



**El Colegio  
de la Frontera  
Norte**



**"REQUERIMIENTOS DE CAPACIDADES TÉCNICAS Y  
CONTENIDO DE RESPONSABILIDAD AMBIENTAL EN  
MERCADOS LABORALES VERDES PARA ENERGÍA  
GEOTERMOELÉCTRICA"**

Tesis presentada por

**Nancy Nolzco Santana**

para obtener el grado de

**MAESTRA EN ADMINISTRACIÓN INTEGRAL DEL  
AMBIENTE**

Tijuana, B. C., México  
2016

# CONSTANCIA DE APROBACIÓN DE TESIS

Director de tesis: \_\_\_\_\_  
Dr. Rogelio Vázquez González

Aprobada por el jurado examinador:

1. \_\_\_\_\_

2. \_\_\_\_\_

3. \_\_\_\_\_

Dedicatoria.

A Nayeli, por ser la mejor compañera de vida y la mayor de las bendiciones, gracias por tu paciencia, presencia, cercanía y comprensión.

A mis padres, Carmen y Reynaldo por tanto apoyo que ya no sé cómo compensar. Gracias por esa confianza inmediata que me brindan en cada proyecto con el que me comprometo. Gracias por su “tranquila, como siempre, lo harás bien” que más que darme calma, me impone el reto de no sólo hacer las cosas por cumplir, sino hacerlas de la mejor manera.

A Faby, Toño, Ana, Dany, Demian y Soumaya, por hacerme sentir su cariño con tantos mensajes de apoyo y unos cuantos burlones... y por tantos memes de los que nos gustan, que nos sacaron carcajadas y me hicieron sentirlos como si estuvieran a mi lado. A Paty, Tere y David por el cariño e interés que me demuestran, por esos recibimientos tan alegres y por las llamadas de los domingos por la noche. Y a tu memoria abue linda. ¡Los quiero!

Al equipo churro, porque conviviendo con ustedes aprendí “de la vida”. En cada uno de ustedes encuentro ejemplos reales de cómo debe ser una buena persona: noble, auténtica y fiel como Martín; comprometida, recta y segura como Fernando; amable, perseverante y muy chistosa como Nely; responsable, constante y privilegiando a la familia como Abisaí; sincera, atrevida y tolerante como Flor; optimista, entusiasta y muy activa como Viky y tenaz como Marvin. Gracias a todos por hacer la estancia en Tijuana y en El Colef una de las mejores experiencias que he tenido.

A Jonatan BR, por tu amistad a prueba de distancia, por animarme y por aquel episodio del llenado de solicitud. ¡Gracias partner!

A Roberto Constantino por las oportunidades que me ha dado, por su confianza y por sacarme de la zona de confort.

Gracias a todos por acompañarme y dar conmigo los pasos de éste proyecto de vida.

A Dios por tantas bendiciones ☺

## Agradecimientos

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por los recursos otorgados para mi formación.

Agradezco al Dr. Rogelio Vázquez González por su amabilidad y paciencia para resolver mis dudas y darme calma con el tiempo y los objetivos.

Extiendo mi gratitud al Dr. José Manuel Romo Jones por el apoyo que me brindó para acercarme a otros expertos.

A todo el personal de El Colegio de la Frontera Norte por el esmero y dedicación con la que nos han preparado. De manera especial agradezco a Karla Haro por su ayuda siempre paciente y oportuna, a las doctoras Lina y Nora, de quienes recuerdo cada una de sus clases por su forma precisa y metódica de enseñar y al Doctor Alberto por sus palabras cálidas y divertidas que siempre me sacaron sonrisas en cada mail y en cada encuentro fugaz y repentino por los pasillos de El Colef.

Gracias Colef.

## Resumen.

Es incierto si la base académica nacional cubre las habilidades correspondientes a una economía verde, en la que el sector de energías renovables es esencial para cumplir con las metas de reducción de emisiones establecidas en el Plan Nacional de Desarrollo. El objetivo de esta investigación, es determinar perfiles de empleo correspondientes con el desempeño productivo sustentable de la industria geotermoeléctrica y comparar las habilidades requeridas para aquellas que tengan asociado un impacto ambiental significativo, con la oferta educativa y programas de capacitación del sector de energía geotérmica. Para ello, se describe el proceso de desarrollo geotérmico y se identificaron los productos del trabajo técnico que son clave para el desempeño productivo sustentable del desarrollo geotermoeléctrico. Las actividades laborales clave que se identificaron son: elaboración del modelo conceptual integrado, mapeo, selección del terreno, programa de perforación y modelo de reservorio. Con ello se determinó que las ocupaciones laborales relevantes se encuentran en el área de geociencias e ingeniería y las características de cada una de ellas, una vez insertos en el mercado de trabajo, corresponden a la definición estricta de empleos verdes, debido a que son empleos con ingresos superiores al ingreso medio nacional, aunque con ingresos menores al empleo de sectores productivos fósiles como el petrolero, debido también, a que el mercado laboral del sector eléctrico presenta participación y asociación entre trabajadores, seguridad en el trabajo y seguridad social. Sin embargo, se aclara que el grado en que se cumple la definición estricta de empleo verde depende del tipo de organización, del empleador y, ésta a su vez, se relaciona con el nivel de actividades geotérmicas que desempeñe. Además se encontró que, aunque en la oferta nacional no hay programas de estudio específicos para este sector, los programas son suficientes para la generación de recursos humanos especializados en las diferentes actividades clave, pero requieren mejoras para alinearlos a las demandas específicas de los desarrolladores geotermoeléctricos a fin de reducir los costos de capacitación e incentivar la inversión.

## Abstract

It is uncertain whether the national academic base covers the skills corresponding to a green economy, in which the renewable energy sector is essential to meet the targets for reducing emissions, set out in the National Development Plan. The objective of this research is to determine job profiles corresponding to sustainable performance of geothermal power generation industry and compare the skills required for those with the supply educational and training programs of geothermal energy sector. For this, the geothermal development process is described, and technical work products that are key to sustainable development productive performance of the geothermal power were identified. The key work activities identified are the development of the integrated conceptual model, mapping, site selection, drilling program and the reservoir model. It was determined that the relevant occupations are into the geo-science and engineering areas and the characteristics of each, once inserted in the labor market, correspond to the strict definition of green jobs, because they are Jobs above the national average income, although with lower incomes to fossil productive sectors such as oil, owing to the labor market with electricity sector participation and partnership between workers, occupational safety and social security. However, it clarifies that the extent to which the strict definition of green jobs is met depends on the employer's organization, and this is related to the level of geothermal activities that the employer performs. It was also found that, while domestic supply no specific study programs for this sector, programs are sufficient to generate specialized in the different key activities human resources, but require improvements to align to the specific demands of developers of geothermal electric power to reduce training costs and encourage investment.

1.- INTRODUCCIÓN AL TEMA DE ESTUDIO .....	1
II.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
2.1.- Identificación del problema .....	3
2.3.- Preguntas de investigación .....	8
2.4.- Justificación .....	8
2.5.- Objetivos de la investigación .....	9
III.- MARCO TEÓRICO .....	10
3.1.-Estado de la cuestión.....	10
3.2.- Enfoque teórico de la propuesta.....	11
IV. HIPÓTESIS:.....	14
4.1 Hipótesis secundaria. ....	14
V.- ESTRATEGIA METODOLÓGICA. ....	15
2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE DESARROLLO GEOTÉRMICO .....	18
Exploración de recursos geotérmicos. ....	20
Fase 1. Reconocimiento preliminar.....	21
Fase 2. Exploración geocientífica .....	29
Fase 3. Perforación de prueba. ....	34
Fase 4. Desarrollo de campo .....	35
3. Productos clave del trabajo técnico para la sostenibilidad del desarrollo geotermoeléctrico .....	37
Modelo conceptual integrado. ....	37
Mapeo .....	38
Selección del terreno.....	38
Programa de perforación.....	39
Modelo de reservorio.....	40
Contenido de responsabilidad ambiental del empleo. ....	41
4. Mercado laboral verde para el desempeño productivo sostenible en proyectos geotermoeléctricos. ....	46
¿Qué se requiere? .....	46
¿Qué se tiene?.....	52
¿Cómo es el empleo en estos puntos clave del desarrollo geotérmico? .....	57
Conclusiones .....	61
BIBLIOGRAFÍA.....	63
Anexo 1. Unidades económicas del mercado eléctrico .....	i
Anexo 2 Contenido ambiental.....	iv

Cuadro 1 Identificación general del problema.....	3
Cuadro 2 Niveles de empleo del sector eléctrico geotermal.....	7
Cuadro 3 Estado del arte.....	11
Cuadro 2.1 Elementos de un sistema geotérmico .....	18
Cuadro 2.2 Impactos adversos potenciales .....	28
Cuadro 2.3. Estudio geológico a detalle .....	31
Cuadro 2.4. Responsabilidades importantes del geoquímico .....	34
Cuadro 3.2 Receptores de evaluación .....	41
Cuadro 3.3 Lista de verificación del contenido de responsabilidad ambiental.....	42
Cuadro 4.1: Ocupaciones para el desempeño productivo sostenible .....	46
Cuadro 4.2 Actividades de trabajo de geocientíficos .....	46
Cuadro 4.3 Actividades de trabajo de ingeniero en perforación.....	47
Cuadro 4.4 Actividades de trabajo de ingenieros eléctricos. ....	48
Cuadro 4.5 Estructura de mercado para desarrollos geotérmicos. ....	48
Cuadro 4.6 Jugadores de la industria en el sector de energía renovable: Geotérmica. ....	50
Cuadro 4.7 Ocupaciones clave para llevar a cabo la valoración del potencial energético, diseño y puesta en marcha de una planta de energía geotérmica .....	51
Cuadro 4.8. Clasificación de carreras.....	52
Cuadro 4.9: Comparación de ocupaciones en EU.: Geocientíficos .....	57
Cuadro 4.10: Comparación de ocupaciones en EU.: Ingenieros de petróleo/perforación.....	57
Cuadro 4.11: Comparación de ocupaciones en EU.: Ingenieros eléctricos .....	58



*“A man educated at the expense of much labour and time to any of those employments which require extraordinary dexterity and skill, may be compared to one of those expensive machines” Adam Smith, The wealth of nations.*

## 1.- INTRODUCCIÓN AL TEMA DE ESTUDIO

Este trabajo parte de una perspectiva de estudio ambiental que tiene como origen la economía verde y enfatiza uno de sus preceptos, los empleos verdes. Una economía verde es “aquella que tiene bajas emisiones de carbono, utiliza los recursos de forma eficiente y es socialmente incluyente” (PNUMA, 2011), mientras que los empleos verdes son todos aquellos que generen un servicio o producto relacionado con el medio ambiente, enfatizando eficiencia, control de contaminación, conservación y además deben ser decentes (OIT, 2012).

En este contexto, siguiendo los dictámenes de los organismos internacionales, en materia no sólo ambiental, sino económica y de desarrollo, a nivel nacional, se han ido consolidando estas ideas y el gobierno Federal, por medio del Plan Nacional de Desarrollo (PND)<sup>1</sup> ha estipulado entre sus metas lograr un “México próspero”, impulsando el crecimiento verde para hacer patente la importancia de la conservación y cuidado del medio ambiente y recursos naturales, en una perspectiva de crecimiento de la economía mexicana (Semarnat a, 2013: 21), como una forma de crecimiento económico, que considera una reconfiguración de la relación directa entre crecimiento y degradación ambiental con base en la valoración de los recursos naturales, a fin de desvincular esta dependencia (Studer, 2012).

La propuesta de transición hacia una economía verde que hace el Gobierno Federal para contener los desequilibrios naturales, se sustenta en el incremento de la eficiencia para el aprovechamiento de los recursos naturales con base en tecnología y, se concentra en los sectores energético, agropecuario (hídrico), industrial, pesquero, forestal, turístico, transporte, entre otros. Dicha propuesta declara que hay un futuro promisorio en materia de eficiencia y aprovechamiento de los recursos naturales y, que se generará un flujo de empleo

---

<sup>1</sup> La forma en la que la política pública ambiental se integra con el resto de la política pública (económica y social) tiene como base el PND y, a partir de este, se establecen planes y programas, bajo la responsabilidad de instituciones y dependencias específicas para el cumplimiento de los objetivos propuestos en cada materia de interés público (Lezama y Graizbord, 2010:19).

significativo con un elevado contenido ambiental, con opciones que aluden a promover un desarrollo sostenible con un fuerte contenido social (Gobierno de la República, 2013).

En este escenario, se ha planteado la meta de reducir 22% de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) al 2030, respecto a la línea base (Provencio, 2015). Esto es importante mencionarlo porque implica un gran esfuerzo sobre todo en el sector energético para mejorar la eficiencia, y se puede lograr con la tecnología disponible (*ibid*), pero implica esfuerzos nacionales y, sobre todo a nivel local que van más allá del cambio tecnológico. Es primordial considerar que, para que la tecnología funcione como componente básico de solución que se plantea en la economía verde, es necesario adelantar que se requiere preparación para trabajos que, o todavía no existen, o se están transformando (o al menos deben hacerlo), o bien, para tecnologías que aún no existen pero están próximas a aplicarse. Y justo de esta idea surge el problema de investigación. Los esfuerzos que hasta el momento se realizan para combatir los desequilibrios de origen antropogénico que creamos en la naturaleza, han enfatizado la tecnología per sé, sin embargo, el factor<sup>2</sup> capital humano es el potencial complemento a las estrategias de mitigación que implica la economía verde debido a que se inserta en la operación, administración y mantenimiento de ese cambio técnico que se promueve. En este sentido, el trabajo de investigación pretende dar atención al capital humano como un factor susceptible de influir en el mejor cuidado y preservación del ambiente.

A continuación se presenta el planteamiento de la investigación que se desarrolla en los siguientes capítulos, con base en un esquema organizado de la siguiente manera: planteamiento del problema, en el que se especifica que hay un sesgo hacia la tecnología para plantear soluciones ambientales en la economía verde y se delimitan los perfiles de empleo que ayudan a probar la idea anterior con base en las preguntas de investigación y la hipótesis; después se presenta un marco teórico que muestra cómo se ha enfrentado el problema de desequilibrio de habilidades y nula consideración ambiental en lo específico al empleo y las teorías que ayudan a explicar este fenómeno, entre las que se incluyen economía laboral,

---

<sup>2</sup> “Un factor de producción es un recurso usado para producir bienes y servicios” (Krugman y Wells, 2005). Los principales factores de producción son cuatro: Trabajo (físico), que es el trabajo de los seres humanos; Tierra, son los recursos que la naturaleza provee: Capital, son recursos creados, como maquinaria y edificios y, Capital humano, se refiere a los logros o realizaciones educativas y a las habilidades de la fuerza laboral que mejoran su productividad.

mercados de trabajo, capital humano, empleos verdes y economía verde. Se proponen un par de hipótesis (general y secundaria) y, por último se propone una estrategia metodológica para operacionalizar perfiles de referencia a buenas prácticas, perfiles actuales de empleo y su comparación con el estado actual de los mercados de trabajo.

## II.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 2.1.- Identificación del problema

**Cuadro 1 Identificación general del problema**

¿Cuál es el problema?	Las soluciones a la problemática ambiental, tienen un elevado sesgo hacia la tecnología y, aunque se trata de un factor importante, no es suficiente. El factor olvidado y que es susceptible de complementar las soluciones planteadas es el capital humano.
¿Dónde?	No hay un componente espacial específico, pero para delimitar el problema se usa el sector energético, en particular la energía geotérmica por tener amplias posibilidades de desarrollo masivo y ser más intensiva en mano de obra calificada que el resto de energías renovables
¿Cuándo?	Estado actual de mercados laborales en plantas geotermoeléctricas de referencia (México y Estados Unidos)
¿Por qué es un problema?	La tecnología (aun cuando se asuma limpia) tiene asociados dos elementos: 1) impactos ambientales y 2) Conocimientos y habilidades necesarias que permitan una operación eficiente en términos ambientales. Por tal motivo, cualquier solución ambiental que se plantee en la economía verde y sólo considere al primero de los elementos será una solución parcial, porque, si bien está colaborando a mitigar los impactos ambientales de la actividad productiva para la que fue creada; no ha cumplido con una solución completa. En realidad su beneficio potencial es mayor y puede alcanzarse con el segundo de los elementos, con conocimientos y habilidades del factor capital humano que asuma su correcta (y mejor) operación, mantenimiento y administración.
¿Qué aporta la investigación del problema?	Si se quiere operar cualquier sector de una manera ideal, asumiendo que la forma más limpia y productiva es la mejor y por tanto el ideal, se debe entonces conocer no sólo cuál es la mejor tecnología sino qué requerimientos exigir en el mercado laboral para que si éste no los cubre, comience a hacerlo o si ya lo hace, lo haga en forma adecuada, con trabajadores capacitados y <b>conscientes del proceso que minimiza el deterioro ambiental</b> , es decir, conscientes de su papel como <b>elementos funcionales de mitigación del daño ambiental</b> , que lleven a la conservación y mejor uso de los recursos naturales . En algunos mercados laborales esto va a ser más evidente que en otros, por eso es necesaria una metodología de identificación de conocimientos y habilidades de mitigación de impactos ambientales en el empleo que fortalezcan aquello que aporta la tecnología en sí misma. Aunque conocer la brecha entre la educación y el mercado de trabajo ya se ha hecho antes para otros países y sectores, conocer el contenido ambiental de los empleos y su ajuste para una operación ideal es nuevo y valioso para la toma de decisiones en materia ambiental, educativa y económica.

Dentro de lo que se plantea en la economía verde hay un sesgo hacia la tecnología como solución a la escasez de recursos y deterioro ambiental, sin embargo, aunque es primordial no es lo único que cuenta, existen otros factores de producción que también deben intervenir en el cuidado. De hecho, en el fondo, la lógica de la economía verde apunta a una sustitución paulatina de los factores de producción para mitigar el cambio climático, el deterioro ambiental, los cuales representan la escasez de los factores de producción derivados de los recursos naturales.

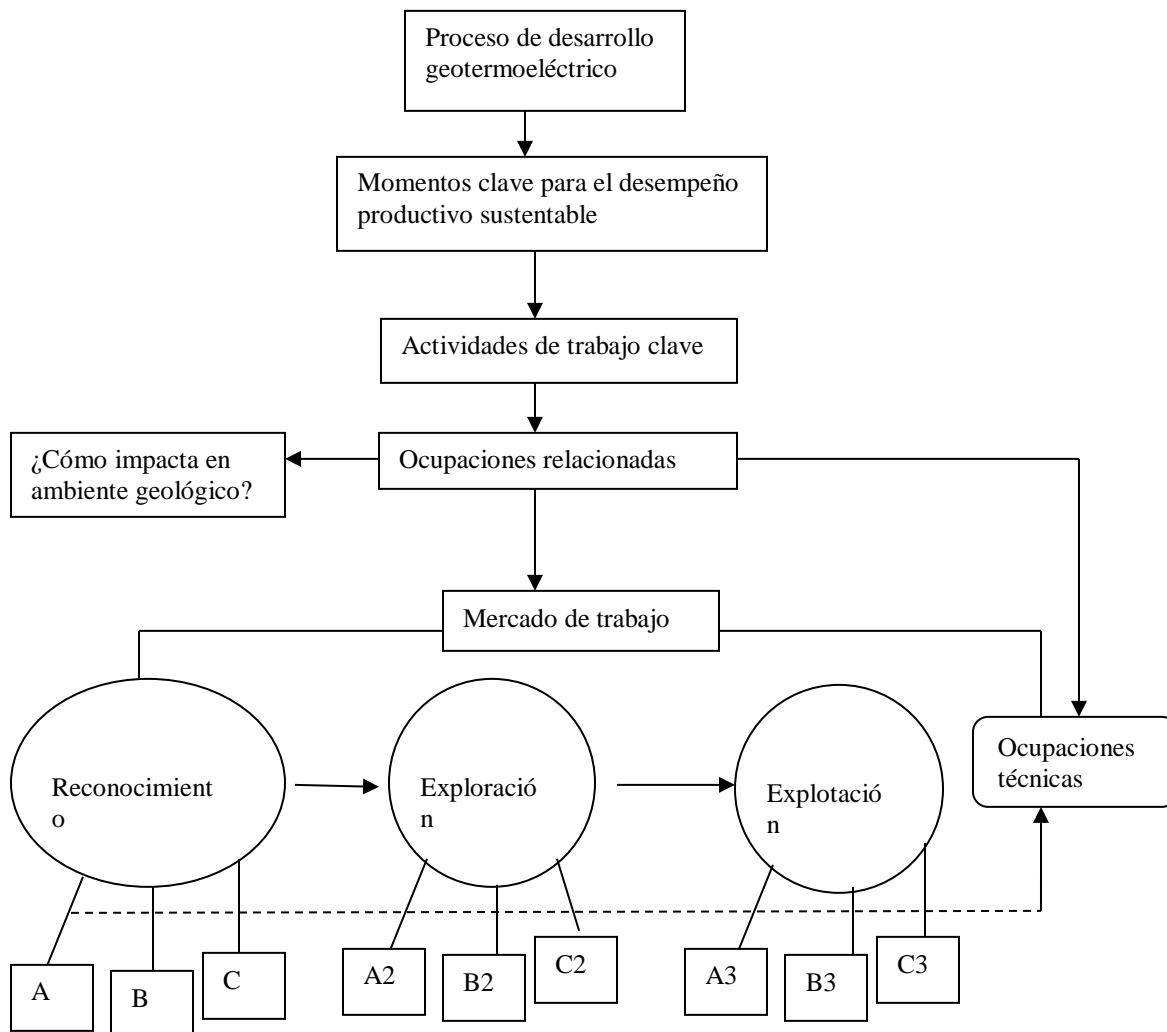
En este sentido, hay dos elementos que no se están considerando y son fundamentales para desarrollar la investigación que se propone. 1) La educación es una base sólida para transferir capacidades de eficiencia ambiental, entendidas como el conocimiento necesario para incrementar la eficiencia en el uso de los recursos naturales (renovables y no renovables), reducir la contaminación, comprender y aplicar cambios en los procesos de producción que impliquen reducción de residuos generados, energía empleada, etc, a fin de entender y asumir con responsabilidad las consecuencias ambientales y una actitud frente al deterioro con la que se desempeña cualquier actividad laboral, haciéndola de la manera más eficiente posible dada la tecnología. Hasta ahora, los contenidos educativos sólo se han limitado a las capacidades productivas bajo un patrón de producción tradicional no necesariamente compatible con el entorno natural. 2) Hay ciertas habilidades de los trabajadores que son más importantes que otras en términos eficiencia ambiental (ver cuadro 2), en general, se pueden identificar dos tipos muy diferenciados en aporte ambiental, las que corresponden a procesos no técnicos o fuera de sitio y las que corresponden a operación técnica y en sitio, y su importancia relativa depende del proceso y sector que se trate.

## **2.2.- Delimitación del problema**

Dentro de las energías renovables que se promueven, la energía geotérmica es de particular importancia debido a que es la de menor costo de tecnología para la generación de un Mwh (Sener, 2013: 10), aunque de alto riesgo en etapas tempranas y además es la segunda energía más intensiva en mano de obra, después de la biomasa, pero un aspecto a resaltar es que tiene mayor potencial de empleos decentes que ésta, debido al mayor nivel de calificación requerida (OIT, 2009: 10). Algunas de las ventajas de esta energía es que produce muy pocas

emisiones de GEI, no produce óxidos de nitrógeno y no consumen agua para enfriamiento (González, 2010).

En los campos geotérmicos que operan en la actualidad, la energía geotérmica se obtiene principalmente a partir de un fluido caliente que, a la vez, proviene de yacimientos subterráneos de dos tipos, “Hidrotermales” (los fluidos son de origen natural) o “Sistemas Geotérmicos Mejorados” (flujos construidos artificialmente) (Hiriart Le Bert, 2011). Los campos geotérmicos en operación en México son de tipo hidrotermal de alta temperatura (*ibíd.*).



Esquema 1 Modelo de trabajo

El esquema anterior representa gráficamente el objetivo de esta investigación. Se plantea diseñar un modelo de desarrollo geotérmico de referencia que opere con un esquema de desempeño productivo sustentable con base en eficiencia ambiental y mejores prácticas definidas por los centros de investigación en energía geotérmica internacionales (IGA, ESMAP, GEA, US DOE), que responda a las condiciones actuales y potenciales de la tecnología y la oferta educativa que harían que el impacto positivo sea el máximo bajo dichas condiciones, para que, en una segunda etapa de investigación, se compare el desempeño productivo sustentable y la situación actual, lo cual implica conocer las capacidades del sistema educativo que den soporte al desempeño ideal. Hacer esto permitirá no solo conocer si hay o no una brecha de habilidades en el mercado de trabajo del sector de energía

geotérmica sino el contenido ambiental de los perfiles de empleo y cómo estos pueden adecuarse y mejorar en el mercado laboral.

La importancia de la diferenciación de habilidades por etapa del proceso productivo se representa en el siguiente cuadro, en el que se define el aporte ambiental (o impacto positivo) de cada tipo de empleo asociado a la exploración, operación y mantenimiento de una planta de energía geotérmica.

**Cuadro 2 Niveles de empleo del sector eléctrico geotermal**

Nivel	Etapas del proceso	¿Quién lo hace?	¿Qué hace?	¿Cuál es su aporte ambiental?
<b>No técnico</b>	Exploración	*Por definir	Lee proyecciones y escenarios y decide qué tecnología es la mejor	Su aporte en términos de eficiencia ambiental está en función de la tecnología que elija. Es decir que aporta el rango de movilidad (en términos ambientales) de toda la planta
	Planta	*Por definir	Diseña e implementa la estructura organizativa de la planta. Asigna responsabilidades a lo largo del proceso. [Gerente de operaciones]	Dada la tecnología, el mayor o menor grado de eficiencia ambiental (optimización de recursos, prevención de derrames, calibra el sistema de fluidos) depende de sus decisiones.
	Mantenimiento	*Por definir	Vigila el adecuado funcionamiento del factor tecnológico. Identifica fallas (potenciales y efectivas) y asigna tareas para su solución. [Jefe de operaciones o supervisor]	De su trabajo depende que haya o no derrames o pérdidas de fluidos, lo que impacta en la eficiencia de la planta porque el flujo determina la capacidad de producción. Además si ya se ha producido un derrame, su capacidad de respuesta rápida y efectiva es fundamental para minimizar el daño ambiental.
<b>Operativo</b>	Exploración	*Por definir	Desarrolla proyecciones de calor y decide el punto en el que se hará la perforación	Si sus proyecciones son adecuadas el pozo que haya decidido será o no útil por un largo plazo, pero si su proyección es incorrecta habrá que hacer más perforaciones y esto incrementa el impacto ambiental negativo. Además las características y condiciones de perforación también tendrán un impacto que él debe disminuir.
	Planta	*Por definir	Tiene a su cargo la calibración del sistema. Debe decir la cantidad promedio de energía que se está generando y vigilar que se mantenga constante porque lo contrario indica pérdidas de fluido y derrames de salmuera que debe notificar de inmediato y ubicar en qué punto se encuentran	Sus actividades son el centro del manejo ambiental de la planta
	Mantenimiento	*Por definir	Al presentar derrames de salmuera o pérdidas de calor interviene para frenarlos y evalúa la magnitud de los daños	Su capacidad de respuesta influye en la magnitud del daño cuando se presentan fallas. También colabora en la prevención de daños al vigilar las condiciones de los equipos.

\* Geólogos, geofísicos, ambientólogos, ingenieros, técnicos, etc.

### 2.3.- Preguntas de investigación

General: En términos de desempeño productivo sustentable (emisiones, desechos y uso de recursos) ¿qué ocupaciones del conjunto de perfiles de empleo solicitados para el reconocimiento, exploración y explotación de un desarrollo geotermoeléctrico están asociados a las fases del proceso productivo que implican efectos significativos sobre el ambiente?

Específicas:

¿Cuál es el proceso que debe seguir una planta de desempeño productivo sustentable?

¿Qué habilidades (capital humano) cubre la oferta educativa nacional (pública y privada) para la exploración, instalación y operación de una planta geotermoeléctrica de referencia de buenas prácticas?

### 2.4.- Justificación

Construir el perfil sustentable de referencia implica conocer la tecnología y la cadena de empleo asociadas a esta planta referente de buenas prácticas.

Conocer las diferencias entre habilidades asociadas a impactos ambientales significativos que realmente se observan y las que se asuman como ideales es importante porque colabora con los objetivos planteados por la economía verde, con base en la comprensión acerca de: a) para las empresas geotérmicas entender qué demandar en términos de cualidades ambientales que las beneficiará y b) para las organizaciones laborales e instituciones educativas (política laboral y educativa) entender cuáles son las calificaciones ambientales que proporcionan las técnicas más eficientes que se deben ofrecer. La comprensión de dichos requerimientos es parte de un proceso de cambio al que deben adaptarse pronto.

Entender las diferencias entre perfiles operativos, y su importancia variable en distintas etapas del proceso productivo, evidencia que el alcance del enverdecimiento de los empleos del sector exige un elevado compromiso en la estructura de la organización de la planta que se implemente para introducir las consideraciones ecológicas del cambio de cultura, misma que incrementa la consistencia del comportamiento del trabajador.



Esta discusión es especialmente importante para delinear la política educativa del país, enfatizando aportes a la calidad de la fuerza laboral al añadir un componente nuevo, referido a la toma de conciencia ambiental, entendida como la incorporación de un conjunto de conocimientos, habilidades de cuidado, preservación y uso eficiente de recursos usados en la actividad laboral.

Esta información es útil para organizaciones laborales e instituciones educativas, principalmente universidades, porque de los resultados surgen aportes puntuales acerca de si los trabajos que se crean se cubrirán por el mercado laboral mexicano y, sobre el componente de decencia en el empleo por el que pugna la Organización Internacional del Trabajo (OIT), según el cual, además de ser trabajos que colaboran con la protección al ambiente y el combate al cambio climático, deben cubrir ingresos suficientes, seguridad social y protección a los derechos de los trabajadores (OIT, 2008).

Al respecto, realizar una investigación sobre las bases de especialización y habilidades, y cómo éstas determinan mejoras al aporte ambiental de los mercados laborales del nuevo sector energético es importante porque permite proyectar los impactos netos de empleo y la dimensión que dicho cambio genera en impactos ambientales, por lo que, de esta manera, se clarifica el conocimiento para generar pautas y normas y mantener un control sobre el estado y dirección que debe seguir la política laboral y educativa directamente y, en un nivel más alto, las estrategias de desarrollo sustentable del país.

## 2.5.- Objetivos de la investigación

Objetivo general.

Determinar perfiles de empleo correspondientes con el desempeño productivo sustentable de la energía geotérmica y comparar las habilidades requeridas de aquellas que tengan asociado un impacto ambiental significativo, con la oferta educativa y programas de capacitación del sector de energía geotermal.

Objetivos particulares.

\*Con base en indicadores, determinar el aporte ambiental de los perfiles laborales del sector y la incorporación efectiva al mercado.

\*Determinar las habilidades asociadas a impactos ambientales significativos que se requieren para exploración, instalación y operación de una planta de energía geotérmica con base en el establecimiento de una planta referente de buenas prácticas.

\*Diseñar “perfiles de referencia” que respondan a las condiciones actuales y potenciales de la tecnología y la oferta educativa que harían que el impacto positivo sea el máximo bajo dichas condiciones

\*Comparar la oferta académica (técnica y profesional) y de capacitación con las habilidades requeridas por perfiles laborales del objetivo anterior.

### III.- MARCO TEÓRICO

#### 3.1.-Estado de la cuestión

Este asunto no suele ser abordado de forma masiva en la literatura especializada y, en general, los textos existentes se limitan a señalar la cantidad de empleos que se crean por Mega watt (Mw) producido y asumen un impacto positivo sobre el empleo, pero un análisis cuantitativo tan simple no es suficiente para ubicar una problemática ambiental y laboral en un contexto de crecimiento y desarrollo sustentable inclusivos, particularmente en un país como México donde las condiciones estructurales para la creación de empleo decente son muy diferentes a la de los países en los que esto se ha estudiado. Considerar esto es primordial para la planificación adecuada porque, como se ha visto, si los errores de planeación se arrastran por años, conviene entonces analizar cada aspecto relacionado al sector laboral y su impacto ambiental, en un proceso de transición que recién se está gestando. Lo han abordado agencias especializadas sobre temas de empleo o energía (OIT, SENER) y algunas organizaciones geotermales de EU

Cuadro 3 Estado del arte

<b>Generación de empleos verdes</b>	<b>Informes</b>	Emisores principales: OIT y Gobierno federal (SENER) OIT, OIE, CSI, 208, Empleos verdes: Hacia el trabajo decente en un mundo sostenible y con bajas emisiones de carbono OIT, 2012, Hacia el desarrollo sostenible: Oportunidades de trabajo decente e inclusión social en una economía verde Jáuregui, 2013 [Foro Nacional de Empleos verdes] SENER, 2013, Prospectiva de Energías Renovables 2013-2027
	<b>Casos de</b>	Jennejohn, 2010, Green Jobs Through Geothermal Energy wei, Max., Patadia, Shana., Kammen, Daniel.M., 2009, Putting renewables and energy efficiency to work: How many jobs can the clean energy industry generate in the US? Programa de Apoyo Medioambiental a las Pymes del Campo de Calatrava (PAMPCC), 2003, Estudio de nuevos yacimientos de empleo en medioambiente
<b>Brecha de habilidades</b>	<b>Informe</b>	OIT, 2011, Skills and Occupational Needs in Renewable Energy Ministerio de comercio de Nueva Zelanda, 2013, Geothermal energy. The opportunity
	<b>Casos de estudio</b>	Mankolo Lethokoa, 2014, Green Economy job projections vs green skills: Is there a link between present skills base and the projected numbers in South Africa? Geothermal Association New Zeland, 2009, Skills issues in the geothermal industry Andrew P. McCoy, Patrick O'Brien, Vera Novak y Mason Cavell, 2012, Toward Understanding Roles for Education and Training in Improving Green Jobs Skills Development Claire Evans y Dean Stroud, 2014, Greening steel work: Varieties of Capitalism and the 'greening' of skills

En general, como se muestra en el cuadro anterior, la literatura especializada se puede encontrar dividida en aquella que trata de la generación de empleo y la que trata de la brecha de habilidades. En el primer tipo, comúnmente se suele hablar de la cantidad de empleos verdes que puede aportar la economía verde y, en algunos casos de estudio, se hace este conteo específicamente para el sector energético renovable. Este tipo de literatura se basa en la metodología insumo producto, que consiste en seguir los insumos utilizados en el proceso de producción para determinar la cantidad de empleos en cada proceso. En el segundo tipo, se abordan más casos de estudio, los cuales se relacionan con propuestas de planes y programas de educación que cubran el déficit de habilidades que se tiene en el sector energético (o cualquier otro).

### 3.2.- Enfoque teórico de la propuesta

Como se ha planteado, uno de los enfoques teóricos que ayudan a explicar el problema del sesgo tecnológico es el de economía verde y empleos verdes. Además, para conocer el otro factor de producción que se asume en esta investigación como determinante a considerar para

la mitigación del potencial daño ambiental en la producción de energía geotérmica es necesario hacer referencia a la teoría de economía laboral, en específico a los mercados de trabajo.

El motivo por el que el mercado laboral se aborda desde la perspectiva de empleos verdes es porque se asume que los empleos que se ofertan y demandan en dicho sector cumplen con las características que definen a un empleo verde como lo hace la Organización Internacional del Trabajo (OIT), es decir, se desarrollan en un sector productivo de bajas emisiones, que colabora con la sustentabilidad energética/productiva, que disminuye residuos y que, al requerir ciertas habilidades con nivel de especialización mayor se puede asumir que implican ingresos suficientes, seguridad social y una eventual participación en la toma de decisiones por parte de los trabajadores a partir de su agrupamiento en organización, estas últimas características son las que corresponden al elemento de “decencia” que, de acuerdo con la OIT, es necesario añadir a un empleo ambiental para que se convierta en un empleo verde (OIT, 2008).



Esquema 2 Teorías y conceptos

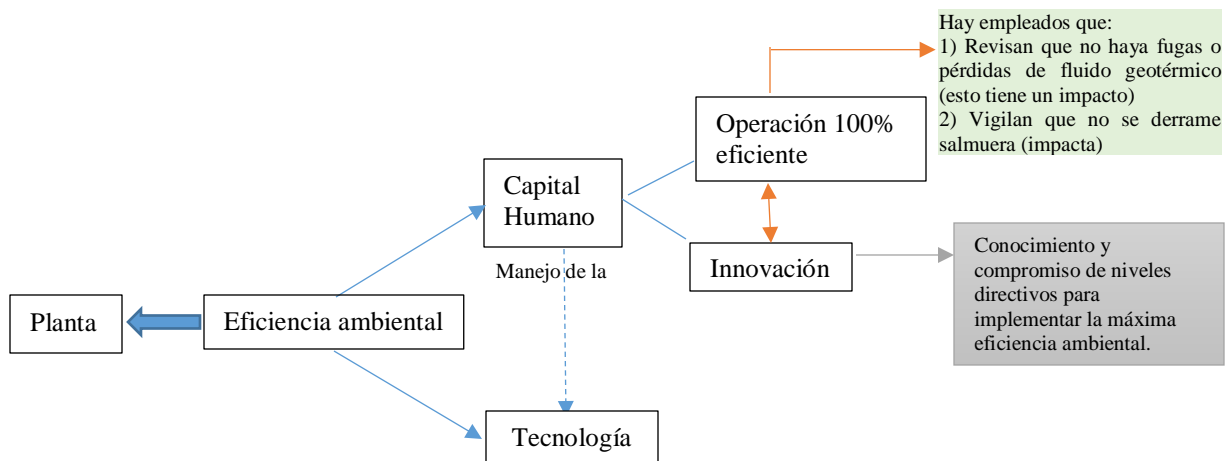
Un mercado es un espacio en el que interactúan grupos de compradores y vendedores (demandantes y oferentes) que realizan transacciones de mercancías o servicios entre ellos (Seldon y Pennance, 1967:346). Por tanto, el mercado de trabajo es “donde confluyen la oferta y la demanda de trabajo bajo un determinado marco institucional” (Freire et al., 2013:123). Para los fines de esta investigación, comprender “el trabajo”, con el nivel de especialización requerido en proyectos geotermoeléctricos, que se oferta y demanda en el mercado puede ser entendido desde la lógica del “capital humano”

El capital humano es el conjunto de capacidades y habilidades intelectivas y motoras que posee el trabajador y que contribuyen a su productividad (Acemoglu y Autor, s/f: 3; Garrido, 2007: 74). Se refiere a las habilidades y conocimientos comerciables de los trabajadores, pero se distingue de cualquier otro tipo de factor de producción porque no se puede desprender de su poseedor, por lo que el valor del trabajo en realidad se expresa por lo que produce. La teoría clásica de los mercados de trabajo asume que los trabajadores más educados son más productivos y, en consecuencia, esto resultaría en mayores ingresos para el trabajador (mayor salario) siempre y cuando se trate de un mercado competitivo.

Los usos del concepto capital humano se relacionan con i) usos directos al proceso de producción, con lo que se asume que el capital humano incrementa la productividad del trabajador; ii) diversas dimensiones de las habilidades, por ejemplo, la diferenciación entre habilidades físicas y mentales; iii) también es visto como una “capacidad para adaptarse” esta visión del concepto es especialmente funcional para explicar situaciones en las que hay un cambio de ambiente y los trabajadores tienen que adaptarse; iv) otra perspectiva del mismo concepto hace referencia al rol de las instituciones de educación para instruir a los individuos la ideología correcta para el desarrollo de sus vidas y v) visto como una señal de las capacidades funcionales en el proceso de producción (ibid, 4).

En los mercados laborales verdes el capital humano (intersección de los conceptos) se relaciona con aspectos operativos y directivos. El conjunto de conocimientos y habilidades de los operativos con decisiones de responsabilidad ambiental (como se verá) condiciona las actividades que se desarrollarán en planta y, por otra parte, aunque estos impongan la estructura más eficiente, si los operarios no tuvieran un nivel mínimo de cualidades eficientes ambientalmente, la operación ideal no sería posible, por lo que ambos niveles requieren capacitación y conciencia de su papel como agentes de cambio.

En este sentido, es necesario conocer no sólo la pertinencia de la capacitación técnica sino, **quién y cómo define el uso de la tecnología**—es lo relevante para ver qué se requiere para llegar al modelo ideal como un todo, es decir, qué tan ajustado está el mercado laboral al modelo de referencia



Esquema 3 Relación eficiencia-tecnología-capital humano.

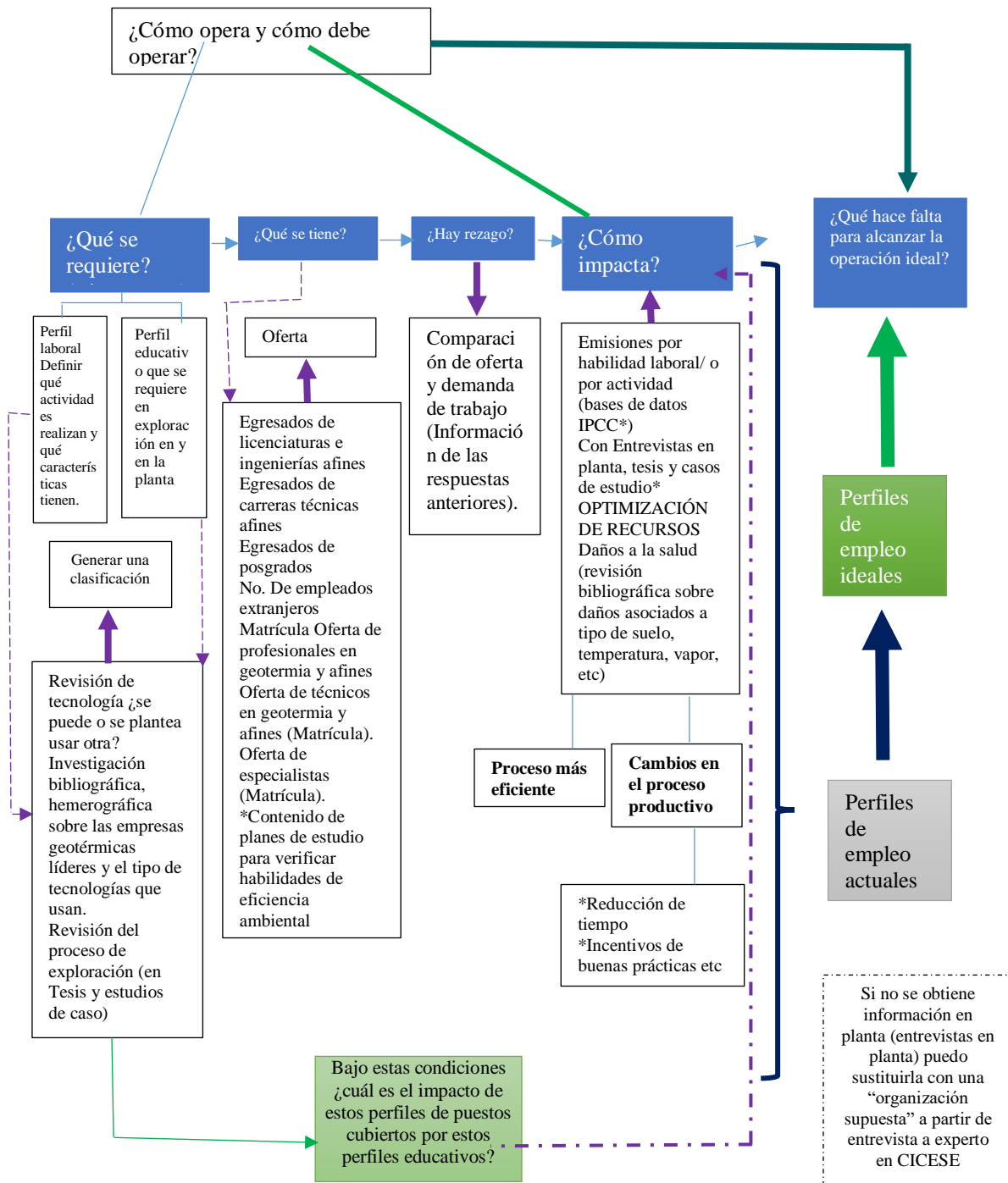
#### IV. HIPÓTESIS:

El desarrollo de la energía geotérmica en México implica cambios tecnológicos y en la estructura de los mercados laborales de este sector que requieren habilidades que son cubiertas parcialmente por la oferta educativa y de capacitación nacional, bajo un esquema de impacto/ cuidado ambiental por perfil y perfiles de empleo de referencia.

##### 4.1 Hipótesis secundaria.

La capacidad de impacto en términos de empleos verdes depende de las actividades de mayor contenido de responsabilidad ambiental para la producción sustentable de energía eléctrica geotermal.

## V.- ESTRATEGIA METODOLÓGICA.



Esquema 4 Estrategia metodológica

Se aclara que, dado que la cantidad de personas que trabajan directamente en la energía geotérmica es difícil de cuantificar con exactitud<sup>3 4</sup>, los niveles específicos de empleo por ocupación y las previsiones de demanda y oferta laboral resultantes que aquí se presentan sirven como una base de referencia con sustento en fuentes oficiales tanto nacionales e internacionales. Destaca entonces que la matriz de empleo que se construyó, se usa estrictamente como una aproximación respaldada<sup>5</sup> del empleo en el área de geociencias e ingeniería-de la rama geotermoeléctrica.

Con base en ese esquema y la construcción del escenario de mejores prácticas, se intenta poder apreciar e indicar en qué puntos del proceso de generación geotermoeléctrica, la formación y capacitación (referidas a la educación, la cual será vista como una forma de capital humano) es crucial para realizar/mejorar el “desempeño productivo sustentable” y cuáles son las características del empleo verde correspondiente.

Debido a que el objetivo de esta investigación no es pronosticar la cantidad de empleo por ocupación de las actividades científicas y de ingeniería de los proyectos geotermoeléctricos, sino identificar y caracterizar las ocupaciones, tipo de empleo y formación asociada desde un enfoque de desempeño productivo sustentable/verde, se aclara que las estimaciones (cantidad de empleo) presentes y futuras-se retoman principalmente de seis estudios internacionales específicos en el área de fuerza de trabajo en la industria geotérmica (Estados Unidos (4), Nueva Zelanda (2)) y dos nacionales oficiales (6 volúmenes) sobre formación de recursos humanos para la transición energética más un estudio de competitividad (IMCO) e

---

<sup>3</sup> El personal que trabaja directamente en la energía geotérmica es difícil de cuantificar con exactitud debido a que el mercado de desarrollo geotérmico es altamente segmentado por fases y se fragmenta en diversos consultores, operadores y desarrolladores, lo cual refleja que las empresas individuales no se dedican exclusivamente al área geotérmica y que, en muchas, este segmento sea de los menores en el conjunto de sus actividades totales.

<sup>4</sup> Esto se hace evidente al observar el escaso número de estudios/investigaciones sobre empleo específico en el sector geotérmico. Los seis estudios internacionales citados provienen de sólo tres proyectos de evaluación de la fuerza de trabajo involucrada en desarrollo geotérmico, el primero y más exhaustivo, en Estados Unidos, elaborado por el Institute of Human Resource Management University of Utah en 1979 y continuado en 1981, el segundo, en el mismo país, elaborado por la Asociación de Energía Geotérmica (GEA por sus siglas en inglés) en 2005 y 2010, éste último con un enfoque de empleo verde y el tercero en Nueva Zelanda, elaborado en 2005 y reelaborado en 2009 por Sinclair Knight Merz. Estos estudios señalan, bajo distintos enfoques, la cuantificación y, en algunos, el nivel académico esperado del personal empleado en sus respectivos países.

<sup>5</sup> El desempeño productivo sustentable atiende ambos lados del mercado de trabajo, oferta y demanda, por eso los puntos identificados como clave en el proceso para el desarrollo productivo sustentable se refieren tanto a prácticas limpias in situ como a condiciones de trabajo (ingresos y decencia)



información del personal de la Comisión Federal de Electricidad, que domina el mercado geotermoeléctrico nacional, por medio de una petición de acceso a la información pública.

Dichos estudios se usaron como referencia para conocer las ocupaciones (y cantidad) asociadas a las actividades del desarrollo de proyectos geotermoeléctricos. También conviene aclarar que algunos de ellos, incluyen ocupaciones en otras áreas de la industria geotérmica como la de manufactura o académica, sin embargo, esas áreas superan los alcances definidos para esta investigación, que se limitan sólo a las actividades in situ de los proyectos geotermoeléctricos.

Para formar la base de características del empleo se usaron bases de datos de BLS de Estados Unidos, en concreto la base de datos O\*NET, del Departamento Laboral de Estados Unidos, la base del Observatorio Laboral Mexicano de la STPS, CONOCER, la ENOE de INEGI e IMCO. Como se menciona en estas fuentes, el uso de dichas bases de datos de ambos países resultó apropiado debido a la concordancia que genera la unificación de ocupaciones del Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN)<sup>6</sup> y el Sistema Nacional de Clasificación de Ocupaciones que son equivalentes en ambos países

Con base en estas referencias se contestó ¿cómo es el proceso? ¿qué del proceso es sustentable? ¿qué conocimiento y destrezas se requieren? ¿Qué empleados lo desarrollan? ¿qué conocimiento y cuáles destrezas pueden adquirirse en formación académica? ¿cuáles son las características de esos empleos?

---

<sup>6</sup> Permite la comparabilidad entre las estadísticas económicas de México, Estados Unidos y Canadá: [naics-scian.inegi.org.mx/](http://naics-scian.inegi.org.mx/)

## 2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE DESARROLLO GEOTÉRMICO

Un sistema geotérmico se conforma de una serie de elementos definidos dentro de un área en la que es posible la transferencia de calor desde una fuente hasta una abertura (ISAGEN y BID, 2012:14 y Dickson y Fanelli, 2004:7). Los elementos principales son la fuente de calor, el reservorio o yacimiento y el fluido (Coronado y Garciadiego, 2015) (Ver cuadro 2.1).

**Cuadro 2.1 Elementos de un sistema geotérmico**

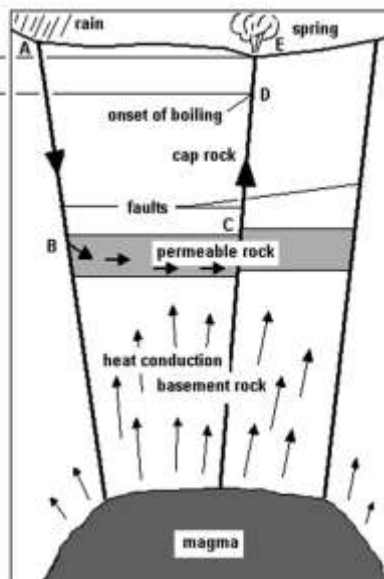
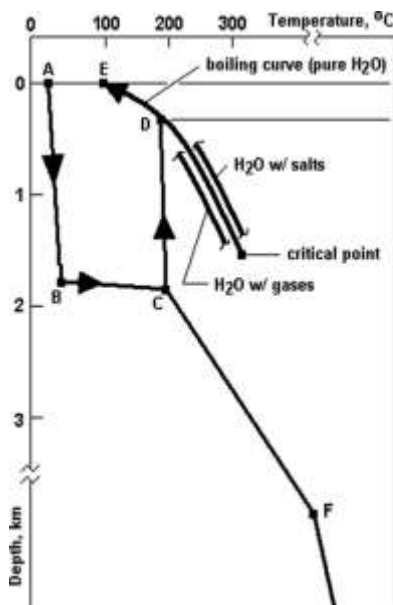
Elemento	Características
Fuente de calor	Roca caliente, cámara magmática o gases calientes (que calientan el fluido) de origen magmático Temp. > 600 °C Prof. > 2 Km “El corazón de un sistema geotérmico lo constituye la fuente de calor. Si las condiciones son favorables, los demás componentes pueden ser adecuados artificialmente” (ISAGEN y BID, 2012:18).
Reservorio geotérmico/yacimiento geotérmico	Calor concentrado por medio del volumen de rocas calientes permeables en las que circule fluido geotérmico a profundidades económicamente explotables y con calor y presión suficiente para trasladar el vapor a la superficie (ISAGEN y BID, 2012; Dickson y Fanelli, 2004 y ESMAP, 2012). En la Ley de Energía Geotérmica (2014) se define como “La zona del subsuelo compuesta por rocas calientes con fluidos naturales, cuya energía térmica puede ser económicamente explotada para generar energía eléctrica o en diversas aplicaciones directas”
Sistema de suministro de agua	“sistema de fallas o diaclasas en las rocas que permiten la recarga del reservorio geotérmico con el agua que se infiltra en el subsuelo” (ISAGEN y BID, 2012:14).
Capa sello	Capa que impide que los fluidos geotérmicos se dispersen en la superficie por medio de un estrato impermeable que cubre el reservorio, lo contiene y evita la pérdida de agua y vapor (ISAGEN y BID, 2012)
Fluido geotérmico	“Es el medio que transfiere el calor” (Dickson y Fanelli, 2004:7). Es agua, en su fase líquida, de vapor o en combinación, que se encuentra en el

reservorio geotérmico y que puede aflorar a la superficie de manera natural mediante manantiales de aguas termales o pozos geotérmicos. (Son calentados por la roca caliente, el magma o gases volcánicos, es decir la fuente de calor).

La Ley Geotérmica define un Recurso Geotérmico como “Recurso renovable asociado al calor natural del subsuelo que puede ser utilizado para la generación de energía eléctrica, o bien, para destinarla a usos diversos”

Fuente: Información extraída de ISAGEN y BID, 2012: 14-18; Dickson y Fanelli, 2004:7; ESMAP, 2012:18 y Ley de Energía Geotérmica, 2014.

Para que todos estos elementos de un sistema geotérmico sean susceptibles de explotarse comercialmente para generar electricidad, DiPippo (2012) explica que existen cinco características que hacen que un recurso geotérmico hidrotermal sea viable: a) una fuente de calor grande; b) un depósito permeable; c) un suministro de agua; d) una capa superpuesta de roca impermeable y e) un mecanismo de recarga confiable. La falta o debilidad de alguna de estas características normalmente hará que no sea redituable la explotación de ese sistema particular, aunque dichas deficiencias se han solventado a través de práctica e investigación (excepto para la fuente de calor grande y la capa sello).



“El agua de recarga en frío llega en forma de lluvia (punto A) y se filtra a través de fallas y fracturas dentro de la formación donde entra en contacto con las rocas calientes. La capa permeable ofrece una vía de menor resistencia (punto B), y como el líquido se calienta se hace menos denso y tiende a subir dentro de la formación. Si se encuentra una falla mayor (punto C) ascenderá hacia la superficie, perdiendo presión a medida que sube hasta que llega al punto de ebullición para su temperatura (punto D). Ahí flashea en vapor que emerge como una fumarola, una fuente termal, un mud pot, o un estanque de vapor caliente (punto E). La curva de ebullición es el lugar geométrico de temperaturas de saturación que corresponden a la presión hidrostática del fluido local” (DiPippo 2012: 9).

Fuente: Tomado de DiPippo, 2012

## Exploración de recursos geotérmicos.

No hay otro medio que la perforación profunda (Full size production well), para saber con certeza si la existencia y capacidad del recurso geotérmico en un sitio es apto para su explotación comercial, sin embargo, para los proyectos geotérmicos, el elevado riesgo por el costo de probar el recurso es uno de los principales obstáculos que enfrenta la industria, debido a que el proceso de perforación es muy costoso y complicado, por lo que es necesario, previamente, llevar a cabo un programa complejo de exploración superficial y a detalle que aporte tanta información como sea posible, a fin de reducir la incertidumbre y los costos asociados (Jennejohn, 2009:7; Jennejohn, 2010:13; Quijano, 2007; Prol, 1995: Capítulo IV, IGA, 2014:16,23, IGA, 2013 y Taylor, 2007).

*La clave del éxito de la exploración es desarrollar un buen modelo conceptual del recurso geotérmico potencial* (Taylor, 2007). El resultado del trabajo de reconocimiento y exploración se compila y resume en un modelo conceptual que explica, con base en la información y evidencias encontradas qué sucede en el subsuelo del área de exploración, y es el eje para la toma de decisiones en relación a la localización y objetivos de perforación de pozos exploratorios para comenzar con la siguiente fase de exploración y, más tarde, conforme se va avanzando en las etapas del proyecto, este modelo se enriquece con la información que cada etapa va aportando, con lo que gradualmente adquiere mayor validez (Taylor, 2007 y Coronado y Garciadiego, 2015). La actualización del modelo conceptual es relevante para la gestión del riesgo porque ayuda a reducir la incertidumbre para la toma de decisiones al minimizar el riesgo de fracaso de perforación (Taylor, 2007).

Aunque la secuencia, técnicas y medios para el despliegue de proyectos geotermoeléctricos, desde su reconocimiento, y localización hasta la puesta en marcha, operación y mantenimiento tiene similitudes y generalidades a nivel internacional, es necesario indicar que la forma específica de aplicación de las herramientas, técnicas y métodos de procesamiento en cada fase del proyecto es única y atiende a características diversas tales como las físicas, químicas y de

temperatura, así como a restricciones económicas (de razón costo-beneficio), legales y sociales, entre otras, para cada prospecto y en cada país

Lo anterior da indicios de una idea que se irá elaborando a lo largo de este capítulo en relación a la definición de las ocupaciones que más impactan en la eficiencia y funcionamiento sustentable de la planta geotermoeléctrica, las cuales se relacionarán con actividades de mayor contenido de responsabilidad ambiental y en relación al nivel de personal (científicos, ingenieros operario y técnico). Al usar la toma de decisiones para el impacto, se intenta hacer abstracción de la parte laboral del proceso y aislarla de la parte de la tecnología.

### **Fase 1. Reconocimiento preliminar**

Antes de elaborar un programa de exploración específico en un sitio se debe llevar a cabo un primer reconocimiento a una escala nacional o regional. El objetivo de los desarrolladores durante la fase de identificación es obtener cuanta información sea posible acerca de los recursos potenciales así como consideraciones socioeconómicas y políticas que sustenten la toma de decisiones manteniendo al mínimo los costos, los cuales en esta fase se asumen bajos, a fin de mitigar el costo futuro y el riesgo durante la exploración, perforación y producción lo que permite un mejor acceso al capital (Deloitte, 2008: 27 y Coronado y Garcíadiego, 2015: 9).

Se trata de aplicar métodos económicos que cubran áreas extensas y se justifiquen por medio de una razón alta entre beneficio y costo y cuyo resultado brinde una idea amplia de dónde podría estar localizado un recurso geotérmico (Prol, 1995:38). Para este punto, se asume que una parte del conocimiento regional ya está cubierta por estudios previos y programas de investigación propios de países con experiencia en recursos geotérmicos como México (Quijano, 2007). La información que se busca se relaciona con actividades de exploración previa de minerales y petróleo e información geológica y geofísica (Sinclair Knight Merz, 2005).

El estudio preliminar ayuda a prever, desde el inicio, posibles obstáculos para el desarrollo e incluye dos componentes, información técnica-geológica y no

geológica. La información geológica se refiere a una revisión literaria de datos geológicos, hidrológicos, imágenes satelitales y aéreas, entre otras, mientras que la no geológica se refiere a información sobre el mercado eléctrico y posibles acuerdos de compra de energía, cuestiones de infraestructura como vías de comunicación, transmisión, agua, carreteras, esquemas institucionales, regulatorios, de impacto ambiental y sociales e información anecdótica para pronosticar posibles obstáculos sociológicos o ambientales que deban ser tratados durante el desarrollo del proyecto (IGA, 2014).

En forma generalizada, esta primera fase se basa en un estudio de gabinete para situar las zonas potenciales de existencia de recursos geotérmicos en áreas extensas, por eso a esta etapa se le suele llamar etapa de exploración regional. Esta parte del estudio se sustenta en una revisión literaria exhaustiva y en el uso de internet, con lo cual se identifica un área de interés (Sinclair Knight Merz, 2005). Las fuentes de información son publicaciones académicas, tesis de universidades locales y extranjeras, programas de investigación, operaciones anteriores de exploración de minerales, petróleo o gas, informes oficiales de agencias de gobiernos de múltiples niveles, información de búsquedas en Internet y datos y mapas comprados a proveedores (IGA, 2014).

Aunque los organismos de investigación geotérmica internacionales, que documentan todo lo relacionado a investigaciones sobre desarrollo geotérmico, - tales como la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), la Asociación Geotérmica Internacional (IGA), el Banco Mundial, a través de la Corporación Financiera Internacional (IFC) y el Programa de Asistencia para la Gestión del Sector Energético (ESMAP), la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID)- consideran que, por su amplia disponibilidad, la recolección de datos geológicos es una tarea fácil en relación al resto de las etapas que proceden en los proyectos geotermoeléctricos, se sabe que, entre los grupos de exploradores del sector, hay dificultades frecuentes para la obtención de información, ya sea porque mucha de la información no está digitalizada y se vuelve más difícil de conseguir o, debido a

la tendencia de confidencialidad de sectores del petróleo/gas y minero que no siempre están dispuestos a compartir los resultados de sus estudios previos de exploración que serían los más funcionales y una contribución importante a la reducción de costos de exploración e incluso, aún cuando algunos sean compartidos, son estudios que se elaboraron hace mucho tiempo (Taylor, 2007). Por tanto “Cada geólogo, tiene su método preferido de localización de los datos necesarios” (Taylor, 2007: 6).

Las actividades que suelen llevarse a cabo en esta fase son:

➤ Inventario o recolección de datos

El primer paso es recopilar y revisar toda la información existente a nivel nacional y regional que corresponda a indicios de posibles zonas geotérmicas, para ello, se revisan estudios geológicos previos, mapas geológicos, imágenes vía satélite y aéreas y datos meteorológicos e hidrológicos que den evidencias de recursos geotérmicos, tales como manantiales termales y zonas de alteración hidrotermal además de investigaciones de aguas subterráneas y de riesgos geológicos (Sierra y Pedro, 1998:14; Prol, 1997:37; ISAGEN y BID, 2012; IGA, 2014:42, Sinclair Knight Merz, 2005 y GeothermEx Inc et al, 2013)<sup>7</sup>. Además, se debe incluir toda la información referente a procesos de tenencia de la tierra y uso de suelo, derechos sobre el recurso geotérmico, aspectos de regulación ambiental y aspectos sociales como áreas protegidas, peligro geológico, espacios culturales, derechos indígenas, distancia a centros de población, entre otros (IGA, 2014; ESMAP, 2012 y GeothermEx, et al, 2013).

Con el objetivo de incentivar las inversiones en energías renovables, algunos países han elaborado inventarios preliminares de sus recursos geotérmicos, por ejemplo en México se cuenta con el Atlas Nacional de Recursos Geotérmicos, elaborado por personal de la Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos de la CFE, y forma parte

---

<sup>7</sup> Los textos de geología tienen un cambio entre 1960-1970. Las publicaciones anteriores a estas décadas no incluyen el pensamiento más reciente en relación a la teoría de tectónica de placas, la cual provee “las herramientas básicas para entender los orígenes de los recursos geotérmicos de alta temperatura” (DiPippo, 2012: 3).

del Inventario Nacional de Energías Renovables de la Secretaría de Energía (SENER, 2015). Además, en el marco de la Estrategia Nacional de Energía, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Comisión Reguladora de Energía (CRE) han publicado el potencial geotérmico preliminar del país y los asuntos regulatorios relacionados con el objetivo de promover el desarrollo eficiente de la generación de energía eléctrica por particulares (Hiriart LeBert, 2011). Además, a nivel global, la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) y la Agencia Espacial Europea (ESA) elaboraron el Atlas Global de Energías Renovables de IRENA, una herramienta de uso público que reúne mapas de 67 gobiernos y bases de 50 centros de datos (IRENA, 2015). Estos recursos informativos son una buena base para iniciar la localización de recursos geotérmicos probables, aunque, como se mencionó, conforme la escala de especificidad es menor la dificultad de obtención de datos aumenta.

Gráfico 2.1 Geología en la fase de reconocimiento geotérmico



Esquema 2.1 Geología en la fase de reconocimiento geotérmico

➤ Inspección topográfica nacional

La escala de exploración es superior a 1,000 Km<sup>2</sup> (Quijano, 2007, Hiriart, 2011 y Coronado y Garciadiego, 2015). Se buscan estudios geológicos disponibles que se acompañen de imágenes de satélite y aéreas que resalten rasgos superficiales, la preferencia entre una y otra depende del costo y extensión, las primeras son más baratas, tienen menor resolución y abarcan áreas más grandes, mientras las imágenes aéreas son más costosas pero tienen mayor resolución por lo que se



prefieren en áreas de menor tamaño (Coronado y Garciadiego, 2015, Taylor, 2007 y ESMAP, 2012).

Se usan mapas topográficos que muestren áreas permitidas para desarrollo geotérmico, se observa si hay zonas adjudicadas alrededor u otros derechos de uso o restricciones de uso de suelo, entre otros (IGA, 2013). En México el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) es el principal proveedor (Hiriart LeBert, 2011).

➤ Selección de áreas prometedoras

Un campo geotérmico de aprovechamiento comercial debe tener por lo menos las siguientes características: a) Anomalía térmica o fuente de calor. Puede ser magma de alta temperatura en la corteza terrestre, roca caliente o gases calientes; b) un yacimiento económicamente explotable (profundidades limitadas a equipo de perforación y costos asociados) conformado por rocas permeables que permitan la circulación del fluido geotérmico y c) una barrera impermeable o capa sello que cubra el reservorio y evite la pérdida de calor (Coronado y Garciadiego, 2015: 14-15 y BID e ISAGEN, 2012: 14-15).

El gradiente geotérmico, definido como el aumento de temperatura de la tierra con la profundidad es un buen indicador del potencial geotérmico de un sitio porque sus valores normales equivalen a un aumento de entre 25 y 30°C/km, por lo que en las zonas donde el gradiente térmico es mayor será donde se haga una primera consideración y se espera que existan las características propicias para desarrollos geotérmicos (ISAGEN y BID, 2012)

Se debe tener en cuenta que los reservorios geotérmicos son una red de roca fracturada a través de la cual se presenta percolación de fluidos (Taylor, 2007: 4). Para campos geotérmicos de alta temperatura (para producción de electricidad), las zonas a las que se les da mayor atención son aquellas “de vulcanismo reciente, relacionadas con fajas sísmicas” porque alrededor de áreas volcánicamente activas, cerca de los límites de las placas tectónicas es donde, por lo general, se encuentran los mejores campos geotérmicos (Prol, 1997; Quijano, 2007 y ESMAP, 2012).

Aunque los yacimientos geotérmicos se encuentran especialmente en regiones con actividad tectónica y magmática, la ubicación de un país entre las márgenes de las placas litosféricas no garantiza la existencia de yacimientos económicamente viables (Coronado y Garciadiego, 2015). En este contexto, también debe considerarse la posibilidad de indicadores sutiles para la identificación de yacimientos geotérmicos ocultos que no tienen aguas termales o fumarolas, para estos, las manifestaciones superficiales son menos evidentes e incluyen roca alterada, costras de sal/evaporitas, tobas, travertinos, escoria, ópalo, entre otros, los cuales son detectables a través de técnicas de teledetección (Taylor, 2007)

En este punto, un conjunto de herramientas poderoso del equipo de exploración es la teledetección que ha facilitado la localización de manifestaciones termales al brindar imágenes de grandes áreas de terreno (satelitales/aéreas) conociendo las características de los terrenos en relación al potencial geotérmico antes de visitarlos, lo cual es relevante para la toma de decisiones al hacer un primer balance sobre si las condiciones de acceso y los requerimientos de obtención de derechos de la tierra son propicios en relación a los beneficios que se pueden esperar (Taylor, 2007 y Shah et al, 2015). La herramienta teledetección ha tenido un rápido avance tecnológico y permite identificar las manifestaciones superficiales menos evidentes que se mencionaron (Taylor, 2007).

Antes de seleccionar el área y diseñar el programa de exploración, el explorador debe identificar conflictos potenciales y las posibles formas de abordarlos, es importante que si hay comunidades cercanas, sus pobladores estén informados de los impactos positivos y negativos del proyecto desde el inicio para lo cual es necesario entender la percepción de la comunidad y mantener una buena comunicación (IGA, 2014)

➤ Evaluaciones de Impacto Ambiental y permisos necesarios

Cuando el desarrollador determina mediante estudios técnicos que cierta área puede contener un recurso económicamente viable debe registrar el proyecto ante las instituciones reguladoras nacionales y atender los requisitos específicos en materia ambiental (Jennejohn, 2010). Uno de los puntos más importantes en materia

de impacto de los desarrollos geotérmicos es la relación que guarden con disponibilidad de agua subterránea y la calidad en el contexto local (IGA, 2013). En el caso mexicano, el desarrollador debe primero registrarse ante la Sener y debe informar si durante los trabajos de exploración o explotación habrá interferencia con acuíferos adyacentes al Yacimiento Geotérmico (Reglamento de la Ley de Energía Geotérmica).

Al localizar un área geotérmica que se cree viable, el grupo de exploración debe decidir sobre el terreno que creen que podría sostener un recurso geotérmico, tomando en cuenta además del conocimiento geológico compilado. Las restricciones regulatorias nacionales y locales en materia ambiental<sup>8</sup> y social. Las más comunes son Áreas Naturales Protegidas, Reservas ecológicas y zonas urbanas (ESMAP, 2012; Ley de Energía Geotérmica, 2014).

Si en el área se sospecha sobre algunas fuentes de conflicto, una de las mejores prácticas es que desde las etapas iniciales, en la selección del sitio, se establezca contacto y un diálogo permanente con todas las partes involucradas que pudieran resultar, de alguna forma, afectadas (IGA, 2013).

En años recientes, la aceptación social sobre tecnologías y proyectos de energías renovables ha llamado la atención debido a conflictos sociales en los que se ha visto que la desinformación y la falta de comunicación entre desarrolladores y/o operadores y las comunidades y gobiernos locales crean controversias de diversa índole. El conocimiento público sobre la energía geotérmica, se ha encontrado que es escaso o erróneo, por eso es importante que desde el reconocimiento del área prospecto, si hay centros de población cercanos, se atiendan consideraciones éticas y sociales con base en concientización sobre los beneficios y riesgos y en comunicación permanente entre todas las partes involucradas (gobierno, industria, científicos, población) a fin de contrarrestar la falta de conocimiento sobre las

---

<sup>8</sup> Un asunto importante en los proyectos geotérmicos es la financiación. Al respecto, el Banco Mundial establece ocho políticas de protección ambiental y social para las instituciones de préstamos para inversión: OP/BP 4.01 sobre la evaluación ambiental, OP/BP 4.04 sobre hábitats naturales, OP/BP 4.09 sobre el control de plagas, OP/BP 4.10 sobre personas indígenas, OP/BP 4.11 sobre los recursos culturales físicos, OP/BP 4.12 sobre el reasentamiento involuntario, OP/BP 4.36 sobre bosques e OP/BP 4.37 sobre seguridad de represas. Para el caso de Evaluación Ambiental, los proyectos de energía geotérmica es variable pero normalmente se ubican en la Categoría B que refiere impactos específicos al sitio con muy pocos irreversibles y con medidas de mitigación fáciles de diseñar (ESMAP, 2012: Anexo 1)

tecnologías asociadas (Romanach et al., 2015; IGA, 2013 y Ormad, 2014). Hugo Lucas, representante de IRENA declaró en el Foro Internacional sobre Energía Geotérmica, celebrado en México en 2013 que los técnicos normalmente tienen muy malas prácticas en comunicación porque al transmitir información tienden a decir primero los riesgos de hacerlo mal y, en consecuencia, eso es lo que la gente recordará de la comunicación, por lo que propone enaltecer los beneficios y desarrollar discursos con mensajes positivos, empezar por los beneficios y finalizar con el “si se hace mal” (en Ormad, 2014)

Por otra parte, las consideraciones de Evaluación de Impacto Ambiental que se deben incluir en México son las siguientes:

**Cuadro 2.2 Impactos adversos potenciales**

Impactos adversos potenciales	
Remoción de la vegetación	Durante la construcción de caminos de acceso, de plataformas y presas de lodos
Alteración del suelo	Por el balconeo de material durante la construcción de caminos y plataformas
Emisiones de H <sub>2</sub> S a la atmósfera	Durante la operación de las unidades de generación y evaluación de los pozos geotérmicos
Contaminación de aguas superficiales	En el caso de verter el agua residual geotérmica (salmuera) sobre cuerpos de agua superficiales (arroyos, ríos, etc)
Generación de residuos	Durante las etapas de perforación, construcción, operación y mantenimiento
Impacto visual (Paisaje)	Por la construcción de caminos, plataformas, unidades de generación y demás infraestructura geotérmica.
Emisión de ruido	Durante todas las etapas del proyecto (preparación del sitio, perforación, evaluación de pozos y operación de las unidades)

Impacto en especies en riesgo	Por la pérdida de hábitats durante la remoción de la vegetación, en el caso de que estas estuvieran presentes.
-------------------------------	--

Fuente: Extraído de Flores, s/f

Después de recolectar y evaluar toda la información disponible, el desarrollador tendrá elementos de juicio que le llevarán a decidir si inicia con la exploración superficial del proyecto, con base en una imagen amplia sobre el tipo y tamaño del reservorio posibles, quiénes serían los posibles compradores, el marco legal y regulatorio de referencia y sobre el impacto ambiental y social, así, en función de esa acumulación de conocimiento, efectuará la decisión (Flóvenz, s/f).

Al concluir el reconocimiento preliminar, además de contar con los permisos de exploración, el equipo de exploración debe ya contar con una idea amplia de asuntos legales, sociales, ambientales y geológicos sobre los cuales podrá ir avanzando el proyecto (Taylor, 2007).

## **Fase 2. Exploración geocientífica**

Al identificar el o las áreas con potencial para desarrollo geotérmico se procede a la exploración más detallada y científica que lleve a la formación de un modelo hidrogeológico con base en estudios geológicos, geofísicos y geoquímicos (Sinclair Knight Merz, 2005). Esta fase requiere geocientíficos en el sitio (geólogos, geofísicos, geoquímicos) y normalmente la primera visita es la del geólogo (Taylor, 2007). En este punto se inician también las peticiones regulatorias que en cada país se requieran. En el caso de México, este paso inicia desde el reconocimiento, porque se requiere el Registro del proyecto ante la Secretaría de Energía, independientemente de la legislación local (Ley de energía geotérmica, 2014).

En esta etapa se busca localizar el área que alberga un recurso geotérmico con suficiente energía para producir electricidad a través de caracterizar la zona geotérmica, conocer el tipo de fluido, temperatura, composición química y su capacidad de producir energía y la información resultante se usa para justificar si se procede a la siguiente etapa (Hance, 2005:6, Prol, 1995: Capítulo IV y Flores, s/f).

La información obtenida de este subproceso se usa para aumentar la probabilidad de éxito en la perforación de pozos de producción (Jennejohn, 2010, Prol, 1995).

La exploración a detalle de esta segunda fase se rige por estudios de las geociencias que ofrecen métodos para estimar la temperatura, profundidad, productividad y sustentabilidad del recurso geotérmico en las circunstancias específicas de cada proyecto (IGA, 2014). A continuación se presentan las principales características de los principales estudios geocientíficos de exploración detallada.

#### Estudio geológico.

Este estudio evalúa si la actividad superficial se relaciona con las estructuras geológicas, para ello se elabora un mapa geológico a detalle del área seleccionada y contiguas en el que se muestren las “manifestaciones termales y rasgos geológicos, fallas, fracturas distribución superficial y a profundidad de los diferentes tipos de roca y su permeabilidad” que contribuyan a la ubicación de pozos exploratorios (Prol, 1995).

Es común que la primera persona en visitar y trabajar en sitio sea un geólogo, idealmente con alguna especialidad en sistemas volcánicos y su trabajo consiste en analizar las muestras de rocas, sedimentos y lava de la superficie (DiPippo, 2012; Taylor, 2007 y Sener a [Prospectiva vol 4], 2015). Realiza un recorrido para explorar el sitio y sus proximidades y observar indicios obvios y sutiles, tales como anomalías de vegetación, características térmicas superficiales, fuentes de calor activas o geológicamente recientes y rocas o depósitos superficiales que puedan haber sido recientemente alterados, de esta forma, la distribución de todos estos rasgos permite inferir la geometría del subsuelo (Taylor, 2007 y Quijano, 2007).

Tras la observación se hace una evaluación de los mapas recopilados en la etapa previa de reconocimiento, para ver si son precisos y adecuados, por ello en el recorrido se verifican las unidades geológicas que afloran y, si es necesario se corrigen o se realizan nuevos mapas geológicos (IGA, 2014 y Quijano, 2007).

Las evidencias superficiales se relacionan a características y procesos subterráneos de diversas maneras, por ejemplo, *la vegetación anómala de forma selectiva, o comunidades de plantas inusualmente vigorosas pueden ser resultado de la acumulación de gases comunes en yacimientos geotérmicos en el suelo (SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S y CO<sub>2</sub>) que alteran el funcionamiento fenológico de las plantas* (Van der Meer, et. al., 2014:259).

Otro elemento de relación entre lo que se ve en superficie y lo que no en el subsuelo se encuentra al explicar el vulcanismo del área en el pasado. Este proceso importante porque es lo que ha dado lugar a la formación de muchos campos geotérmicos, por tanto, el resultado de tal proceso, que es visible en superficie con aspectos tales como la naturaleza y volumen del material expulsado durante las erupciones y su extensión, ayudan a entender ese proceso pasado enterrado y, en consecuencia, saber si el sitio ha sido afectado por fluidos geotérmicos (DiPippo, 2012:22).

El trabajo en el sitio incluye el levantamiento estratigráfico de las principales unidades litológicas (cuerpo rocoso con composición química y mineralógica relativamente homogénea), para determinar los límites entre unidades y analizar a detalle las de mayor importancia geotérmica, como las relacionadas con la fuente de calor, el yacimiento y la capa sello (Coronado y Garciadiego, 2015). Las muestras de rocas deben georreferenciarse y posteriormente se realizan análisis petrográficos, geoquímicos y dataciones radiométricas para estimar la edad de los materiales eruptivos más recientes (ibíd., p. 25).

Con los resultados de este estudio se pueden mapear los patrones de fallas y fracturas

**Cuadro 2.3. Estudio geológico a detalle**

Estudio	Características
Levantamiento estratigráfico	Registra “formas, composiciones litológicas, propiedades físicas y geoquímicas, sucesiones originarias, relaciones de edad, distribución y contenido de fósiles... [Para] reconocer y reconstruir secuencialmente eventos geológicos.” (SGM, 2014) Identificación de unidades litológicas que serán ordenadas y asociadas a un tiempo geológico deducido de la historia de cada cuerpo rocoso
Estudio vulcanológico	Cuando la fuente de calor se asocia a volcanes se estudia la evolución volcánica y origen del magma en el área, enfatizando unidades litológicas de vulcanismo reciente

Estudio petrográfico	Descripción y clasificación de rocas según su textura y composición mineralógica para evaluar la relación que existe entre sus cristales, lo que lleva a determinar la naturaleza y origen de las rocas (SGM, 2013)
Estudio estructural a detalle	Caracterización de los principales sistemas de fallas y fracturas relacionadas al reservorio y al límite del sistema geotérmico. Brinda información relacionada con la permeabilidad del reservorio, la sismicidad y la microtectónica

Fuente: Coronado y Garciadiego, 2015: 22-26; SGM, 2013 y SGM, 2014

### Estudio hidrológico

El estudio hidrológico se realiza para reconstruir el sistema de circulación del agua relacionado con las manifestaciones superficiales, con sistemas de fracturas, fallas y variaciones litológicas (Van der Meer, et. al., 2014:257)

La comprensión de los impactos del desarrollo geotérmico sobre la disponibilidad y calidad de las aguas subterráneas es crítico para la sostenibilidad de cualquier proyecto geotermoeléctrico (IGA, 2014). En este sentido, llevar a cabo la identificación regional de aguas superficiales y subterráneas que se espera que tengan un componente térmico, es una de las tareas más importante para prever una fuente de conflicto social y económico, así como las posibles rutas de abordaje (en caso de haberlas).

#### Ley de Energía Geotérmica:

Artículo 15.- Los permisionarios deberán informar a la Secretaría, de manera inmediata, si existe interferencia con acuíferos adyacentes al yacimiento geotérmico derivada de los trabajos de exploración realizados, presentando la evidencia documental y de campo correspondiente. En caso de existir interferencia con acuíferos adyacentes, el asunto se someterá a dictamen de la Comisión Nacional del Agua, con base en dicho dictamen, la Secretaría resolverá, sobre la conveniencia o no de realizar los trabajos exploratorios que regula esta Ley.

### Estudio geoquímico.

El análisis químico es de las actividades más importantes de exploración (Taylor, 2007). Saber qué tan caliente puede estar el recurso geotérmico en la profundidad pero sin hacer perforaciones es posible evaluando los minerales y manantiales en la superficie, debido a que puede indicarse cuál fue la temperatura necesaria que dio lugar a las propiedades de dichos elementos y, en función de ello, asumir la temperatura en la profundidad, es decir que, las manifestaciones superficiales informan la temperatura y condiciones fisiológicas en el subsuelo a través de sus



propiedades (Jennejohn, 2009). Para poder inferir la temperatura a partir de las propiedades del agua de las manifestaciones termales se usan geotermómetros (ibid).

DiPippo (2012) menciona que a pesar de que los métodos y técnicas para llevar a cabo el estudio geoquímico son ampliamente conocidos y realizados, a menudo existen dificultades para la interpretación de los resultados de las pruebas, en especial, resalta la complejidad de responder en forma clara y precisa la temperatura del fluido geotérmico en las primeras etapas de la exploración caracterizadas por un alto nivel de incertidumbre (comprobación de las pruebas hasta fases posteriores).

Los datos geoquímicos son importantes porque, además de inferir la temperatura de los recursos, ayudan a prever la posibilidad y nivel de corrosión que puede esperarse y la interacción de los fluidos geotérmicos con el agua superficial cercana o con componentes magmáticos (IGA, 2014).

En este sentido, para conocer la distribución de la temperatura en la profundidad de los reservorios geotérmicos, se usan algoritmos llamados geotermómetros químicos, diseñados para aguas de diferentes temperaturas en distintos ambientes geológicos<sup>9</sup> (Santoyo y Verma, 1993). Estos son importantes tomando en cuenta que el movimiento de líquidos a alta temperatura alcanza un equilibrio con los elementos presentes en las rocas tales como cuarzo o sílice (SiO<sub>2</sub>), Sodio (Na), potasio (K) y calcio (Ca), importantes para la determinación de la temperatura del fluido (DiPippo, 20012:26). Para las etapas de exploración y explotación geotérmica uno de los más usados es geotermómetro de sílice, se trata de ecuaciones que determinan la temperatura en función del contenido de sílice en una muestra (ITME, 1985:V.7)

Un asunto relevante en relación a las habilidades y capacidades técnicas asociadas al empleo en esta fase, particularmente para los geoquímicos que usan estas

---

<sup>9</sup> Existen geotermómetros de sílice, alcalinos, de aguas salobres y aguas marinas modificadas y mezclas de geotermómetros (ITME, 1985). Son ecuaciones que se elaboran a partir de a) datos de reacciones químicas resultantes de la interacción roca-fluido; b) modelos de regresión elaborados con datos geoquímicos de pozos o manifestaciones termales y c) coeficientes resultado de experimentación en laboratorios o expuestos en literatura (Santoyo y Verma, 1993:288)

tecnologías y métodos, es la importancia de contar con la capacidad de análisis profundo y de reconocimiento adecuado y corrección de los geotermómetros utilizados en esta etapa, porque dichas técnicas son muy sensibles al proceso o comportamiento que siguen las muestras entre la profundidad del reservorio y, hasta alcanzar la superficie, en consecuencia, pueden obtenerse resultados con variaciones de temperatura significativas que lleven a estimaciones erróneas de la temperatura del reservorio e impactar directamente sobre la decisiones de viabilidad del recurso, por lo que en estas ocupaciones es imprescindible comprender la dinámica y cambios de propiedades bajo distintos esquemas y ambientes geotérmicos para tomar decisiones sobre las técnicas a utilizar y los juicios de interpretación de los estudios geoquímicos con sustento primero, en una base de conocimiento amplia y segundo, conforme sea posible, en experiencia práctica que evite fallas en la posterior formación del modelo del yacimiento y la toma de decisiones correspondiente.

#### Cuadro 2.4. Responsabilidades importantes del geoquímico

- Identificar si el recurso es dominante en vapor o líquido
- Estimar la temperatura mínima del fluido geotérmico
- Determinar las propiedades químicas de los fluidos, tanto en el reservorio y en el estado producido
- Caracterizar el agua de recarga, incluyendo su naturaleza y fuentes.

Fuente: Traducción propia, extraído de (DiPippo, 2012:25)

“Todas estas cuestiones requieren un juicio inteligente por parte del geoquímico” (DiPippo, 2012:28). Un ejemplo de lo anterior es la selección, corrección e interpretación adecuada de geotermómetros y sus resultados.

#### Fase 3. Perforación de prueba.

Esta fase es la que materializa el trabajo previo y, en consecuencia, concentra mayor riesgo para inversores, para el ambiente y en general, para la sostenibilidad del proyecto. Dada la

tecnología, la toma de decisiones es crucial para minimizar los riesgos mencionados asociados al proceso de perforación, el siguiente párrafo esclarece esta idea y da muestra de la relevancia del trabajo en esta fase:

*“La perforación geotérmica es una corriente sin fin de decisiones difíciles.” (Taylor, 2007: 37)*  
*“Imagine que un taladro ha llegado a una profundidad importante, justo por encima del depósito predicho. Cementan la sección perforada y proceden a perforar en la zona de producción propuesta. Aquí, el operador de la perforadora debe ser extremadamente cuidadoso en cuanto a la rapidez y hasta qué punto entran en este estrato. Perforan en roca fracturada que se encuentra bajo una enorme cantidad de presión. Se enfrenta el riesgo de que la barrena quede atrapada o del colapso del pozo, causándoles que pierdan el pozo en su totalidad. Hay casos en que la barrena, y las pocas articulaciones principales de la cadena pueden quedar atrapados. Esto se produce por un proceso de captura, o cuando demasiado esfuerzo de torsión se aplica al tren de tubería de perforación y la sección inicial cizalla (hace un esfuerzo cortante). Esta sección atrapada se conoce como el 'pez', y los esfuerzos para recuperarlo, naturalmente, como 'pesca'. Si el pescado no se recupera el equipo de perforación tendrá que renunciar al pozo o instalar un saque de salida encima del pez para perforar en una dirección diferente. Hay varios otros posibles problemas que se producen en el camino hacia la profundidad del objetivo.” (Taylor, 2007: 37)*

Como se puede observar, de acuerdo con (Flóvenz, s/f) “No existe un procedimiento de exploración único que se pueda aplicar universalmente a todos los campos geotérmicos”.

Es por ello que los recursos humanos cobran relevancia, independientemente de la tecnología, los conocimientos y la pericia con la que éstos desarrollen las actividades laborales que comprenda e interprete el conocimiento previo sintetizado en el modelo conceptual formado hasta tal etapa y que a partir de ello, cubra el proceso en forma eficiente y efectiva.

#### **Fase 4. Desarrollo de campo**

Cuando finalmente es completado un pozo de producción, el equipamiento incluye un separador de la fase líquida (salmuera) de la fase de vapor que es enviada a las turbinas generadoras. La salmuera separada contiene minerales disueltos en concentraciones más altas que en el depósito y puede afectar negativamente a la superficie o las aguas subterráneas si se mezclan pero para prevenir esa contaminación se reinyecta al yacimiento (DiPipo, 2012)

Una vez que se ha determinado la existencia del recurso geotérmico, para determinar la viabilidad del proyecto se debe conocer el precio de la energía (venta), las condiciones de acceso y disponibilidad a la red de transmisión eléctrica y el tiempo necesario que llevará comenzar a producir (Taylor, 2007).

La CFE por ejemplo, ha hecho uso de los contratos llave en mano en muchas ocasiones con empresas como Mitsubishi Heavy Industries Europe, Ltd., para construir plantas generadoras de energía en Los Azufres, Michoacán (cinco unidades) y Cerro Prieto, B. C., (seis unidades) en las que MHIE se hace “responsable de la ingeniería, fabricación, adquisición e instalación de los principales componentes, incluyendo la turbina de vapor y el balance de planta (BOP), así como de las obras de ingeniería civil.” (Sitio web de MHIE). Otra de las empresas que han instalado buena parte de la capacidad actual de la CFE en centrales geotermoeléctricas es Alstom, que bajo el mismo formato llave en mano ha participado en Puebla en Los Humeros IIA, IIB y ahora Los Humeros IIIA (NOTIMEX, 2013)<sup>10</sup>.

---

<sup>10</sup> Dentro de las disposiciones Generales en Materia Adquisiciones, Arrendamientos, Contratación de servicios y ejecución de Obras de la CFE y sus empresas productivas subsidiarias (al 2015) se establecen los tipos de contratos, en particular, define como “Contrato de Obra Llave en Mano a Precio Alzado.- el contrato en el cual el importe de la remuneración o pago total debe pagarse por una instalación eléctrica, electromecánica , o de naturaleza productiva que esté totalmente terminada y funcionando” (CFE, 2015:6)

### 3. Productos clave del trabajo técnico para la sostenibilidad del desarrollo geotermoeléctrico

#### Modelo conceptual integrado.

Desde el punto de vista informativo, el modelo conceptual integrado (modelo geológico, geoquímico y geofísico) es el producto del trabajo más importante que resume y sustenta la toma de decisiones antes, durante y después de la etapa de mayor riesgo de un proyecto geotermoeléctrico, la perforación.

El modelo conceptual integrado forma parte del producto final de la fase de exploración, el estudio de pre factibilidad, en el que se pondera el riesgo financiero y durante el diseño de pozos, el programa de perforación y la interpretación, los geocientíficos mejoran su comprensión del yacimiento (IGA, 2014).

La información que resume el modelo da respuesta a tres factores decisivos para la continuación o cese de actividades en distintas etapas: estimación del potencial explotable, ubicación de pozos exploratorios y evaluación del riesgo (Coronado y Garciadiego, 2015). Una buena ubicación de los puntos de perforación de pozos es trascendental para el éxito de perforación

La calidad del trabajo de exploración es la base de un modelo confiable, pues en buena medida, depende de la selección adecuada de técnicas de exploración, de una apropiada recopilación y almacenamiento de datos y su clara presentación (IGA e IFC, 2014). En este contexto, el modelado es un proceso iterativo que apunta a la mejora del entendimiento del sistema geotérmico por explotar o en explotación.

Esto es congruente con la idea que se planteó en la sección introductoria de esta investigación: dado el avance técnico, el factor trabajo (entendido como factor de producción) es el complemento para la efectiva realización de procesos más limpios y sostenibles a los que apunta la economía verde. Esto es particularmente evidente en el mercado de trabajo para energía geotérmica y aún más en esta actividad laboral pues si se

toma en cuenta que cada recurso geotérmico es único y no existe ni un método ni una tecnología específica para cada uno de ellos, la fuerza de trabajo cobra mayor relevancia y es evidente que por lo menos, en este campo, las habilidades y destrezas de los recursos humanos no pueden ser sustituidos por el estado actual de tecnología y es previsible que dado el avance técnico esto no suceda por un largo periodo.

## **Mapeo**

La relevancia del mapeo es poder dar una imagen resumida en capas de información superpuesta y dar una expresión gráfica para apoyo a la toma de decisiones respecto a los puntos establecidos de perforación. En la etapa de reconocimiento preliminar, los mapas geológicos enfatizan los rasgos vulcanológicos y estructurales y las manifestaciones superficiales y rasgos geológicos como fallas, fracturas y distribución, profundidad y permeabilidad por tipos de roca, lo cual permite al equipo de exploración organizar el trabajo de campo (Quijano, 2007 y Coronado y Garcíadiego, 2015). Inferir si existe o no un reservorio geotérmico en la profundidad del área explorada y, en su caso, el sistema de fallas asociado para dar sustento a la toma de decisiones respecto a los puntos de perforación de prueba y de producción y reinyección.

## **Selección del terreno.**

Aunque las cuestiones relativas a la obtención de permisos y arrendamiento se relacionan con adjudicadores y abogados ambientales, la inclusión de la selección de terreno se refiere no al hecho de adquirir los derechos como tal, aunque definitivamente la realización importa, sino a definir y delimitar adecuadamente la posición de la tierra que corresponda al área potencial del recurso, en todas las estructuras geológicas y a las profundidades evaluadas.

### Imagen 3.1 Ubicación del terreno vs recurso geotérmico



Fuente: Tomado de “Best Practices for geothermal power Risk Reduction Workshop follow-up manual” (GEA, 2014).

### Programa de perforación.

*“There is nothing more inefficient than doing something efficiently that Shouldn't be done in the first place. Wells are being drilled where they cannot be supported. We have to contain this urge to drill” (GEA, 2014:33).*

El programa de perforación materializa el resultado del trabajo geocientífico previo. Este proceso requiere la participación del equipo de ciencias de la tierra, dirigido por los geólogos e ingenieros de perforación, estos últimos, se basan en la información obtenida durante las fases anteriores de desarrollo del proyecto para la planificación (IGA, 2014). Un asunto relacionado con la eficiencia y la reducción del riesgo es el tiempo de perforación. Los desarrolladores están muy interesados en que se reduzca la pérdida de tiempo, pues aunque saben que no se puede acelerar el tiempo de perforación de la plataforma, si puede implementar un buen programa de perforación que evite las fallas de herramientas y problemas en los orificios de perforación e inspeccionar el desempeño del equipo a fin de prevenir la falta o descompostura de materiales y equipo (GEA, 2014).

Lo anterior, además de reducir los costos elevados de perforación incide en la capacidad del yacimiento para regenerarse la cual puede comprometerse por el fracaso en reinyectar los fluidos geotérmicos o por perforaciones erróneas (ESMAP, 2012:3)

### **Modelo de reservorio**

El modelo de reservorio, como una extensión del modelo conceptual integrado, es importante porque una vez que el recurso ha sido probado y se encuentra en fase de explotación, es la herramienta de monitoreo que permite aplicar las medidas preventivas y correctivas para hacer efectiva la producción limpia.

Durante la fase de operaciones y mantenimiento se debe verificar la presión del fluido geotérmico y la productividad de los pozos. La determinación de la productividad media de los pozos define el alcance de futuras perforaciones (IGA, 2014).

La formación del modelo numérico a partir del modelo conceptual y de la adición de información resultante de las perforaciones de prueba y del proceso productivo pronosticará el desempeño del yacimiento geotérmico durante la producción futura y esto se usa para estimar el impacto que la explotación geotérmica tendrá en el yacimiento, y para predecir la posible degradación de la temperatura del yacimiento y / o presión y la potencia de salida resultante (IGA, 2014).

Para comenzar con el modelo del reservorio el ingeniero debe reunir toda la información que le sea posible tanto del trabajo previo de exploración como de la obtenida con el proceso de perforación (Taylor, 2007):

Información de perforación

Historia de temperatura

Información geológica

Resultados de pruebas de temperatura, presión, spinner de los pozos

Mapa del yacimiento

Datos históricos de producción si se trata de un campo reciente, del estado natural del campo

Actividades de las áreas cercanas



Entre mayor información se adquiera, la comprensión del yacimiento será mejor y consecuentemente la probabilidad de éxito del desarrollo geotérmico aumentará. En términos de buenas prácticas para el uso sustentable del recurso la relevancia del modelo es que permitirá conocer el nivel de uso máximo sostenible y acompañado de los objetivos financieros del desarrollador y/o operador guiará la toma de decisiones sobre la forma de producir, ya sea que supere el nivel máximo sostenible por un periodo corto, que opere intermitentemente por encima y por debajo de dicho nivel o que opere prolongadamente debajo del nivel.

### Contenido de responsabilidad ambiental del empleo.

Suponiendo que los factores de producción son la tecnología e infraestructura descrita, los recursos naturales, representados por el sistema geotérmico y el trabajo, representado por la mano de obra en el proceso de desarrollo geotermoeléctrico, se hace uso del supuesto *ceteris paribus* para conocer qué cambia en el ambiente al variar el trabajo, “manteniendo todo lo demás constante” *cet par*.

El referente es la responsabilidad que implica la toma de decisión particular sobre el receptor (afectación +/- en magnitud, frecuencia y consecuencias) dado el nivel de tecnología (selección de técnica adecuada y conocimiento del funcionamiento de la tecnología).

El receptor es el medio ambiente existente tomando en cuenta la lista de impactos significativos de (IGI, 2002). Se priorizan los impactos ambientales asociados a plantas de flasheo simple porque son las que dominan en México.

**Cuadro 3.2 Receptores de evaluación**

<b>Receptores</b>	<b>Característica</b>
Salud y seguridad	Se refiere a elementos traza Gas radón y estabilidad del suelo que pueden representar problemas de seguridad pública y salud para la población vecina
Agua	Contaminación potencial de agua subterránea, agotamiento de reservas, Efectos sobre las aguas superficiales / humedales. descarga superficial de la salmuera de residuos; contaminación del agua subterránea (abatimiento con reinyección)

Suelo	Se refiere a contaminación del suelo por derrames, filtraciones, fugas, etc; estabilidad de las rocas; Extracción y disposición del material perforado, Capacidad del régimen existente para sostener la extracción y contaminantes (residuos nucleares), vibración (magnitud, frecuencia y consecuencias) y potencial subsidencia
Recursos naturales de valor económico	Impacto sobre los Recursos Naturales por ejemplo, esterilización
Aire	Emisiones de H2S y CO2
Ruido	Durante las pruebas de perforación (se pueden usar silenciadores de roca) (DiPippo, 2012). El ruido asociado con la operación de las centrales geotérmicas podría ser un problema en áreas pobladas donde la central en cuestión genera electricidad. Durante la fase de producción, se produce un ruido agudo por el vapor que recorre las tuberías y por la descarga ocasional de ventilación así como el ruido de las columnas de enfriamiento. Estos problemas se pueden mitigar si se determinan los niveles máximos de decibeles y se invierte en medidas de mitigación apropiadas, tales como barreras de sonido y otro tipo de aislamiento (ESMAP, 2012:66)
Contaminación visual	Tuberías y edificios en zonas prístinas antiestéticas (abatimiento: Utilizar bajo nivel de estructuras; pintar el equipo en colores de camuflaje) (DiPippo, 2012)

Fuente: IGI, 2002 y DiPippo, 2012

Las actividades sobre las que se evalúa el contenido de responsabilidad se muestran en la siguiente lista de verificación:

Cuadro 3.3 Lista de verificación del contenido de responsabilidad ambiental

Cuadro 3.3 Lista de verificación del contenido de responsabilidad ambiental

Agente	Receptor	Referencia	Influencia
Geólogo	Salud y seguridad	Emisiones de gas radón y elementos traza y nivel de estabilidad estructural	Alta
	Agua	Contaminación del agua en L	Alta
	Suelo	Erosión, tierra extraída, pérdida de cubierta vegetal	Alta
	Aire	Emisiones de GEI	Baja
	Ruido	Mediciones de ruido y vibraciones	Baja
	Contaminación visual	Alteración del paisaje	Baja
	Recursos naturales de valor económico	Esterilización, flora y fauna	Alta
Geoquímico	Salud y seguridad	Emisiones de gas radón y elementos traza y nivel de estabilidad estructural	Alta
	Agua	Contaminación del agua en L	Alta
	Suelo	Erosión, tierra extraída, pérdida de cubierta vegetal	Alta
	Aire	Emisiones de GEI	Baja
	Ruido	Mediciones de ruido y vibraciones	Baja
	Contaminación visual	Alteración del paisaje	Baja
	Recursos naturales de valor económico	Esterilización, flora y fauna	Alta

Geofísico	Salud y seguridad	Emisiones de gas radón y elementos traza y nivel de estabilidad estructural	
	Agua	Contaminación del agua en L	Influencia presente
	Suelo	Erosión, tierra extraída, pérdida de cubierta vegetal	Influencia moderada
	Aire	Emisiones de GEI	Influencia moderada
	Ruido	Mediciones de ruido y vibraciones	Influencia moderada
	Contaminación visual	Alteración del paisaje	
Ingeniero de perforaciones	Recursos naturales de valor económico	Esterilización, flora y fauna	
	Salud y seguridad	Emisiones de gas radón y elementos traza y nivel de estabilidad estructural	Influencia presente
	Agua	Contaminación del agua en L	Influencia presente
	Suelo	Erosión, tierra extraída, pérdida de cubierta vegetal	Influencia presente
	Aire	Emisiones de GEI	Influencia presente
	Ruido	Mediciones de ruido y vibraciones	Influencia presente
Ingeniero de diseño de sistemas de planta	Contaminación visual	Alteración del paisaje	Influencia presente
	Recursos naturales de valor económico	Esterilización, flora y fauna	Influencia moderada
	Salud y seguridad	Emisiones de gas radón y elementos traza y nivel de estabilidad estructural	
	Agua	Contaminación del agua en L	Influencia moderada
	Suelo	Erosión, tierra extraída, pérdida de cubierta vegetal	Influencia presente
	Aire	Emisiones de GEI	Influencia moderada
Ingeniero de Commissioning	Ruido	Mediciones de ruido y vibraciones	Influencia moderada
	Contaminación visual	Alteración del paisaje	
	Recursos naturales de valor económico	Esterilización, flora y fauna	
	Salud y seguridad	Emisiones de gas radón y elementos traza y nivel de estabilidad estructural	
	Agua	Contaminación del agua en L	Influencia moderada
	Suelo	Erosión, tierra extraída, pérdida de cubierta vegetal	Influencia moderada

Donde:

	Influencia presente		Influencia moderada
---	---------------------	--	---------------------

Cada uno de estos componentes se verifica para las actividades de mayor relevancia para la sostenibilidad del proceso con énfasis en aspectos como eficiencia o productividad y disminución de riesgo. Dichas actividades representan momentos clave para el desempeño productivo limpio y sustentable que resultará, tras el proceso de entre cinco a diez años que normalmente abarca el ciclo de desarrollo del proyecto (Jennejohn, 2010; SKM, 2009).

## Momentos clave para el desempeño productivo sustentable:

Modelo conceptual

Mapeo

Selección del terreno

Programa de perforación

Diseño de planta

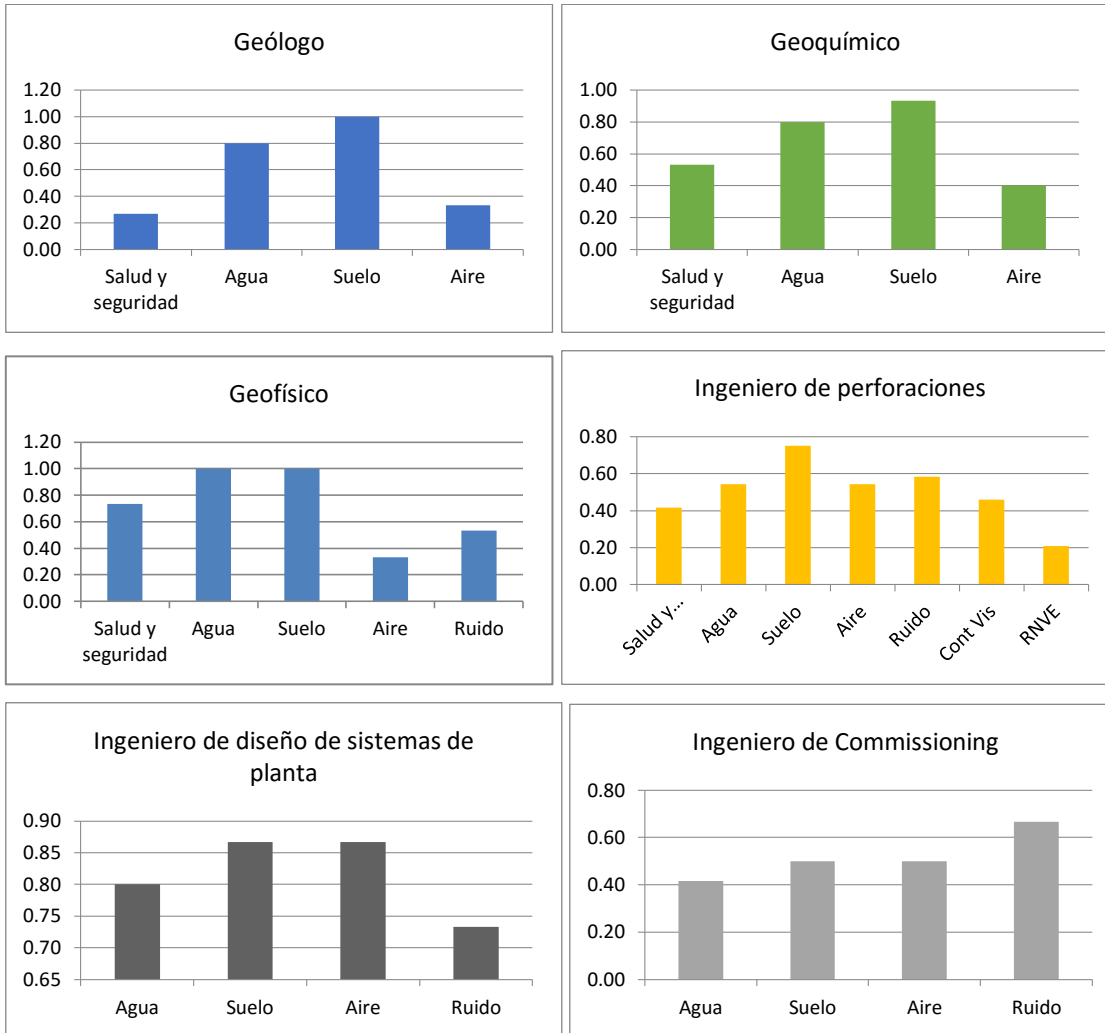
Simulación de Yacimiento

Commissioning

O & M

La revisión se hizo considerando si la actividad laboral y/o el resultado del trabajo tienen una influencia sobre el receptor de forma importante (3), media (2) o baja (1). Y para decidir el nivel de importancia el referente fue: Importante si hay algún tipo de daño o afectación posibles y no hay medidas de mitigación o son muy caras o complejas; media si hay algún tipo de daño o afectación posibles pero las medidas de mitigación son sencillas y económicas y baja Si la afectación es poco común y/o no requiere medidas de mitigación. Con base en estos criterios se obtuvo la importancia relativa de la disciplina sobre el ambiente existente.

Gráfico 3.1 Importancia relativa de las ocupaciones sobre el ambiente existente



Fuente: Elaboración propia

#### 4. Mercado laboral verde para el desempeño productivo sostenible en proyectos geotermoeléctricos.

¿Qué se requiere?

En este capítulo se presentan las características generales de los perfiles de empleo asociados a las capacidades técnicas de ciencias e ingeniería que influyen en el desempeño productivo sostenible in situ. Como se mencionó, los perfiles de empleo calve para los momentos decisivos del proceso productivo por su sensibilidad sobre la eficiencia y sostenibilidad en el uso del recurso son:

**Cuadro 4.1: Ocupaciones para el desempeño productivo sostenible**

Producto clave	Ocupación
<b>Mapeo</b>	Geólogo
<b>Modelo conceptual</b>	Vulcanólogo
<b>Selección de terreno</b>	Geofísico
	Geoquímico
<b>Ingeniería de perforación</b>	Ingeniero de Perforaciones o grado similar.
<b>Diseño de planta</b>	Ingeniero Industrial y diseño de productos en sistemas y subsistemas de energía geotérmica.
<b>O &amp; M</b>	
<b>Commissioning (Supervisor)</b>	Ingeniería mecánica y eléctrica

Fuente: Elaboración propia a partir de prospectivas de talento de Sener a, b, c, 2015 y mejores prácticas de (IGA, 2013) e (IGA, 2014) y publicaciones de estado de la tecnología de GEA: (Taylor, 2007) y (Kagel, 2008). Las tareas que debe desarrollar el equipo de exploración geocientífico son:

**Cuadro 4.2 Actividades de trabajo de geocientíficos**

Analizar e interpretar información geoquímica, geofísica o geológica de fuentes tales como datos de estudios, registros de pozos, sondeos de perforación o fotografías aéreas.
Planear o realizar estudios geológicos, geoquímicos, geofísicos o de campo, toma de muestras, o perforación y probar programas que se utilizan para recopilar datos para la investigación o aplicación.
Preparar mapas geológicos, diagramas transversales, cuadros o informes relativos a la extracción de minerales, uso de la tierra, o la gestión de recursos,

utilizando los resultados del trabajo de campo o laboratorio de investigación
Analizar e interpretar los datos geológicos, utilizando los programas informáticos.
Investigar la composición, estructura, o la historia de la corteza terrestre a través de la recolección, el examen, medición o clasificación de los suelos, minerales, rocas, o de restos fósiles.
Evaluar el movimiento de tierra o agua superficial para proporcionar asesoramiento en relación con cuestiones tales como la gestión de residuos, la ruta y la selección del sitio, o la restauración de sitios contaminados
Localizar y estimar depósitos probables de gas natural, petróleo o recursos de agua subterránea, utilizando fotografías, gráficos, o resultados de investigación o de reconocimiento aéreo.
Localizar y revisar los artículos de investigación o informes ambientales, históricos o técnicos.
Comunicar los resultados geológicos escribiendo artículos de investigación, participando en conferencias, o la enseñanza de la ciencia geológica en las universidades.
Medir las características de la Tierra, tales como campos de gravedad o magnéticos, utilizando equipos tales como los sismógrafos, gravímetros, balanzas de torsión, o magnetómetros.

Fuente: Gea, 2014, U.S. Department of Labor, 2016 e IGA, 2014

Por su parte, entre las actividades de trabajo que debe realizar el ingeniero en perforación se encuentran las siguientes:

**Cuadro 4.3 Actividades de trabajo de ingeniero en perforación**

Evaluar los costos y estimar las capacidades de producción y el valor económico de los pozos de petróleo y gas, para evaluar la viabilidad económica de los posibles sitios de perforación.
Desarrollar planes para la perforación de yacimientos de petróleo y gas, y para la recuperación y tratamiento del producto.
Dirigir y supervisar la realización y evaluación de pozos, pruebas de pozos, o estudios de pozo.

Analizar los datos para recomendar la colocación de pozos y procesos complementarios para mejorar la producción.
Monitorear tasas de producción y planear el replanteamiento de los procesos para mejorar la producción

Fuente: IGA e IFC, 2014, U.S. Department of Labor, 2016 e IGA, 2014

Las actividades laborales de los ingenieros mecánicos/eléctricos son:

**Cuadro 4.4 Actividades de trabajo de ingenieros eléctricos.**

Preparar reportes de operaciones
Discutir diseños o planes con clientes
Operar sistemas computacionales
Estudios de suelo o cuerpos de agua para medir o determinar características
Crear esquemas eléctricos
Diseñar sistemas de energía alternativos
Supervisar ingenieros u otro personal técnico
Consultar con el personal técnico para preparar diseños para los planes operativos.
Diseñar estructuras o instalaciones
Mantenimiento de equipo directo o actividades de reparación.

Fuente: IGA e IFC, 2014, U.S. Department of Labor, 2016 e IGA, 2014

¿Qué se pide?

Las empresas que participan en alguna(s) de las fases de los proyectos geotermoeléctricos son heterogéneas en tamaño y especialmente en el tipo y cantidad de servicios que ofrecen. Al respecto, el Banco Mundial estima que sólo unas cinco empresas a nivel internacional se especializan en exploración y desarrollo geotérmico (ESMAP, 2012).

**Cuadro 4.5 Estructura de mercado para desarrollos geotérmicos.**

FASE DE DESARROLLO/ SEGMENTO COMERCIAL	ESTRUCTURA DE MERCADO/INDUSTRIA
<b>Desarrollo inicial</b>	Aproximadamente 5 empresas a nivel mundial se especializan en el desarrollo/exploración geotérmica como su actividad económica principal.
<b>Infraestructura</b>	El desarrollo de la infraestructura (tal como, trabajo en el derecho de paso, piso de perforación, sistemas de agua y comunicaciones) <u>suele estar a cargo del sector de construcción doméstico</u>



<b>Perforación</b>	<b>Menos de 5 empresas a nivel mundial se especializan en perforación geotérmica como su actividad económica principal;</b> más de 20 empresas adicionales (incluidas las empresas petroleras y mineras grandes) pueden efectuar perforación geotérmica como una segunda actividad económica.
<b>Equipo de la central eléctrica geotérmica</b>	Intercambiadores de calor, columnas de enfriamiento, condensadores, bombas, tubería, etc., son productos de venta al público, con muchos proveedores que compiten en el mercado.
<b>Turbinas y generadores geotérmicos (grupos electrógenos)</b>	La competencia en este segmento está limitada a <b>3 a 5 empresas que ofrecen generadores y turbinas "flash" de tamaño grande y mediano.</b>
<b>Construcción de la central eléctrica y sistema de recolección de vapor</b>	El mercado para la construcción de centrales eléctricas y la instalación de tuberías es altamente competitivo, pues este trabajo lo pueden realizar varias empresas que trabajan con acero.
<b>Interconexión</b>	La construcción y el mantenimiento de subestaciones y líneas de transmisión es un sector altamente competitivo, y usa el mismo equipo que otros proyectos eléctricos.
<b>Operación y mantenimiento</b>	Más de 20 empresas a nivel mundial, generalmente con el apoyo de empresas locales o nacionales.
<b>Misceláneo</b>	Los estudios de factibilidad y el diseño e ingeniería de la central eléctrica pueden efectuarlos más de 20 empresas a nivel mundial, con ayuda parcial de empresas locales o nacionales. Sin embargo, solo unas 3 empresas tienen una trayectoria sólida en el diseño de centrales eléctricas cuando hay fluidos geotérmicos complicados involucrados.

Fuente: Tomado de ESMAP, 2012:27

El escenario común en los países que cuentan con explotación geotérmica es de sólo unas empresas que tienen como una de sus ramas de actividad alguna relación con servicios para geotermia de alta entalpía, por supuesto México no es la excepción pues, del conjunto de energías renovables que se desarrollan, el subsector de energía geotérmica es el que concentra menor número de empresas (Sener a, 2015). Hasta antes de la Reforma Energética de 2013, la Comisión Federal de Electricidad era la única que producía electricidad a partir de energías renovables (a gran escala)<sup>11</sup>. Este esquema monopolista ha cambiado y, tras la reforma, la CFE se convirtió en una empresa productiva del Estado (lo cual implica

<sup>11</sup> Anteriormente se permitía la participación a baja escala de generación con energías renovables. Derivado del PND 2007-2012 se podían instalar fuentes de energía renovable o cogeneración en pequeña (<10 kw en domicilio y <30 kw en negocios) y mediana escala (<500 Kw) y realizar un contrato de interconexión con CFE (CFE, 2012).

que el Estado es el dueño), y a partir de entonces, el mercado energético se abrió a la competencia privada (Ley de la CFE, 2014). Al 2015 se han otorgado cinco permisos para generación de electricidad a partir de recursos geotérmicos y todos han sido a pequeña escala (Sener a, 2015).

**Cuadro 4.6 Jugadores de la industria en el sector de energía renovable: Geotérmica.**

<b>Empresa</b>	<b>Actividad/servicios</b>
<b>ABENGOA MÉXICO</b>	Promoción, construcción y explotación de plantas industriales y energéticas: convencionales (cogeneración y ciclo combinado) y renovables (bioetanol, biodiesel, biomasa, eólica solar y geotermia).
<b>ALBERI</b>	Estudios De Energía Renovable (especialidad solar).
<b>CONSULTORES EN ENERGÍA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proyectos “llave en mano”.</li> <li>• Gestión de incentivos y créditos.</li> <li>• Contratos de Desempeño, en sus tipos de:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rendimiento Garantizado de la inversión del cliente y servicios de COENERGIA remunerados en función de beneficios obtenidos.</li> <li>- Ahorros Compartidos, con inversión mínima o nula del cliente y su participación en los beneficios resultantes.</li> </ul> </li> </ul>
<b>CONSULTORÍA Y SERVICIOS EN TECNOLOGIAS EFICIENTES</b>	Empresa mexicana que presta servicios de consultoría en eficiencia energética, fuentes renovables de energía, auditorías energéticas, administración ambiental y de recursos naturales, producción más limpia, y cambio climático. Se especializa en el diseño e implementación de proyectos, desarrollo de metodologías, investigación de mercado, capacitación y el diseño de estructuras institucionales.
<b>DNV GL</b>	Proveedor mundial de asesoría independiente en energías renovables. Reconocida en energía eólica
<b>ELECNOR</b>	De origen español. Ingeniería, desarrollo y construcción de proyectos de infraestructuras. Con cerca de 13.000 empleados en todo el mundo, 250 de ellos en México
<b>EMERSON</b>	Fabricación de equipos industriales y a proveer servicios de ingeniería.
<b>ENEL</b>	Dedicada a desarrollar y manejar actividades de generación de energía de fuentes renovables a nivel internacional, presente en Europa, las Américas, Asia y África.
<b>ENERTHI</b>	Empresa española que se especializa en la selección, el desarrollo y la construcción de proyectos de fuentes renovables y de proyectos hidráulicos.
<b>GEOTÉRMICA PARA EL DESARROLLO</b>	Filial de Grupo Dragón
<b>GRUPO DRAGON</b>	Grupo de empresas mexicanas dedicadas a la creación de infraestructura, generación y colocación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables de tres diferentes tipos: eólica, geotérmica y solar.
<b>GRUPO ENAL</b>	(Energías Alternas, Estudios y Proyectos SA de CV) es una empresa de ingeniería especializada en el desarrollo de proyectos geotermoeléctricos desde su fase inicial de identificación del recurso hasta la final de generación de energía eléctrica.
<b>MITSUBISHI</b>	Desarrollo de equipos que ahorran energía tales como turbinas de vapor de alta eficiencia y alta temperatura, calderas de presión súper crítica, turbinas de gas de alta temperatura y alta eficiencia, plantas generadoras de ciclo combinado con eficiencia térmica del más alto nivel mundial, y turbinas de bomba reversible con cabeza grande y gran capacidad.

<b>Mexusus Drilling International*</b>	Pozos geotérmicos: Perforación, reparación, estimulación, cementación y registros de presión y temperatura
<b>Constructora y Perforadora Latina*</b>	Principal empresa de perforaciones geotérmicas en Latinoamérica

Fuente: Para listado: Sener a, 2015 a, para actividades/servicios: Sitios web de las empresas y para (\*): Gobierno de la República, 2015.

Al permitir inversión privada y tratarse de una rama de actividad en la que son pocas las empresas establecidas y especializadas, puede asumirse que las empresas entrantes sean, en su mayoría, las que cuentan ya con operaciones internacionales, por tanto, si se considera que la cultura organizacional de la empresa es la misma, entonces se ancla el mismo comportamiento y esto aporta rigidez al desempeño en sus filiales, por lo que puede esperarse que el reconocimiento de habilidades y el uso sea similar en todas sus filiales, especialmente porque es probable que compartan programas de capacitación, sistemas de incentivos, percepciones etc., similares, sin embargo en el uso si podría haber divergencias debidas a contextos económicos y socio-culturales diversos.

**Cuadro 4.7 Ocupaciones clave para llevar a cabo la valoración del potencial energético, diseño y puesta en marcha de una planta de energía geotérmica**

Ocupaciones clave	Capacidades técnicas	Experiencia requerida / Educación / Certificación relevante
Geoquímico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocimiento de geoquímica geotérmica, sistema volcánico geotérmico, y actividades relacionadas a la exploración geotérmica y administración de yacimientos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Licenciatura en Geología o Química</li> </ul>
Geólogo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocimiento de topografía y estudios geológicos</li> <li>• Experiencia en el manejo de mapas</li> <li>• Conocimiento de rocas, actividades sísmicas</li> <li>• Experiencia hacienda recomendaciones sobre las áreas de perforación más económicas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Licenciatura en Geología</li> </ul>

Geofísico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Alto nivel de entendimiento</b> y aplicación de métodos geofísicos a sistemas geotérmicos, IR térmico, transferencia de calor superficial, cuantificación de la expresión geotérmica superficial, gravedad, métodos eléctricos, evaluación de recursos geotérmicos</li> <li>• Habilidades matemáticas de alto nivel</li> <li>• Conocimiento y experiencia en GIS y sistemas de cartografía</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Doctorado en geofísica (o Física)</b></li> </ul>
Ingeniero de Perforaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Experiencia en la determinación de la presión y velocidad del barrenado, seguridad, ingeniería de diseño y requerimientos de construcción de pozos geotérmicos, diseño inicial, y desarrollo de programas de pozos</li> <li>• Conocimiento y aplicación de prácticas de perforación de pozos geotérmicos y diseño de carcasas</li> <li>• Habilidad para llevar a cabo los cálculos apropiados involucrando hidráulica, pesos y presión, técnicas de perforación direccional, verificación de torsión y arrastre, y técnicas de optimización de perforación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ingeniero de Perforaciones o grado similar. <ul style="list-style-type: none"> <li>• 5 años de experiencia</li> <li>• Certificación IGSHPA. Certificación de Instalador Geotérmico Capacitación / Perforador Certificado de bucle cerrado vertical</li> </ul> </li> </ul>
Ingenieros de Diseño de Sistemas de Planta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocimiento de equipo para planta geotérmica</li> <li>• Experiencia en el modelado del rendimiento del sistema</li> <li>• Fuerte experiencia con técnicas de análisis estadístico</li> <li>• Conocimiento y diseño a nivel de sistema de subsistemas eléctricos dentro de una planta geotérmica, incluyendo conversión energética, inversores, y optimizadores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ingeniero Electricista y diseño de productos en sistemas y subsistemas de energía geotérmica.</li> <li>• 3-6 años de experiencia</li> </ul>
Ingeniero de commissioning	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buenos conocimientos en sistemas de medición, control y retroalimentación</li> <li>• Conocimientos en sistemas de alta y baja tensión</li> <li>• Experiencia en instalación eléctrica, diagramas unifilares y de tres líneas</li> <li>• Experiencia en técnicas operativas de puesta en marcha</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Licenciatura en ingeniería eléctrica <ul style="list-style-type: none"> <li>• 5 años de experiencia</li> <li>• Certificación de Instalador en Geotermia (IGSHPA)</li> </ul> </li> </ul>

Fuente: Tomado de Sener, 2015 a, b, c.

¿Qué se tiene?

Cuadro 4.8. Clasificación de carreras

Carrera	Total	Hombres	Mujeres	Con posgrado
Biología y bioquímica	166,617	66,600	100,017	21,857
Ciencias ambientales	11,893	6,906	4,987	6,680
Física	12,244	9,320	2,924	2,890

Ciencias de la tierra y la atmósfera	17,254	10,419	6,835	3,407
Ciencias de la computación	299,848	169,052	130,796	8,825
Ingeniería industrial, mecánica, electrónica y tecnología, programas multidisciplinarios o generales	341,348	249,002	92,346	9,039
Ingeniería mecánica y metalurgia	256,481	235,216	21,265	8,218
Electricidad y generación de energía	101,914	98,625	3,289	2,380
Ingeniería química	173,270	106,689	66,581	5,520
Tecnología y protección del medio ambiente	10,518	3,946	6,572	982
Minería y extracción	12,505	8,900	3,605	333

Fuente: IMCO, 2015

Base de información de (IMCO, 2015) para Ciencias de la Tierra:

Para los perfiles de empleo del geólogo o vulcanólogo, geoquímico y geofísico que son la base de las primeras tres etapas de todo desarrollo geotérmico que vaya avanzando, se requiere un nivel mínimo de licenciatura o ingeniería en Ciencias de la Tierra (Sener, 2015). De acuerdo a la clasificación de carreras en México (INEGI, 2012), para la formación de estos profesionales, el nombre genérico de la carrera es Ciencias de la Tierra y de la Atmósfera y dentro de esta clasificación, se engloban los siguientes programas de estudio:

- Ciencias atmosféricas
- Geofísica
- Geología
- Geomagnetismo
- Geomática
- Geotecnia
- Hidrología
- Meteorología
- Oceanografía
- Sismología

Al 2015, existen 17,254 personas con esta profesión, de los cuales 39.6 % son mujeres. Además 26.4 % son menores de 30 años (*ibíd.*), una cifra clara de la brecha generacional existente en el sector geotérmico.

El costo promedio total de inscripción, matrícula y examen de admisión, así como gastos en libros y materiales en universidades públicas incluyendo subsidios es \$155,157 por lo que con el salario promedio el tiempo de retorno de inversión es 13.5 meses, con un riesgo promedio de 16.9 %, es decir, de no estar empleados en el sector formal.

Las principales universidades que ofrecen formación en alguno de los programas mencionados son UNAM, IPN, Instituto Tecnológico de Ciudad Madero (ITCM), UAEM, Universidad de Sonora, Las Universidades Autónomas de Nuevo León, San Luis Potosí y Guerrero, el Instituto Tecnológico de La Chontalpa y la Universidad Veracruzana.

En cuanto a formación avanzada, 19.7% de los profesionales cuenta con un nivel de posgrado (*ibíd.*). Gaspar y Chávez (2016: 104-105) analizan la migración hacia Estados Unidos de profesionales altamente calificados entre 1990 y 2013 y encuentran que del total de posgraduados viviendo en México, 5.5 % son del área de físico matemáticas y ciencias de la tierra mientras que del total de posgraduados mexicanos viviendo en E.U. 5.8 % son de esta misma área, una proporción ligeramente superior, por lo que concluyen que los posgraduados tienen más oportunidad de empleo en E. U.

Para los perfiles de ingeniería en perforaciones, la clasificación de carreras es del área de minería y extracción y engloba los programas (INEGI, 2012):

- Extracción de materias primas
- Ingeniería de minas
- Ingeniería geológica
- Ingeniería petrolera y de gas
- Tecnología de minerales
- Incluye: estudios sobre materiales fluidos de perforación.

Al 2015, existen 12,505 profesionales en esta área de conocimiento, de los cuales, 71.2 % son hombres y de nuevo se encuentra que la brecha generacional asociada a programas de estudio para energía es elevada, 77% son mayores de 30 años y contabilizan el doble de ingreso que los menores (*ibíd.*).

El costo promedio total de inscripción, matrícula y examen de admisión, así como gastos en libros y materiales en universidades públicas incluyendo subsidios es \$155,979 por lo que con el salario promedio el tiempo de retorno de inversión es 5.9 meses (es rápido porque es el área con el mejor ingreso medio contabilizado respecto al resto de carreras de la clasificación de INEGI), con un riesgo promedio de 10.7 %, es decir, de no estar empleados en el sector formal, aunque aquí destaca que incluso en el sector informal, sus ingresos son casi tres veces superiores a la media de ingreso nacional (*ibíd.*).

Las principales universidades que ofrecen formación en alguno de los programas mencionados son la UNAM, el Instituto Tecnológico Superior de Coahuila de Zaragoza, Instituto Tecnológico De La Chontalpa, Instituto Tecnológico Superior de Poza Rica, IPN, Universidad De Sonora, Universidad Autónoma De Tamaulipas, Universidad Politécnica del Golfo de México, Instituto Tecnológico de Cerro Azul, Universidad Autónoma del Carmen, entre otras. En todas estas instituciones, la matrícula es dominante en hombres en un aproximado de 70 %. Actualmente se tiene una matrícula de 15,275 personas inscritas en 49 instituciones académicas.

Del total de profesionales, sólo 2.7 % cuentan con algún nivel de posgrado, sin embargo, el incremento salarial es negativo y significativo. Y sólo 1.2 % trabaja en el sector de generación y distribución de electricidad, suministro de agua y gas.

Para los perfiles de diseño de sistemas de planta y commissioning, dentro de la clasificación de electricidad y generación de energía se encuentran los programas:

- Aire acondicionado y refrigeración
- Automatización y control de energía eléctrica
- Electromecánica
- Energía eólica y solar
- Energía nuclear
- Energía renovable
- Energía térmica
- Ingeniería eléctrica
- Ingeniería energética
- Instalación eléctrica e iluminación
- Instalación y mantenimiento de la red eléctrica
- Mantenimiento eléctrico
- Producción de energía
- Programas comerciales de electricidad

Al 2015, existen 101,914 profesionales en esta área de conocimiento, de los cuales, 97 % son hombres, se trata del área de mayor predominio de hombres y mayores pues 80 % son mayores de 30 años (*ibíd.*).

El costo promedio total de inscripción, matrícula y examen de admisión, así como gastos en libros y materiales en universidades públicas incluyendo subsidios es \$157,560 por lo que con el salario promedio el tiempo de retorno de inversión es 12.5 meses, con un riesgo promedio de 7.5 %, es decir, de no estar empleados en el sector formal. Si los estudios se cursan en una institución privada, el costo promedio total de inscripción, matrícula y examen de admisión, así como gastos en libros y materiales es 2.3 veces mayor, \$375,016 con un tiempo de retorno de 2.4 años pero con un riesgo de retorno significativamente menor, de 5.2%

Las principales universidades que ofrecen formación en alguno de los programas mencionados son Universidad Abierta y A Distancia de México, IPN, UNAM, UAM, Instituto Tecnológico de Tijuana, Instituto Tecnológico de Chihuahua, Instituto Tecnológico Superior de Poza Rica, Universidad Veracruzana, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato y el Instituto Tecnológico del Istmo. En todas estas instituciones, la matrícula es dominante en hombres en un aproximado de 85 %. Actualmente se tiene una matrícula de 53,666 personas inscritas en 218 instituciones académicas.

Del total de profesionales, sólo 2.3 % cuentan con algún nivel de posgrado, con un incremento salarial de 20 %.



¿Cómo es el empleo en estos puntos clave del desarrollo geotérmico?

Tanto los profesionales del área de ciencias de la tierra como los del área de minería y extracción son los de mayor ingreso y al mismo tiempo de mayor nivel de desempleo asociado a que los principales empleadores han sido Pemex y CFE (Molano, s/f).

Para los perfiles de empleo del geólogo o vulcanólogo, geoquímico y geofísico el ingreso promedio mensual (en 2015) es \$11,509, con una diferencia muy pequeña entre menores y mayores de 30 años (IMCO, 2015).

**Cuadro 4.9: Comparación de ocupaciones en EU.: Geocientíficos**

<b>GEOCIENTÍFICOS, EXCEPTO HIDRÓLOGOS Y GEÓGRAFOS</b>	
Salario medio 2015 (dlls)	
Hora	43.13
Anual	89,700
Empleados (2014)	36,000
Creación empleo (2014-24)	15,000
Rango de Preparación Vocacional Específica (PVE)	7 a <8

Fuente: U.S. Department of Labor, 2016

Para los perfiles de ingeniería en perforaciones, el ingreso es el más alto, \$26,640, por eso el retorno de inversión es el más rápido y con posgrado es el ingreso más bajo (\$5,000), la brecha de ingresos por edad es significativa, \$26,640 para mayores de 30 y \$13,701 para menores (*ibíd.*).

**Cuadro 4.10: Comparación de ocupaciones en EU.: Ingenieros de petróleo/perforación**

<b>Ingenieros de petróleo / ingenieros de perforación</b>	
Salario medio 2015 (dlls)	
Hora	62.49
Anual	129,990
Empleados (2014)	35,000
Creación empleo (2014-24)	13,000
Rango de Preparación Vocacional Específica (PVE)	7 a <8

Fuente: U.S. Department of Labor, 2016

Para los perfiles de diseño de sistemas de planta y commissioning, el ingreso promedio mensual es \$12,649 y con posgrado \$15,246. La brecha de ingreso entre menores y mayores de 30 años es pequeña, \$10,798 contra \$13,195 respectivamente.

**Cuadro 4.11: Comparación de ocupaciones en EU.: Ingenieros eléctricos**

Ingenieros eléctricos	
Salario medio 2015 (dlls)	
Hora	44.71
Anual	93,010
Empleados (2014)	178,000
Creación empleo (2014-24)	41,100
Rango de Preparación Vocacional Específica (PVE)	7 a <8

Fuente: U.S. Department of Labor, 2016

Si bien, los salarios promedio del sector en las ocupaciones mencionadas están por encima de la media salarial nacional, un punto que llama la atención es que las ocupaciones de la rama de geotermia, por el tipo de formación (como se mencionó, se catalogan dentro del área de ciencias de la tierra y de la atmósfera y en minería y extracción), compiten parcialmente con el sector energético tradicional o de fuentes fósiles, a través de las empresas de gas y petróleo (ESMAP, 2012), sin embargo, destacan dos puntos: 1) Los salarios en el sector energético tradicional son mayores debido a que la principal empresa que representa a este subsector es Pemex, y ofrece salarios que están por encima de los del resto de la economía pero poca probabilidad de empleo, por lo que, 2) se generan desincentivos para el ingreso a este tipo de formación energética y aún más para el enfoque de energía renovable pues la percepción de estudiantes y graduados es que hay pocas oportunidades de empleo (O'Connor y Viscidi, 2015).

Una de las características del empleo en geotermia en los países con historial productivo geotérmico y, particularmente en México, es la brecha generacional. De hecho, esta misma tendencia se presenta no sólo en el mercado de electricidad sino en el de investigación y académico, pues en varias de las instituciones que conforman el consorcio Cemie-Geo (Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica) se puede observar una brecha en el rango de edades entre 30 y 60 años (Gutiérrez, 2015).

Aunque el ingreso promedio de las mujeres en la línea de formación de ciencias de la tierra es 1.3 veces mayor que el de los hombres, si se enfoca al sector geotérmico, el dominio de los hombres en las ocupaciones técnicas es indudable. Cabe mencionar que los esfuerzos de equidad de género en la rama geotérmica han aumentado en años recientes y una expresión bastante notoria de estos avances es el grupo mujeres en geotermia WING (Women in Geothermal), un grupo que promueve la educación y desarrollo de las mujeres que trabajan en el sector. El grupo estima que en 2014, la brecha salarial por género en Nueva Zelanda es de 9.9 % (NZGA, 2015).

La categoría de científicos e ingenieros domina la estructura de mano de obra de la industria y esta característica persiste en cada uno de los tipos de organizaciones privadas, gobierno o académicas (US DOE, 1981:27; Jennejohn, 2010, Hance, 2005) El empleo en relación a la formación se caracteriza por elevados niveles de calificación, por ejemplo, en Estados Unidos y Nueva Zelanda, las oportunidades de emplearse en la industria energética son mayores conforme el nivel académico es mayor, en EU., los grados de licenciatura en Geociencias son insuficientes para la mayoría de los empleadores y en consecuencia, para estos niveles académicos, la demanda de trabajo es más limitada que la de niveles de posgrado (National Research Council, 2013).

Respecto al nivel de *enverdecimiento* del empleo, el aspecto definitorio es el contenido de *decencia*, relacionado con ingresos suficientes, jornadas laborales decentes, no extensas, acceso a seguridad social y seguridad del empleo (OIT, 2012). Todos estos elementos se encuentran presentes en la parte del empleo que sea contratada por CFE.

La jornada laboral en la CFE, como uno de los mayores empleadores de la rama, tiene jornadas laborales promedio de 42 horas semanales, un rango considerado como horas laborales decentes (CFE, 2016 y OIT, 2012). Las percepciones brutas diarias promedio son de \$440.25 pesos, lo que representa ingresos significativos, superiores al ingreso medio nacional (\$5,783), además cuenta con un contrato colectivo de trabajo que da muestras tanto de acceso seguro y confiable de seguridad social como de seguridad del empleo (CFE, 2016).

Todos estos factores exhiben la naturaleza del empleo verde, tal como lo define la OIT (2010), como un empleo ambiental seguro, con ingresos suficientes, que otorga seguridad social y permite, por medio en este caso de la asociación entre

trabajadores, la participación en la toma de decisiones que afecta el entorno de los trabajadores. Lo cual contrasta con las condiciones de empleo del personal de una de las plantas geotermoeléctricas más importante a nivel mundial, The Geysers, en California. En 2012, los empleados de dicha planta reconocieron que las personas que tienen representación obtienen mejores condiciones de empleo y de vida y se quejaban porque sus condiciones de empleo los estaban dejando cada vez en peor situación y esto impactaba directamente sobre sus familias (elemento de decencia) y no tenían una representación sólida para defenderse (IBEW 1245, 2012). En contraste, el Sindicato Único de Trabajadores Electricistas de la República Mexicana (SUTERM) tiene la fuerza suficiente para participar e influir en la elaboración del contrato colectivo. Esto implica que la fuerza de la organización de trabajadores es importante y una diferencia a tomar en cuenta en la comparación de los trabajadores de EU y México.

En este sentido, puede apreciarse que el nivel de enverdecimiento del empleo no está en función de la ocupación o de la especialización sino de la organización en la que se realiza y el tipo de empleo (permanente, eventual, directo, indirecto). Para los momentos clave por responsabilidad ambiental, al desarrollarse en las primeras etapas y por las empresas privadas que se mencionaron, no puede asumirse que todas las condiciones de decencia que cumple la CFE se materialicen también en esas empresas pequeñas, lo cual no significa que el empleo no sea decente en ellas, sino que las condiciones para efectuarlo son menores para sus trabajadores.

## Conclusiones.

La rama económica de producción de geotermoelectricidad es un ejemplo claro y propicio para evidenciar cómo el cambio técnico (avance tecnológico) que promueve la economía verde, inserta en el PND, no basta para ejecutar soluciones integrales a la problemática ambiental. Si bien el aporte técnico es indiscutible, existen sectores en los que la incertidumbre vuelve a la mano de obra la principal herramienta y un factor de producción insustituible.

La rama geotermoeléctrica implica una fuerte capacitación en el trabajo, una gran carga de aprendizaje en la práctica y esto, a la vez, implica gastos de capacitación para las empresas por lo que las mejoras a los planes de formación desde programas de nivel superior podrían incentivar mayores inversiones en el sector.

En ese sentido, la diversidad de características que cada sistema geotérmico presenta, en adición a la incertidumbre inherente de un recurso que no puede ser visto y sólo ser probado a un elevado costo, incrementa el valor del trabajo debido a que, aunque el conjunto de tecnologías a elegir para completar cada tarea es amplio, seleccionar la combinación tecnológica apropiada para la exploración y explotación bajo esas características particulares es el valor agregado del trabajo. Y ese valor agregado tiene sustento en el conocimiento que se adquiere primero en formación (el conocimiento más valioso por ser la base) y se perfecciona con la práctica una vez inserto en el mercado de trabajo.

Este sector muestra cómo algunas ocupaciones comunes en sectores fósiles tradicionales pueden ser absorbidas en sectores verdes con cierta capacitación, tal es el caso de las ocupaciones de exploración y perforación que tienen similitudes con el sector petrolero.

Cabe destacar que se asume que los requerimientos de capacidades técnicas por parte de los empleadores son los expresados por la Sener en sus prospectivas de talento, ya que se entiende que lo enunciado en energía

geotérmica fue construido a partir de trece empresas geotérmicas (nacionales y extranjeras) operando en México y, en ellas se observa que el nivel académico exigido es superior y no posgrado (excepto para geofísico).

Esta característica de la demanda de trabajo destaca por dos cuestiones, la primera es que la formación específica en el área de geotermia en México no se encuentra en el primer nivel de educación superior sino en posgrados, y la exploración y explotación dependen del esfuerzo, conocimiento y capacidades del capital humano, puesto que, aunque se cuente con una dotación extensa de tecnología, la combinación adecuada de ésta sólo puede ser decidida e implementada por recursos humanos capacitados y con conocimientos específicos. La segunda observación es que, los conocimientos específicos implican costos para las firmas y estos por supuesto serán mayores en posgrado por el nivel de especialización del conocimiento, por lo que la efectividad de los programas de formación pueden representar una disminución de costos para las firmas.

En términos de empleo verde, entendido como un empleo ambiental que es decente, el nivel de ingresos es relevante para ese contenido de decencia por el potencial de obtención de más beneficios (Jáuregui y Goldsmith, 2012). En el caso de estas ocupaciones compartidas, el sector de hidrocarburos ofrece ingresos más altos aunque una escasa entrada al mercado laboral, por lo que más que una “absorción de empleo” o una fuga de talento hacia sectores verdes, se puede suponer una “contratación sobrante” de los geocientíficos que no logren emplearse en el sector tradicional. También es importante mencionar que el empleo verde apunta a la igualdad de género y tanto los sectores energéticos fósiles y el geotérmico tienen un elevado dominio masculino, tanto en formación como en el mercado de trabajo, sin embargo la matrícula femenina ha ido aumentando paulatinamente en las áreas de ingenierías y geociencias, y aunado a la asociación e impulso de las mujeres que ya laboran en el sector, por medio de iniciativas como WING, se observan bases propicias para la construcción de equidad de género laboral que se advierte la economía verde.

## BIBLIOGRAFÍA

Acemoglu Daron y David Autor (s/f), Lectures in Labor Economics, forthcoming MIT Press (Hereafter AA)

Arellano, Víctor M., Eduardo Iglesias Rodríguez y Alfonso García Gutiérrez, 2008, “La energía geotérmica: una opción tecnológica y económicamente madura” Boletín Asociación Mexicana para la Economía Energética, Morelos, México, (s. e), Núm. 4, Jul-Sep 2008, pp. 3-17.

Armenta Ramírez, Aída, 2007, Modelo Insumo-Producto. Integración de la Matriz Insumo-Producto, Tabasco, México, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
Bezdek, Roger H., Robert M. Wendling, Paula DiPerna, 2008, “Environmental protection, the economy, and jobs: National and regional analyses” en Journal of Environmental Management, Estados Unidos, Elsevier, Volume 86, enero, pp. 63-79

CFE [sitio web], 2012, “Energía renovable” Última modificación: 29/03/2012.  
Disponible en  
<[http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/Desarrollo\\_Sustentable/Paginas/Energia-renovable.aspx](http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/Desarrollo_Sustentable/Paginas/Energia-renovable.aspx)>

CFE. 2015, disposiciones Generales en Materia Adquisiciones, Arrendamientos, Contratación de servicios y ejecución de Obras de la CFE y sus empresas productivas subsidiarias, Consejo de Administración, 24 de Abril de 2015. Disponible en <<http://www.cfe.gob.mx/consejo/Style%20Library/assets/pdf/AcuerdosCA-029a046-240415.pdf>>

CFE, 2016, solicitud de información, Ref. UIP/SAIP/1047/16, proporcionada por el área competente de la Dirección de Operación de la Comisión.

Comisión Federal de Electricidad y el Sindicato Único de Trabajadores Electricistas de la República Mexicana, S-f, “Código de conducta de los trabajadores” consultado el 13 de junio de 2015.

Coronado Triviño, Yeimy Carolina y Garcíadiego Martínez, Ana Melva [Informe], 2015, “Metodología para la elaboración de un modelo conceptual a partir de datos geológicos, geofísicos y geoquímicos en la fase de reconocimiento y prefactibilidad de un proyecto geotérmico”. Informe de Proyecto. Universidad de El Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

Dickson, Mary H. y Mario Fanelli, 2004, ¿Qué es la Energía Geotérmica? Istituto di Geoscienze e Georisorse, Pisa, Italy, Traducción en español: por Alfredo Lahsen, Universidad de Santiago, Chile Disponible en <[http://www.geothermal-energy.org/que\\_es\\_la\\_energia\\_geotermica.html](http://www.geothermal-energy.org/que_es_la_energia_geotermica.html)>

DiPippo, Ronald. Geothermal power plants : principles, applications, case studies, and environmental impact , Butterworth Heinemann, ELSEVIER, 3a ed., ISBN 978-008-0982-06-9, 624 p., Waltham, USA.

DOF, 2014, Ley de Energía Geotérmica

DOF, 2014, Ley de la Comisión Federal de Electricidad.

DOF, 2014, Ley de la Industria Eléctrica, disponible en <[http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5355986&fecha=11/08/2014](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5355986&fecha=11/08/2014)>

Ehrenberg, Ronald G. y Robert S. Smith, 2012, *Modern Labor Economics: Theory and Public Policy*, 11ª ed, Boston Ma., Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.  
Energy tertiary education programs in Korea Education Science and Technology Part B: Social and Educational Studies, pp. 167-186

ESMAP, 2012. Manual de geotermia: como planificar y financiar la generacion de electricidad. ESMAP technical report ; no. 002/12. Washington, DC : World Bank Group. Disponible en <<http://documents.worldbank.org/curated/en/227281468318010312/Manual-de-geotermia-como-planificar-y-financiar-la-generacion-de-electricidad>>

Flores Armenta Magaly [Presentación], 2015 “Perspectivas de la Geotermia en México” en La Generación de Energía Eléctrica y el Impulso de las Energías Renovables, Morelia 6 de febrero de 2015 Disponible en <<http://panelessolares.alcione.mx/wp-content/uploads/AEA-Conferencias/PerspectivasdeLaGeotermiaMFA.pdf>> Consultado el 2 de diciembre de 2015

Flores Armenta Magaly [Presentación], s/f, “Desarrollo de proyectos geotermoeléctricos” Disponible en <<http://micrositio.cre.gob.mx/fororenovables/documentos/presentaciones/d2/04/01.pdf>>

Flóvenz, Ólafur G [Presentación], s/f, Exploring for geothermal energy, presentado en Renewable energy training program. Module 3 - geothermal energy

Garrido Trejo, Cassandra, 2007, La educación desde la teoría del capital humano y el otro, Educere [en línea], 11 (Enero-Marzo) : [Fecha de consulta: 19 de abril de 2015]

Gaspar, Selene y Mónica Chávez, 2016, Migración mexicana altamente calificada: 1990-2013, en Problemas del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía, num. Abril-Junio, pp. 81-110. Disponible en <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=11844827005>>

GEA, 2014, “Best Practices for Geothermal Power Risk Reduction Workshop Follow-Up Manual” taller realizado el 23 de abril de 2014 y manual publicado el 8 de julio de 2014. Consultado junio de 2016, disponible en <<http://geo-energy.org/reports/Geothermal%20Best%20Practices%20Publication%20Final%20CL188154847.pdf>>

GeothermEx; Harvey, Colin; Beardsmore, Graeme; Harding-Newman, Tom; Avato, Patrick; Pantelias, Alexios; Gehringer, Magnus; Tönnis, Matthias; Jacob, Stephan; Mertoglu, Orhan; Basarir, Nilgun; Rüter, Horst; Rybach, Ladislaus y Kasumi Yasukawa, 2013, Geothermal exploration best practices: guide to resource data collection, analysis, and presentation for geothermal projects, Banco mundial, disponible en <<http://documentos.bancomundial.org/curated/es/418111468350105471/Geothermal-exploration-best-practices-guide-to-resource-data-collection-analysis-and-presentation-for-geothermal-projects;jsessionid=AYekSFWXfwWw3ymrep2qyv3k>>

GeothermEx; Harvey, Colin; Beardsmore, Graeme; Harding-Newman, Tom; Avato, Patrick; Pantelias, Alexios; Gehringer, Magnus; Tönnis, Matthias; Jacob, Stephan; Mertoglu, Orhan; Basarir, Nilgun; Rüter, Horst; Rybach, Ladislaus; Kasumi Yasukawa,



2013, Geothermal exploration best practices : guide to resource data collection, analysis, and presentation for geothermal projects. Washington DC, World Bank Group.

Disponible en

<<http://documents.worldbank.org/curated/en/418111468350105471/Geothermal-exploration-best-practices-guide-to-resource-data-collection-analysis-and-presentation-for-geothermal-projects>>

Gobierno de la República, [publicación en línea], 2013, “Plan Nacional de Desarrollo”, disponible en <http://pnd.gob.mx/> consultado el 15 de diciembre de 2014.

Gobierno de la República, 2015, Agenda de Innovación de Baja California. Documentos de trabajo, Disponible en < <http://www.agendasinnovacion.mx/wp-content/uploads/2015/01/4.3-Agenda-del-%C3%A1rea-Energias-Renovables1.pdf>>

González González, M. A., 2010, Geotermia como alternativa energética en México ¿es realmente viable? Estudio realizado en el campo geotérmico de los humeros, puebla México.

Gutiérrez Negrín, Luis C., Comunicación personal, 1 de septiembre de 2015, Ensenada, Baja California.

Hall, Stephen y Timothy J. Foxon, 2014, “Values in the Smart Grid: The co-evolving political economy of smart distribution” *Energy Policy*, Estados Unidos, Springer Berlin Heidelberg, Volume 74, enero, pp. 2-10

Hance, Cédric Nathanaël, 2005, Factors Affecting Costs of Geothermal Power Development, Geothermal Energy Association, Washington, D.C. 49 p. Disponible en [www.geo-energy.org](http://www.geo-energy.org)

Hiriart Le Bert Gerardo, 2011, Tecnologías de punta y costos asociados para generación distribuida, autoabastecimiento y cogeneración con recursos Geotérmicos en México, Energy Sector Management Assistance Program,

Hiriart Le Bert, Gerardo, 2011, Evaluación de la Energía Geotérmica en México. Informe para el Banco Interamericano de Desarrollo y la Comisión Reguladora de Energía, México, D.F., Disponible en < <http://www.cre.gob.mx/documento/2026.pdf>> Consultado en enero de 2016.

IBEW 1245 [sitio web], 2012, “Calpine Workers: We Want Union” enero 15 de 2012, disponible en <<http://ibew1245.com/2012/01/15/calpine-workers-we-want-union/>> consultado en septiembre de 2015.

IFC, 2013, Geothermal Exploration Best Practices: A Guide to Resource Data Collection, Analysis, and Presentation for Geothermal Projects, 74 pp. Disponible en < [http://www.ifc.org/wps/wcm/connect/topics\\_ext\\_content/ifc\\_external\\_corporate\\_site/ifc+sustainability/learning+and+adapting/knowledge+products/publications/publications\\_handbook\\_geothermal-bp](http://www.ifc.org/wps/wcm/connect/topics_ext_content/ifc_external_corporate_site/ifc+sustainability/learning+and+adapting/knowledge+products/publications/publications_handbook_geothermal-bp)>

IGA e IFC, 2014, Best Practices Guide for Geothermal Exploration, 196 pp. Disponible en

<[http://www.ifc.org/wps/wcm/connect/topics\\_ext\\_content/ifc\\_external\\_corporate\\_site/ifc+sustainability/learning+and+adapting/knowledge+products/publications/publications\\_handbook\\_geothermal-bp-2ed](http://www.ifc.org/wps/wcm/connect/topics_ext_content/ifc_external_corporate_site/ifc+sustainability/learning+and+adapting/knowledge+products/publications/publications_handbook_geothermal-bp-2ed)>

IGA, 2013, Geothermal Exploration Best Practices: A Guide To Resource Data Collection, Analysis, And Presentation For Geothermal Projects, IGA Service GmbH, Bochum, Germany, pp.69

IGA, 2014, Best Practices Guide For Geothermal Exploration, IGA Service GmbH, c/o Bochum University of Applied Sciences (Hochschule Bochum), Lennerhofstr. 140, D-44801 Bochum, Germany. Disponible en <file:///C:/Users/nan/Downloads/IFC-IGA\_Geothermal\_Exploration\_Best\_Practices\_-\_2nd\_Edition\_-2014%20(1).pdf> Consultado el 13 de abril de 2016.

IGI, 2002, Geology in environmental impact statements, A guide, The Institute of Geologists of Ireland, Geology Department, University College Dublin, Belfield, Dublin, Disponible en <www.igi.ie>

IMCO, 2015, Compara carreras 2015, disponible en <<http://imco.org.mx/home/>>

INEGI, 2012, Clasificación mexicana de programas de estudio por campos de formación académica 2011. Educación superior y media superior, Aguascalientes, México, Disponible en <[http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/aspectosmetodologicos/clasificadores/ycatalogos/doc/cmpe\\_2011.pdf](http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/aspectosmetodologicos/clasificadores/ycatalogos/doc/cmpe_2011.pdf)>

IRENA, 2015, “Global Atlas for Renewable Energy” disponible en <[http://globalatlas.irena.org/UserFiles/Publication/IRENA\\_GlobalAtlas\\_World\\_of\\_Renewables\\_2015.pdf](http://globalatlas.irena.org/UserFiles/Publication/IRENA_GlobalAtlas_World_of_Renewables_2015.pdf)>

ISAGEN y BID, [Documento técnico], 2012, Notas para la investigación y desarrollo de proyectos geotérmicos en Colombia, 78 p. Disponible en <[https://www.isagen.com.co/comunicados/Libro\\_geotermia\\_sep18.pdf](https://www.isagen.com.co/comunicados/Libro_geotermia_sep18.pdf)>

Jennejohn, Dan, 2010 [Informe], “Green Jobs Through Geothermal Energy”, Geothermal Energy Association,(s.e.) Washington, D.C, octubre, 22 pp.

Jennejohn, Dan, 2009, Research and Development in Geothermal Exploration and Drilling, Geothermal Energy Association, Washington, D.C, 25 pp. Disponible en <[http://geothermalcommunities.eu/assets/elearning/2.16.geo\\_rd\\_1209.pdf](http://geothermalcommunities.eu/assets/elearning/2.16.geo_rd_1209.pdf)> consultado en mayo de 2016.

Kagel, Alyssa, 2008, “The State of Geothermal Technology. Part II: Surface Technology”, Geothermal Energy Association for the U.S.Department of Energy, Washington, D.C., Disponible en <[http://geo-energy.org/reports/Geothermal%20Technology%20-%20Part%20II%20\(Surface\).pdf](http://geo-energy.org/reports/Geothermal%20Technology%20-%20Part%20II%20(Surface).pdf)> Consultado en junio de 2016.

Krugman Paul y Robin Wells, 2005, Microeconomics, Worth Publishers, New York.

Lee, Youah y Eunnyeong HeoEnergy, The human capital accumulation through renewable

NOTIMEX, 2013, “Alstom construirá central geotérmica en Puebla” en El Economista, Urbes y Estados, Noviembre 12 de 2013. Disponible en <

<http://eleconomista.com.mx/estados/2013/11/12/alstom-construira-central-geotermica-puebla>>

NZGA [Reporte], 2015, “New Zealand Geothermal Association (NZGA) News” Wellington, New Zealand, publicado el 23 de septiembre de 2015, disponible en <<http://www.nzgeothermal.org.nz/Publications/Newsletters/NZGA-newsletter-September2015.pdf>>

O’Connor, Rebecca y Lisa Viscidi, 2015, Mexico’s Energy Reform: Bridging the Skills Gap, Inter-American Dialogue, Disponible en <<http://www.thedialogue.org/wp-content/uploads/2015/06/Mexicos-Energy-Reform-Bridging-the-Skills-Gap2.pdf>>

Organización Internacional del Trabajo (OIT), 2012, Hacia el desarrollo sostenible: Oportunidades de trabajo decente e inclusión social en una economía verde, Ginebra. 201 p. disponible en [http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---dcomm/--publ/documents/publication/wcms\\_181392.pdf](http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---dcomm/--publ/documents/publication/wcms_181392.pdf) , consultado el 16 de diciembre de 2014.

Organización Internacional del Trabajo (OIT), Organización Internacional de Empleadores (OIE), Confederación Sindical Internacional (CSI), [Declaración], 2008, “Empleos verdes: Hacia el trabajo decente en un mundo sostenible y con bajas emisiones de carbono,” Nairobi, Oficina de las Naciones Unidas.

Organización Internacional del trabajo, 2010, “Informe sobre el trabajo en el mundo 2009, Ginebra”, Oficina Internacional del Trabajo, disponible en [http://www.ilo.org/public/spanish/bureau/inst/download/wow\\_2009\\_es.pdf](http://www.ilo.org/public/spanish/bureau/inst/download/wow_2009_es.pdf) , consultado el 16 de diciembre de 2014

Ormad, Abraham, 2014, “Mejores Prácticas Globales en Socialización de Proyectos” en Piensa en Geotermia, Disponible en <<http://piensageotermia.com/archives/21513>>  
PNUMA, 2011, Hacia una economía verde: Guía para el desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza - Síntesis para los encargados de la formulación de políticas, [www.unep.org/greeneconomy](http://www.unep.org/greeneconomy)

PNUMA. (2014). Manual de orientación para indicadores de economía verde.

Programa de Apoyo Medioambiental a las Pymes del Campo de Calatrava (PAMPCC), 2003, “Estudio de nuevos yacimientos de empleo en medioambiente”, mimeo Fondo Social Europeo, (s e), Calatrava, España, pp. 51

Prol Ledesma, Rosa Ma., 1995, El Calor de la Tierra, Fondo de Cultura Económica, México, D.F. ISBN 968-16-2865-9. Disponible en <<http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/058/htm/tierra.htm>>

Provencio Enrique, [Conferencia], 2015, “Política ambiental, cambios, tensiones y perspectivas” 12 de mayo, Tijuana Baja California.

Quijano León, José Luis, 2007, Manual de Geotermia. Ciencias de la Tierra e Ingeniería de Reservorios. Disponible en <<http://geotermia.org.mx/geotermia/pdf/Manual%20de%20Geotermia.pdf>> Consultado 30 de abril de 2016.

Richter, Bjarni, Benedikt Steingrímsson, Magnus Olafsson, y Ragna Karlsdóttir, 2009, Classical Geothermal Studies—The Pre-Feasibility Phase, Geothermal Resources Council Transactions, Vol. 33, Making Renewable Energy HOT!, p. 531-534, Davis, California

Santoyo, E. y Verma, S.P., 1993, Evaluación de errores en el uso de los geotermómetros de SiO<sub>2</sub> y Na/K para la determinación de temperaturas en sistemas geotérmicos: Geofísica Internacional, 32(2), 287–298

Seldon, Arthur y Pennance F., 1967, Diccionario de Economía, Colección “ Libros De Economía De Oikos

Semarnat a, 2013, Programa sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2013-2018. Gobierno Federal, México D.F. pp. 134.

SENER a, 2015, “Prospectiva de talento del sector energía. Volumen 4: análisis de las cadenas de valor del subsector de sustentabilidad energética”, Subsecretaría de planeación y transición energética, disponible en <[http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/54341/Prospectiva\\_de\\_Talento\\_Volumen\\_4\\_27\\_01\\_16.pdf](http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/54341/Prospectiva_de_Talento_Volumen_4_27_01_16.pdf)> consultado en junio de 2016

SENER b, 2015, “Prospectiva de talento del sector energía. Volumen 5: Recurso humano. Escenarios a 2, 5 y 10 años para el subsector de sustentabilidad energética”, Subsecretaría de planeación y transición energética, disponible en <[http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/54343/Prospectiva\\_de\\_Talento\\_Volumen\\_5\\_27\\_01\\_16.pdf](http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/54343/Prospectiva_de_Talento_Volumen_5_27_01_16.pdf)> consultado en junio de 2016

SENER c, 2015, “Prospectiva de talento del sector energía. Volumen 6: Análisis de las brechas de talento en el subsector de la sustentabilidad energética”, Subsecretaría de planeación y transición energética, disponible en <[http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/54344/Prospectiva\\_de\\_Talento\\_Volumen\\_6\\_27\\_01\\_16.pdf](http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/54344/Prospectiva_de_Talento_Volumen_6_27_01_16.pdf)> consultado en junio de 2016

SENER, [publicación en línea], 2013, “Prospectiva de Energías Renovables 2013-2027”, México D.F. disponible en <[http://www.sener.gob.mx/res/PE\\_y\\_DT/pub/2013/Prospectiva\\_Energias\\_Renovables-2013-2027.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2013/Prospectiva_Energias_Renovables-2013-2027.pdf)> consultado el 14 de diciembre de 2014

SENER, 2015 (Blog), “Inventario Nacional de Energías Renovables”, Fecha de publicación 23 de julio de 2015, Disponible en <<http://www.gob.mx/sener/articulos/inventario-nacional-de-energias-renovables>>

SGM [sitio web], 2014, “Introducción Estratigrafía”, Disponible en <<http://portalweb.sgm.gob.mx/museo/introduccion-estratigrafia>>

SGM [sitio web], 2014, “Rocas Sedimentarias”, Disponible en <<http://portalweb.sgm.gob.mx/museo/rocas/rocas-sedimentarias>>

Shah, Manan, Anirbid Sircar, Dwijen Vaidya, Shreya Sahajpal, Anjali Chaudhary, y Shubhra Dhale, 2015, Overview of Geothermal Surface Exploration Method, en International Journal Of Advance Research And Innovative Ideas In Education, Volume 1 Issue 4 2015, e-ISSN: 2395-4396

Sierra José Luis y Graciela Elsa Pedro, 1998, “Energía Geotérmica” Disponible en <<http://www.epen.gov.ar/archivos/educativo/geotermia.pdf>>

SKM (Sinclair Knight Merz), 2005, Review of Current and Future Personnel Capability Requirements of the NZ Geothermal Industry, Newmarket, Auckland New Zealand, Disponible en [www.skmconsulting.com](http://www.skmconsulting.com)

SKM (Sinclair Knight Merz), 2009, Skills issues in the geothermal industry, Newmarket, Auckland New Zealand. Disponible en [www.skmconsulting.com](http://www.skmconsulting.com)

Sitio web MHIE: <http://www.mhie.com/es/press/~706769643d323039.aspx>

Studer, Isabel y Talia Contreras, [working paper], (2012), “Economía verde y sostenibilidad”, Serie: Los retos de la economía verde, Instituto Global para la Sostenibilidad. Instituto Tecnológico de Monterrey, México, pp. 1-18

U.S. Department of Labor [sitio web], 2016, Employment & Training Administration, O\*NET online.

US DOE, 1981, Geothermal Energy Employment and requirements 1977-1990, Institute of Human Resources Management, University of Utah, Office of Energy Research, 196 pp.

Taylor, Mark A., 2007, The State of Geothermal Technology Part I: Subsurface Technology, Geothermal Energy Association, U.S. Department of Energy, Washington, D.C. Disponible en <[www.geo-energy.org](http://www.geo-energy.org)>

Van der Meer, F., Cristhoph Hecker, Hecker Christoph, Van Ruitenbeek Frank, Van Der Werff Harald, De Wijkerslooth Charlotte y Wechsler Carolina, 2014, Geologic remote sensing for geothermal exploration: A review, en International journal of applied earth observation and geoinformation, vol. 33, pp. 255-269

Wei, Max., Patadia, Shana., Kamma, Daniel.M., 2009, “Putting renewables and energy efficiency to work: How many jobs can the clean energy industry generate in the US?” En Energy Policy, Estados Unidos, Elsevier, vol.38, noviembre, pp. 919-931

Anexo 1. Unidades económicas del mercado eléctrico  
Tamaño de las unidades económicas para Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica,

Nombre de la Unidad Económica	Razón social	Código de la clase de actividad SCIAN	Nombre de clase de la actividad	Descripción estrato personal ocupado
RESIDENCIA LAS TRES VIRGENES CAMPO GEOTERMICO LAS TRES VIRGENES	COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD	221110	Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	51 a 100 personas
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD ESTUDIOS GEOLOGICOS PH LAS CRUCES	COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD	221110	Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	51 a 100 personas
GEOTÉRMICA PARA EL DESARROLLO, S.A.P.I. DE C.V.	GEOTÉRMICA PARA EL DESARROLLO, S.A.P.I. DE C.V.	221110	Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	11 a 30 personas
SINDICATO UNICO DE TRABAJADORES ELECTRICIDAD DE LA REPUBLICA MEXICANA(SUTERM)	COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD	221110	Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	0 a 5 personas
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD SINDICATO DE TRADAJADORES	COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD	221110	Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	6 a 10 personas
SUTERM SINDICATO UNICO DE ELECTRICISTAS DE MEXICO	COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD	221110	Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	0 a 5 personas
SINDICATO UNICO DE TRABAJADORES DE LA COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD CFE 132	COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD	221110	Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	0 a 5 personas
SUTERM SINDICATO UNICO DE TRABAJADORES ELECTRICISTAS DE LA REPUBLICA MEXICANA	COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD	221110	Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	0 a 5 personas
ENEL GREEN POWER	ENERGIAS RENOVABLES LA MATA SA	221110	Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	6 a 10 personas
ENEL GREEN POWER	ENERGIAS RENOVABLES LA MATA SA	221110	Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	0 a 5 personas
GRUPO DRAGÓN	REM REGENERACION ELECTRICA MEXICANA, S.A. DE C.V.	221110	Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	31 a 50 personas
GRUPO DRAGON	COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD	221110	Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	51 a 100 personas

Fuente: INEGI: Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas

Listado de empresas consideradas para geotermia en la Prospectiva de talento de la Sener.

<b>Empresa</b>	<b>Actividad/servicios</b>	<b>Sitio web</b>
<b>ABENGOA MÉXICO</b>	Promoción, construcción y explotación de plantas industriales y energéticas: convencionales (cogeneración y ciclo combinado) y renovables (bioetanol, biodiesel, biomasa, eólica solar y geotermia).	
<b>ALBERI</b>	Estudios De Energía Renovable (especialidad solar).	
<b>CONSULTORES EN ENERGÍA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proyectos “llave en mano”.</li> <li>• Gestión de incentivos y créditos.</li> <li>• Contratos de Desempeño, en sus tipos de:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rendimiento Garantizado de la inversión del cliente y servicios de COENERGIA remunerados en función de beneficios obtenidos.</li> <li>- Ahorros Compartidos, con inversión mínima o nula del cliente y su participación en los beneficios resultantes.</li> </ul> </li> </ul>	<a href="http://www.coenergia.com.mx/travel.html">http://www.coenergia.com.mx/travel.html</a>
<b>CONSULTORÍA Y SERVICIOS EN TECNOLOGÍAS EFICIENTES</b>	empresa mexicana que presta servicios de consultoría en eficiencia energética, fuentes renovables de energía, auditorías energéticas, administración ambiental y de recursos naturales, producción más limpia, y cambio climático. Se especializa en el diseño e implementación de proyectos, desarrollo de metodologías, investigación de mercado, capacitación y el diseño de estructuras institucionales.	
<b>DNV GL</b>	Proveedor mundial de asesoría independiente en energías renovables. Reconocida en energía eólica	<a href="http://www.dnvgl.com">www.dnvgl.com</a>
<b>ELECNOR</b>	De origen español. Ingeniería, desarrollo y construcción de proyectos de infraestructuras. Con cerca de 13.000 empleados en todo el mundo, 250 de ellos en México	
<b>EMERSON</b>	fabricación de equipos industriales y a proveer servicios de ingeniería.	<a href="http://www.emerson.com/es-la">http://www.emerson.com/es-la</a>
<b>ENEL</b>	Dedicada a desarrollar y manejar actividades de generación de energía de fuentes renovables a nivel internacional, presente en Europa, las Américas, Asia y África.	<a href="http://www.enelgreenpower.com/es-ES/company/about_us/index.aspx">http://www.enelgreenpower.com/es-ES/company/about_us/index.aspx</a>
<b>ENERTHI</b>	empresa española que se especializa en la selección, el desarrollo y la construcción de proyectos de fuentes renovables y de proyectos hidráulicos.	
<b>GEOTÉRMICA PARA EL DESARROLLO</b>	Filial de Grupo Dragón	
<b>GRUPO DRAGON</b>	grupo de empresas mexicanas dedicadas a la creación de infraestructura, generación y colocación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables de tres diferentes tipos: eólica, geotérmica y solar.	<a href="http://www.gdragon.com.mx/QuienesSomos.aspx">http://www.gdragon.com.mx/QuienesSomos.aspx</a>

<b>GRUPO ENAL</b>	(Energías Alternas, Estudios y Proyectos SA de CV) es una empresa de ingeniería especializada en el desarrollo de proyectos geotermoelectricos desde su fase inicial de identificación del recurso hasta la final de generación de energía eléctrica.	
<b>MITSUBISHI</b>	Desarrollo de equipos que ahorran energía tales como turbinas de vapor de alta eficiencia y alta temperatura, calderas de presión súper crítica, turbinas de gas de alta temperatura y alta eficiencia, plantas generadoras de ciclo combinado con eficiencia térmica del más alto nivel mundial, y turbinas de bomba reversible con cabeza grande y gran capacidad.	<a href="http://www.mhimex.com/Productos/Energia/GeneracionEnergia.asp">http://www.mhimex.com/Productos/Energia/GeneracionEnergia.asp</a>

Fuente: (Sener a, 2015) y sitios web de las empresas.



## Anexo 2 Contenido ambiental

Ítem	Receptor	Modelo conceptual	Mapeo	Selección del terreno	Programa de perforación	Diseño de planta	Simulación de Yacimiento	Commissioning	O & M	sustentabilidad	Valor	Nivel máximo	Importancia relativa
1	Salud y seguridad	1	1	0	2	0	0	0	0	0	4	15	0.27
2	Agua	2	2	3	2	0	0	0	0	3	12	15	0.80
3	Suelo	3	3	3	3	0	0	0	0	3	15	15	1.00
4	Aire	1	1	1	1	0	0	0	0	1	5	15	0.33
5	Ruido	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	#####
6	Contaminación visual	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	#####
7	Recursos naturales de valor económico	1	1	1	1	0	0	0	0	2	6	15	0.40
8	Salud y seguridad	3	1	0	1	0	0	0	0	3	8	15	0.53
9	Agua	3	3	3	2	0	0	0	0	1	12	15	0.80
10	Suelo	3	3	3	3	0	0	0	0	2	14	15	0.93
11	Aire	2	2	0	1	0	0	0	0	1	6	15	0.40
12	Ruido	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	#####
13	Contaminación visual	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	#####
14	Recursos naturales de valor económico	1	1	0	1	0	0	0	0	1	4	15	0.27
15	Salud y seguridad	2	2	2	2	0	0	0	0	3	11	15	0.73
16	Agua	3	3	3	3	0	0	0	0	3	15	15	1.00
17	Suelo	3	3	3	3	0	0	0	0	3	15	15	1.00
18	Aire	1	1	0	1	0	0	0	0	2	5	15	0.33
19	Ruido	2	2	2	2	0	0	0	0	0	8	15	0.53
20	Contaminación visual	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	#####
21	Recursos naturales de valor económico	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	#####
22	Salud y seguridad	1	1	0	1	1	2	0	1	3	10	24	0.42
23	Agua	1	1	0	3	1	3	0	1	3	13	24	0.54
24	Suelo	3	3	0	3	2	3	0	1	3	18	24	0.75
25	Aire	1	1	0	3	2	3	0	0	3	13	24	0.54
26	Ruido	1	1	0	3	3	1	0	2	3	14	24	0.58
27	Cont Vis	2	2	0	3	3	0	0	0	1	11	24	0.46

28	RNVE	1	1	0	1	2	0	0	0	0	5	24	0.21
29	Salud y seguridad	0	0	0	0	3	0	1	2	2	8	15	0.53
30	Agua	0	0	0	0	3	3	1	2	3	12	15	0.80
31	Suelo	0	0	0	0	3	3	1	3	3	13	15	0.87
32	Aire	0	0	0	0	3	3	2	2	3	13	15	0.87
33	Ruido	0	0	0	0	3	1	2	2	3	11	15	0.73
34	Contaminación visual	0	0	0	0	3	0	1	1	1	6	9	0.67
35	Recursos naturales de valor económico	0	0	0	0	3	0	0	1	1	5	9	0.56
36	Salud y seguridad	0	0	0	0	2	0	2	0	0	4	9	0.44
37	Agua	0	0	0	0	2	0	1	0	2	5	12	0.42
38	Suelo	0	0	0	0	2	0	2	0	2	6	12	0.50
39	Aire	0	0	0	0	2	0	1	0	3	6	12	0.50
40	Ruido	0	0	0	0	2	0	3	0	3	8	12	0.67
41	Contaminación visual	0	0	0	0	1	0	2	0	1	4	12	0.33
42	Recursos naturales de valor económico	0	0	0	0	1	0	1	0	1	3	12	0.25
		41	39	24	45	47	22	20	18	74			

Agente	Receptor	Referencia	Influencia	Responsabilidades
Geólogo	Salud y seguridad	Emisiones de gas radón y elementos traza y nivel de estabilidad estructural		Debe informar características del suelo en relación a la estabilidad estructural
	Agua	Contaminación del agua en L		Debe informar y verificar el sistema hidrotermal
	Suelo	Erosión, tierra extraída, pérdida de cubierta vegetal		
	Aire	Emisiones de GEI		
Geoquímico	Recursos naturales de valor económico	Esterilización, flora y fauna		Debe verificar la existencia de materiales para uso económico distintos del recurso geotérmico
	Salud y seguridad	Emisiones de gas radón y elementos traza y nivel de estabilidad estructural		Debe verificar e informar niveles de elementos traza y gas radón
	Agua	Contaminación del agua en L		Debe verificar los minerales de la salmuera
	Suelo	Erosión, tierra extraída, pérdida de cubierta vegetal		
Geofísico	Aire	Emisiones de GEI		
	Salud y seguridad	Emisiones de gas radón y elementos traza y nivel de estabilidad estructural		
	Agua	Contaminación del agua en L		A través del sistema de fallas verifica posible interacción de acuíferos
	Suelo	Erosión, tierra extraída, pérdida de cubierta vegetal		
	Ruido	Mediciones de ruido y vibraciones		Técnicas aeromagnéticas, ruido de los flujos de lava (cuando se hace en regiones volcánicas)

Ingeniero de perforaciones	Salud y seguridad	Emisiones de gas radón y elementos traza y nivel de estabilidad estructural		Debe verificar que se dé mantenimiento preventivo al equipo de perforación para controlar la emisión de gases contaminantes
	Agua	Contaminación del agua en L		Debe ubicar y monitorear presa de lodos (compactada, impermeabilizada y recubierta con una lona plástica) para evitar contaminar acuíferos
	Suelo	Erosión, tierra extraída, pérdida de cubierta vegetal		Debe dirigir y verificar actividades de compactación e impermeabilización del suelo para evitar contaminación -Riesgo de desestabilización de las formaciones geológicas causada por la perforación de pozos
	Aire	Emisiones de GEI		Debe verificar que se dé mantenimiento preventivo al equipo de perforación para controlar la emisión de gases contaminantes
	Ruido	Mediciones de ruido y vibraciones		En el plan de perforación debe incluir Dirigir la descarga lateral hacia el silenciador para reducir la emisión de ruido y vapor proveniente del mismo.
	Contaminación visual	Alteración del paisaje		Debe planear el programa de perforación con el mínimo uso de estructuras posible y pintar el equipo en colores de camuflaje
	Ingeniero de diseño de sistemas de planta	Agua	Contaminación del agua en L	

Ingeniero de Commissioning	Suelo	Erosión, tierra extraída, pérdida de cubierta vegetal	Debe considerar en el plan de diseño posible daño a o eliminación de árboles causado por la colocación de la tubería, construcción del cableado eléctrico y trabajos de construcción de edificios
	Aire	Emisiones de GEI	
	Ruido	Mediciones de ruido y vibraciones	
	Agua	Contaminación del agua en L	
	Suelo	Erosión, tierra extraída, pérdida de cubierta vegetal	
	Aire	Emisiones de GEI	
	Ruido	Mediciones de ruido y vibraciones	
	Recursos naturales de valor económico	Esterilización, flora y fauna	

La autora es Licenciada en Economía por la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco y egresada de la Maestría en Administración Integral del Ambiente de El Colegio de la Frontera Norte.

© Todos los derechos reservados. Se autorizan la reproducción y difusión total y parcial por cualquier medio, indicando la fuente.

Contacto: nancy.nolazco.santana@gmail.com y  
nan\_nolsan@hotmail.com

Forma de citar:

Nolazco-Santana, Nancy, (2016). "Requerimientos de capacidades técnicas y contenido de responsabilidad ambiental en mercados laborales verdes para energía geotermoeléctrica", Tesis de Maestría en Administración Integral del Ambiente. El Colegio de la Frontera Norte, A.C. México.