentada a la red como resultado de la implementación de las actividades del proyecto Los Azufres III al año, debido a que de los 25 MW que se entregaran a la REN con la nueva unidad de generación, deben restarse los 15 MW (considerando las 3 unidades de 5 MW que se sustituirán) que actualmente se están entregando.

Zona sur:

$$BE_y = (10 \text{ MW/h}) * (8760 \text{ h/año}) * (0.5556)$$

BE_s =	48,670 tCO₂/año
-------------------------	-----------------------------------

Es así como completamos los datos necesarios para poder realizar el cálculo de la RE potenciales a partir del proyecto Azufres III.

2.2.6. Cálculo de Emisiones Reducidas

$$ER_y = BE_y - (PE_y) \tag{11}$$

Donde:

- ER_y = Emisiones Reducidas en el año y (tCO₂/año)
- BE_y = Emisiones de línea base en el año “y” (tCO₂/año)
- PE_y = Emisiones del proyecto en el año y (tCO₂/año)

a) Emisiones Reducidas

Zona Norte:

$$ER_y = 146,012 \text{ tCO}_2/\text{año} - 27,021 \text{ tCO}_2/\text{año}$$

III CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE CAMBIO CLIMATICO Y DESARROLLO SUSTE

ERy =	118,991 tCO₂/año
--------------	------------------------------------

Zona Sur:

$$\text{ERy} = 48,670 \text{ tCO}_2/\text{año} - 3399 \text{ tCO}_2/\text{año}$$

ERy =	45,271 tCO₂/año
--------------	-----------------------------------

Las ER obtenidas como resultado equivalen a 164,262 tCO₂ de las zonas norte y sur conjuntas, consolidada al CGLA como un importante prospecto como proyecto Reductor de Emisiones de GEI, y por tanto, también un buen participante vendedor de Certificados de Emisiones Reducidas (CER's). Situación que se llevará a cabo en adelante para poder tener una visión completa de la un proceso de mejora en la industria eléctrica.

Desde el punto de vista productivo, este proyecto asegura que la cantidad de energía eléctrica que se entregará a la REN se incrementará en un 21% respecto a la cantidad total que el CGLA entrega actualmente, lo cual, por otro lado, significa también el incremento en ventas por servicio eléctrico del 21% lo cual significa un aumento significativo respecto a los actuales, y además, que no se requiere la perforación de nuevos pozos (hasta alcanzar la vida útil de cada pozo).

México mantiene en operación otros tres campos geotérmicos, de los cuales dos: Cerro Prieto (Mexicali, BC) y Los Humeros (Mazatloma, Puebla) presentan un nivel de producción importante y por tanto un potencial número importante de créditos o CERs vendibles en el mercado internacional, créditos que también a medida que se vaya acercando al término del periodo establecido por el PK, encontrará un mejor nivel de precios para ellos y contribuir de mejor manera al desarrollo sustentable de la región.

Sin embargo, por otro lado existe un tercer campo (Las Tres Vírgenes) que por su pequeña producción (aprox. menos de 95 t/h) y sus problemas para mantener dicha producción, resultaría un proyecto incosteable y poco atractivo, a pesar de localizarse en un lugar que por sus condiciones climáticas, habría muchas opciones para proyectos MDL, aunque por otra parte también debe tomarse en cuenta que podría llevarse a cabo un proceso en donde se genere electricidad a partir de una combinación de tecnologías, por ejemplo, una central de ciclo combinado a partir de gas y una energía renovable (sol, alga, mantener la fuente geotérmica, etc.).

CONCLUSIONES

La Reducción de Emisiones obtenidas en conjunto de las áreas norte y sur del CGLA a través del proyecto Los Azufres III y en base a la metodología propuesta, fueron equivalentes a 164,262 tCO₂ condición que lo ubica como un excelente prospecto para participar en el comercio internacional de bonos a través del MC.

De las 164,262 tCO₂ reducidas totales, 118,991 tCO₂/año son la contribución de la zona del norte y 45,271 tCO₂/año de la zona sur del campo geotérmico, lo que significa que las ER de zona norte representan el 62% del total de ER que se producen en el proyecto, por lo que se erige como la zona más importante de dicho proyecto.

Por su parte la zona sur aunque contribuye con el 38% de las ER totales, dicho volumen no alcanza un número suficiente para considerarse un proyecto MDL viable si se buscara inscribir por separado las zonas del campo, ya que el valor de la nueva central de generación, los gastos administrativos de inscripción a la UNFCCC y los costos de transacción, alcanzan altos costos que sólo haría atractivo dicho proyecto el hecho de que los precios de las CER's alcanzaran valores más competitivos, es decir, en las condiciones actuales del mercado, la zona sur por sí sola no muestra condiciones favorables para dicho proyecto.

CGLA es un excelente proyecto de energía renovable de bajo riesgo, porque:

- Genera un volumen medio ER (164,262 tCO₂/año), ya que para la UNFCCC un proyecto a partir de 50,000 ER por año se considera un proyecto de volumen medio y significativamente atractivo para los inversionistas;
- La materia prima para la producción (vapor geotérmico) es un insumo asegurado por lo menos durante 30 años;
- El tiempo de vida de la maquinaria nueva garantiza 30 años de vida útil; y
- La energía geotérmica, como parte de la política gubernamental en México, forma parte de la base del sistema interconectado nacional, asegurando así, el consumo total de la producción disponible.

III CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE CAMBIO CLIMATICO Y DESARROLLO SUSTE

El resultado encontrado para este ejercicio, podría influir para el establecimiento de nuevos proyectos de RE similares al CGLA, tomando en cuenta que el proceso de producción es el mismo, y en muchos casos, las centrales de generación están a punto de cumplir su tiempo de vida.

BIBLIOGRAFÍA

- Aburto (2008) Martínez Aleida. Beneficios potenciales para los productores pecuarios mexicanos en el comercio internacional de bonos de carbono.
- Ackerman, (2008) y otros. El Costo del Cambio Climático.
- ACM0002/Version 09: "Consolidated baseline methodology for grid-connected electricity generation from renewable sources". CDM-Executive Board. UNFCCC/CCNUCC EB 45 (2007), 1-19.
- African (2003). "Pobreza y Cambio Climático, Reduciendo la Vulnerabilidad de los Pobres a través de la Adaptación.
- Carbon (2009). "Carbon 2009 –Emission trading coming home". Tvinnereim, E., Roine, K.Heimdal, C. pp. 11-13, 24-25.
- Cervantes Sánchez. Oportunidades de MDL en México. subsecretaria de planeación y política ambiental de la SEMARNAT. México 2007.
- EB 35/Annex 12/Version 01.1: "Tool to calculate the emission factor for an electricity system". CDM-Executive Board. Pp.: 1-15.
- Fonam, (2007). Modelo del Cálculo del factor de emisiones de CO2 de la red eléctrica peruana, año 2007. pp 1. Encontrado en la página web <http://www.fonamperu.org/general/mdl/documentos>
- Gómez (2004) Torres Mary. Aspectos Financieros del Mecanismo de Desarrollo Limpio y Barreras Potenciales. Centro Andino para la Economía en el Medio Ambiente – CAEMA. Buenos Aires Argentina, 2004.
- INE, (2005). Estimación de emisiones mediante factores de emisión. Capitulo 10, pp. 175-177. México, 11 de abril de 2005.
- Luege (2002) J.L., and Fernández A and Martínez J.: National Gas Inventory 1990-2002, Report of México, Executive Summary, Proceedings,Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, México (2005).
- Pachauri (2007) Rajendra y otros. Cambio Climático Informe de síntesis. Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Primera impresión. Organización de las Naciones Unidas. 2007
- PDD La Venta II from <http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/AENOR1168204945.7/view>
- State Trends of the Carbon Market. The World Bank. Karan Capoor y Philippe Ambrosi. Washigton D.C. Mayo 2008.
- Stern (2007). La economía del cambio climático.
- Torres (2007), *et al*. Proyecto Azufres III 75 MW. DINYAC-021-2007. Subgerencia de Estudios, Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos, Subdirección de Generación de la Comisión Federal de Electricidad.

Páginas de la web

- <http://www.eumed.net/>
- <http://cait.wri.org/figures>
- http://cambio_climatico.ine.gob.mx/sectprivcc/desarrollodeproyectosmdl.html
- <http://cdm.unfccc.int/>
- <http://www.cfe.gob.mx/>
- <http://prototypecarbonfound.org/>
- <http://wbcarbonfinance.org/>
- <http://web.worldbank.org/>
- <http://www.chicagoclimatex.com/>
- <http://www.pointcarbon.com/>
- <http://www.sener.gob.mx>
- <http://www.shcp.gob.mx>