
Índice

Objetivo	12
Introducción	12
Fenómeno de Cambio Climático	13
1.1 PRINCIPIOS FÍSICOS.....	14
1.1.1 Efecto Invernadero.....	15
1.1.2 Gases de Efecto Invernadero.....	17
1.1.3 Características para estimar el efecto invernadero de los gases	17
1.1.3.1 El forzamiento radiativo.....	17
1.1.3.2 Potencial de calentamiento Global (PCG)	19
1.1.4 Descripción de los gases de efecto invernadero	19
1.2 EVIDENCIAS.....	25
1.3 AUMENTO DE LA TEMPERATURA GLOBAL MEDIDA.....	27
1.4 OTROS IMPACTOS	30
El Protocolo de Kioto	31
2.1 METAS Y OBLIGACIONES	32
2.2 INSTANCIAS Y ORGANISMOS	35
2.3 MECANISMOS FLEXIBLES	38
2.3.1 Comercio de Emisiones (CE).....	38
2.3.2 Aplicación Conjunta (AC)	39
2.3.3 Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).....	39
2.3.3.1 Conferencia de las Partes/Miembros de las Partes – Junta Ejecutiva	41
2.3.3.2 Entidades Operacionales Designadas.....	41
2.3.3.3 Autoridad Nacional para el Mecanismo de Desarrollo Limpio	41
2.3.3.4 País Anfitrión	42
2.3.3.5 Ciclo de un Proyecto MDL.....	43
2.3.3.6 Periodo de Acreditación	47
2.3.3.7 Tipos de proyectos MDL	47
2.3.3.8 Entidad responsable de proyectos MDL en México.....	48
2.3.3.9 Procedimientos para obtener Cartas de Aprobación en México.....	48
2.3.3.10 Costos de Proyectos MDL.....	49
2.3.3.11 Proyectos No Elegibles por el Mecanismo de Desarrollo Limpio	49
2.3.3.12 Procedimientos Simplificados para Proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio a Pequeña Escala	49
2.3.3.13 Proyectos MDL en México	50
2.4 MERCADO DE BONOS DE CARBONO.....	50
2.4.1 Fondo Mexicano de Carbono.....	52
Plantas Geotermoeléctricas	53
3.1 GEOTERMIA.....	54
3.1.2 Fuentes geotérmicas.....	56
3.1.2 Uso de la Geotermia en el mundo	57
3.1.3 La Geotermia en México	59
3.1.4 Generación geotermoeléctrica en México.....	63
3.2 TIPOS DE PLANTAS GENERADORAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE RECURSOS GEOTÉRMICOS.....	65

3.2.1 Plantas con turbinas de vapor convencionales.....	65
3.2.2 Planta Geotermoeléctrica “Flash”	67
3.2.3 Ciclo de Rankine Orgánico (ORC)	69
3.2.3.1 Diferencias entre un ORC y un ciclo Rankine tradicional	71
3.2.4 Planta Geotermoeléctrica con Ciclo Binario.....	72
3.2.5 Planta Geotermoeléctrica con Ciclo Binario de dos fases	74
3.2.6 Planta Geotermoeléctrica con Ciclo Binario Combinado	74
3.2.7 Ciclo Bottoming	76
3.2.8 Fluidos de Trabajo.....	76
3.3 VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA DE ORIGEN	
GEOTÉRMICO.....	79
3.3.1 Química	82
3.3.1.1 Dióxido de Carbono.....	82
3.3.1.2 Gases No Condensables	82
3.3.1.2.1 Acido Sulfhídrico	83
3.3.1.2.3 Mercurio.....	83
3.3.2 Corrosión	83
3.3.3 Incrustaciones	84
3.3.4 Contaminación del Agua	85
3.3.5 Depresión del acuífero	86
3.3.6 Contaminación sonora	86
3.3.7 Contaminación Térmica	86
3.3.8 Uso del suelo.....	86
3.3.9 Impacto Visual.....	87
3.3.10 Potenciales sucesos catastróficos	87
Aplicación del Mecanismo de Desarrollo Limpio	88
4.1 PROYECTOS GEOTÉRMICOS APROBADOS COMO MDL	88
4.1.1 Proyecto geotérmico de San Jacinto Tizate.....	89
4.1.2 Proyecto geotérmico, fase II, La Geo, S.A. de C.V., Berlín	91
4.1.3 Proyecto geotérmico de Lihir.....	94
4.1.4 Proyecto geotérmico de Nasulo 20 MW.....	96
4.1.5 Proyecto geotérmico de Darajat Unidad III	99
4.1.6 Proyecto geotérmico de Amatitlán	101
4.2 METODOLOGÍA USADA EN EL PROYECTO	103
4.2.1 Línea Base	104
4.2.2 Adicionalidad	105
4.2.2.1 Identificación de alternativas posibles a la actividad del proyecto.....	105
4.2.2.2 Análisis financiero	105
4.2.2.3 Análisis de barreras.....	105
4.3 CUANTIFICACIÓN DE REDUCCIONES DE CO₂E ESPERADAS POR EL PROYECTO	106
4.3.1 Emisiones esperadas para la Línea Base.....	106
4.3.2 Emisiones debido al proyecto	107
4.3.3 Reducción de Emisiones anuales	109
4.4 INDICADORES FINANCIEROS PARA LA EVALUACIÓN DEL PROYECTO.....	111
4.4.1 Valor presente neto (VPN)	111
4.4.2 Índice beneficio costo (B/C)	111
4.4.3 Tasa de descuento o de actualización.....	112
4.4.4 Tasa interna de retorno (TIR).....	113
4.5 PARÁMETROS TÉCNICOS Y FINANCIEROS DEL PROYECTO	113
4.5.1 Características técnicas y financieras.....	114
4.5.2 Costos de operación y mantenimiento.....	115
4.5.3 Análisis Financiero	115
4.6 LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO	122

4.6.1 Capacidad instalada de generación de energía eléctrica para el servicio público por región.....	124
4.6.2 Generación de energía eléctrica para el servicio público por tipo de central	125
4.6.3 Generación de energía eléctrica por fuente utilizada	126
Conclusiones	128
Anexo A	132
Referencias.....	139
CAPÍTULO 1	139
CAPÍTULO 2	139
CAPÍTULO 3	140
CAPÍTULO 4	142
ABREVIATURAS	144

Índice de Figuras

Capítulo 1

Figura 1.1 El cambio climático es un fenómeno que afecta al mundo entero.....	13
Figura 1.2 Concentración atmosférica de CO ₂ al pasar de los años.....	15
Figura 1.3 Fenómeno del efecto invernadero.....	16
Figura 1.4 Forzamiento radiativo de GEI.....	18
Figura 1.5 Concentración de dióxido de Carbono en años anteriores.....	24
Figura 1.6 Cuatro eras en las que el mundo se encontraba a temperaturas frías.....	25
Figura 1.7 Calentamiento antropógeno de los últimos cincuenta años en cada continente.....	26
Figura 1.8 Variación de las temperaturas en la superficie y nivel del mar.....	28
Figura 1.9 Cambios experimentados por los sistemas físicos, biológicos y por la temperatura superficial.....	29

Capítulo 2

Figura 2.1 El protocolo de Kioto.....	31
Figura 2.2 Principales instituciones de apoyo de la Convención Marco sobre Cambio Climático (CMNUCC).....	36
Figura 2.3 Organigrama del CICC.....	38
Figura 2.4 Mecanismo de Desarrollo Limpio.....	39
Figura 2.5 Etapas de un Proyecto MDL.....	43
Figura 2.6 UE-ETS: Mercado de permisos de emisión de la Unión Europea, MDL, IC, Otros: Chicago Climate Exchange y Australian New South Wales.....	51

Capítulo 3

Figura 3.1 Estructura interna de la Tierra.....	53
Figura 3.2 Instalación de generación de energía eléctrica de origen geotérmico en Larderello (Italia), en 1904.....	55
Figura 3.3 Distribución de la utilización del calor geotérmico en el mundo. (TJ/año), en 2005.....	58
Figura 3.4 Localización de los campos geotérmicos en México.	60
Figura 3.5 Central Geotermoeléctrica “Cerro Prieto”.....	61
Figura 3.6 Campo Geotérmico “Los Azufres”.....	61

Figura 3.7 Campo Geotérmico “Los Humeros”.....	62
Figura 3.8 Campo Geotérmico “Tres Vírgenes”.....	63
Figura 3.9 Distribución de la capacidad geotermoeléctrica mundial por país, 2007.....	64
Figura 3.10 Evolución del punto de evaporación del agua con respecto a la presión.....	66
Figura 3.11 Diagrama de una Planta de Vapor Seco.....	67
Figura 3.12 Diagrama de una Planta “Flash” simple.....	68
Figura 3.13 Diagrama de una Planta “Flash” doble.....	69
Figura 3.14 Esquemático de un ORC.	70
Figura 3.15 Ciclo de Rankine Orgánico.....	71
Figura 3.16 Ciclo de Rankine.	71
Figura 3.17 Diagrama de una Planta de Ciclo Binario.....	72
Figura 3.18 Diagrama de una Planta de Ciclo Binario de doble fase.....	74
Figura 3.19 Diagrama de una Planta de Ciclo Binario Combinado.....	75
Figura 3.20 Ciclo <i>Bottoming</i>	76
Figura 3.21 Eficiencia Neta vs. Temperatura del recurso.....	79
Figura 3.22 Factor de Planta Neto promedio para distintas fuentes de energía renovable..	80
Figura 3.23 Respiraderos de vapor corroídos.....	84
Figura 3.24 Tubería corroída y con incrustaciones.....	85

Capítulo 4

Figura 4.1 Ubicación de la Central Geotermoeléctrica de San Jacinto Tizate.....	89
Figura 4.2 Diagrama de la primera fase del proyecto de San Jacinto Tizate.....	90
Figura 4.3 Diagrama de la segunda fase del proyecto de San Jacinto Tizate.....	91
Figura 4.4 Localización del campo geotérmico La Geo.....	92
Figura 4.5 Diagrama de la planta geotérmica La Geo.....	92
Figura 4.6 Ubicación de la Central Geotermoeléctrica de Lihir.....	94
Figura 4.7 Ubicación del proyecto Nasulo.....	96
Figura 4.8 Diagrama del proceso de la planta Nasulo.....	97
Figura 4.9 Ubicación de la Central Geotermoeléctrica.....	99
Figura 4.10 Ubicación de la Central Geotermoeléctrica de Amatitlán.....	101
Figura 4.11 Gráfica que muestra el índice B/C con distintos costos de Inversión con respecto a los Bonos de Carbono esperados con un CMgG DE \$45 USD.....	118

Figura 4.12 Gráfica que muestra el índice B/C con distintos CMgG respecto a los Bonos de Carbono esperados con una Inversión de \$3,500 USD.....	119
Figura 4.13 Gráfica que muestra el índice B/C con un CMgG de \$45 USD, los Bonos de Carbón esperados con distintos Factores de Planta y con una Inversión de \$3,500 USD..	120
Figura 4.14 Gráfica que muestra el índice B/C con un CMgG de \$45 USD, los Bonos de Carbón esperados con distintos Factores de emisión de dióxido de carbono equivalente (FE) y con una Inversión de \$3,500 USD.....	121
Figura 4.15 Estructura de la producción de energía primaria, 2007 (10,522.966 petajoules). Fuente: Sistema de Información Energética, SENER.....	123
Figura 4.16 Distribución de la capacidad efectiva instalada nacional de cada región por tecnología, 2007 (MW y participación porcentual).....	124
Figura 4.17 Generación bruta en el servicio público por tipo de central, 1997-2007(GWh).....	126
Figura 4.18 Generación bruta en el servicio público por tipo de energético utilizado, 1997-	

Índice de Tablas

Capítulo 1

Tabla 1.1 Los Gases de efecto invernadero y algunas de sus características.....23

Tabla 1.2 Factores determinantes de un gas de invernadero.....23

Capítulo 2

Tabla 2.1 Países incluidos en el Anexo I de la Convención Marco sobre el Cambio Climático.....32

Tabla 2.2 Países incluidos en el Anexo II de la Convención Marco sobre el Cambio Climático.....32

Tabla 2.3 Países incluidos en el Anexo B del PK y sus objetivos en reducción de emisiones.....33

Tabla 2.4 Países Latinoamericanos y del Caribe en vías de desarrollo.....40

Tabla 2.5 Actores del ciclo del proyecto MDL y funciones desarrolladas.....42

Tabla 2.6 Cartera de Proyectos MDL mexicanos hasta el 2 de mayo de 2007.....50

Capítulo 3

Tabla 3.1 Principales países que hacen utilización directa de la energía geotérmica.....59

Tabla 3.2 Capacidad geotérmica mundial instalada para generación de energía eléctrica, 2007.....64

Tabla 3.3 Características de los fluidos de trabajo.....78

Capítulo 4

Tabla 4.1 Reducción estimada de emisiones para el Proyecto La Geo.....93

Tabla 4.2 Reducción estimada de emisiones para el proyecto de Lihir.....95

Tabla 4.3 Reducción estimada de emisiones para el proyecto de Nasulo.....98

Tabla 4.4 Reducción estimada de emisiones para el proyecto de Darajat.....100

Tabla 4.5 Reducción estimada de emisiones para el proyecto de Amatitlán.....103

Tabla 4.6 Reducción estimada de emisiones durante el período de acreditación para el proyecto.....110

Tabla 4.7 Tabla que muestra los parámetros técnicos y financieros como punto de partida para el proyecto.....116

Tabla 4.8 Análisis financiero sin tomar en cuenta Bonos de Carbono.....	117
Tabla 4.9 Resultados del análisis.....	117
Tabla 4.10 Producción de energía primaria 2006-2007 (petajoules).....	122